N° d'ordre NNT : 2023LYO20054

THÈSE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2

École Doctorale : ED 483

Sciences sociales

Discipline : Science politique

Soutenue publiquement le 3 juin 2023 par :

Alexandre MOUTHON

À la recherche de la chaleur perdue.

Le moteur solaire de la Société Française d'Études Thermiques et d'Énergie Solaire (SOFRETES) et l'État français (années 1960-1980).

Devant le jury composé de :

Imre SZEMAN, Professeur, The University of Toronto, Président

Bertrand BOCQUET, Professeur des Universités, Université de Lille, Rapporteur

Sylvain LAURENS, Directeur d'Études, École des Hautes Études en Sciences Sociales, Rapporteur

Cécile ROBERT, Professeure des Universités, Institut d'Études Politiques de Lyon, Examinatrice

Marie-Christine ZELEM, Professeure, Université Toulouse Jean Jaurès, Examinatrice

Laure DOBIGNY, Maître de conférences, Université catholique de Louvain, Examinatrice

Frédéric CAILLE, Maître de conférences HDR, ENS Lyon, Directeur de thèse

Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « **Paternité – pas de modification** » : vous êtes libre de le reproduire, de le distribuer et de le communiquer au public à condition d'en mentionner le nom de l'auteur et de ne pas le modifier, le transformer ni l'adapter.

Université Lumière Lyon 2

École doctorale ED 483 Sciences Sociales

Institut d'Études Politiques de Lyon

Laboratoire Triangle-ENS Lyon UMR 5206

A LA RECHERCHE DE LA CHALEUR PERDUE

Le moteur solaire de la Société Française d'Études Thermiques et d'Energie Solaire (SOFRETES) et l'État français (années 1960-1980)

Alexandre MOUTHON

Thèse pour l'obtention du doctorat en Science Politique

Sous la direction de Frédéric CAILLE

Soutenue publiquement le 03 juin 2023

Devant le jury composé de :

Marie-Christine Zélem, Professeure des Universités, Université de Toulouse, Présidente
Bertrand Bocquet, Professeur des Universités, Université de Lille, Rapporteur
Sylvain Laurens, Professeur des Universités, EHESS, Rapporteur
Cécile Robert, Professeure des Université, Sciences Po Lyon, Examinatrice
Laure Dobigny, Maître de conférences, Université Catholique de Lille, Examinatrice
Imre Szeman, Professeur, Université de Toronto Scarborough, Examinateur
Frédéric Caille, Maître de conférences HDR, Université de Savoie Mont Blanc, Triangle-ENS Lyon, Directeur de thèse

Résumé

Cette thèse cherche à comprendre pourquoi et comment l'État français soutient puis abandonne le moteur sans combustible que la Société Française d'Energie Thermique et d'Energie Solaire (SOFRETES 1973-1983), dont il est le principal actionnaire, vend à des gouvernements étrangers dans les années 1970. La machine dont il est question récupère la chaleur du rayonnement solaire puis la convertit en force mécanique, et elle s'inscrit dans la continuité technique des convertisseurs thermodynamiques de récupération de « la chaleur perdue » imaginés depuis la fin du XIX^{e} siècle. Pour comprendre les modalités de l'action publique qui gouvernent cette solution énergétique alternative, le système d'acteurs, d'intérêts et d'idées dans lequel elle existe est analysé en termes sociohistoriques et technopolitiques. Les résultats révèlent que la question du choix du moteur solaire à industrialiser est en grande partie dépolitisée grâce à la mise en œuvre de certaines formes d'expertise, alors que l'instrumentalisation technopolitique de ce même moteur solaire dans des opérations de politique étrangère « sur-politise », à certains égards, les installations de démonstration. L'entreprise est ainsi gênée dans la réalisation de ses objectifs propres en même temps que victime d'un faisceau d'actions contre-industrielles menées par ses concurrents, mais aussi certains de ses actionnaires, jusqu'au prononcé d'un arbitrage ministériel en sa défaveur. La machine et l'entreprise basculent par la suite dans un processus d'action publique au travers duquel la solution technique proposée, pourtant cohérente et disponible dans le temps court, devient inaccessible dans le temps long car décrédibilisée, écartée des possibles industriels, puis oubliée.

Mots clés : État, SOFRETES, énergie solaire, sociohistoire de l'action publique, technopolitique, politique étrangère, expertise, savoir-pouvoir.

This thesis seeks to understand why and how the French state supports and then abandons the fuel-free engine that the Société Française d' Energie Thermique et d' Energie Solaire (SOFRETES 1973-1983), of which it is the main shareholder, sells to foreign governments in the 1970s. The machine in question recovers heat from solar radiation and converts it into mechanical force, and it is part of the technical continuity of thermodynamic converters for the recovery of "waste heat" imagined since the end of the 19th century. To understand the modalities of public policy that govern this alternative energy solution, the system of actors, interests, and ideas in which it exists is analyzed in socio-historical and techno-political terms. The results reveal that the question of the choice of solar engine to industrialize is largely depoliticized through the implementation of certain forms of expertise, while the technopolitical instrumentalization of this same solar engine in foreign policy operations "over-politicizes" demonstration facilities. The company is thus hindered in achieving its own objectives at the same time as victim of a bundle of counter-industrial actions carried out by its competitors, but also some of its shareholders, until the pronouncement of a ministerial arbitration against it. The machine and the company then switch to a process of public policy through which the proposed technical solution, although coherent and available in the short term, becomes inaccessible in the long term because discredited, excluded from industrial possibilities, then forgotten.

Keywords: State, SOFRETES, solar energy, technology, public policy analysis, expertise, foreign policy, history

A LA RECHERCHE DE LA CHALEUR PERDUE

Le moteur solaire de la Société Française d'Études Thermiques et d'Energie Solaire (SOFRETES) et l'État français (années 1960-1980)

« Celui qui commande le passé commande l'avenir, celui qui commande le présent commande le passé »

Georges Orwell, Slogan du Parti, *1984*

Remerciements

J’exprime d’abord ma gratitude à Frédéric Caille qui m’a confié la mission de mener cette étude. Frédéric, comme tes pairs, tu es très exigeant. J’espère avoir été digne de ta confiance, et je te remercie, aux noms de nos enfants, de t’engager pour une science qui lutte à armes inégales contre la fabrique de l’ignorance solaire. Le mérite de l’invention de ce sujet te revient entièrement.

Je remercie l’Institut d’Études Politiques de Lyon et le laboratoire Triangle-ENS Lyon (UMR 5206) d’avoir soutenu ce projet de thèse.

Comme toute recherche au long-court, elle doit beaucoup aux grands témoins qui ont balisé son chemin, et plus particulièrement à Madame et Monsieur Girardier, Madame et Monsieur Alexandroff, Madame et Monsieur Jacquet-Pierroulet, Madame et Monsieur Nerguti, Madame et Monsieur Clémot et Monsieur Jean-Paul Durand.

Ma chère Lydie, nos enfants sont nés, ils ont appris à marcher, à parler, à lire et à écrire, alors que leur père écrivait cette histoire de machine solaire dans le désert pendant presque six années. Ma très chère Lydie, merci de tout mon cœur de m’avoir permis de réaliser ce petit exploit personnel à 46 ans. Que les grands-parents d’Aimée et de Céleste soient également remerciés pour leurs attentions qui m’ont libéré un temps précieux.

Sommaire

Remerciements *7*

Sommaire *9*

INTRODUCTION GÉNÉRALE *11*

PARTIE I Du soleil au service de l'homme au soleil au service du rayonnement de la France *87*

Introduction de la partie I **88**

Chapitre 1 Un moteur solaire en Afrique *91*

Introduction chapitre 1 ..... **92**

1. Les Etablissements Pierre Mengin : une PMI d'un secteur traditionnel outil de diversification solaire **95**

2. Le solaire au laboratoire africain : convergences et divergences d'idées, d'institutions et d'intérêts **104**

3. Des prototypes solaires à l'IPM de Dakar (1962-1971) **161**

4. L'opération Chinguetti : vers une relation technopolitique à la machine **198**

Conclusion chapitre 1 ..... **231**

Chapitre 2 Faire face à l'imprévisible *239*

Introduction chapitre 2 ..... **240**

1. Dans l'ombre du Concorde : quelle actualité solaire au MDIS à l'été 1973 ? **245**

2. Le soleil au service de l'homme : quel suivi du congrès de l'UNESCO par le MDIS ? **254**

3. La naissance de la SOFRETES : quels relais au MDIS ? **269**

Conclusion chapitre 2 ..... **311**

Conclusion partie I **320**

PARTIE II La SOFRETES et son moteur solaire, des instruments de séduction politique *323*

Introduction de la partie II **324**

Chapitre 3 L'opération solaire : entre opportunités et contraintes *343*

Introduction du chapitre 3 ..... **344**

1. Croissance (1973-1979) et déclin (1979-1983) **363**

2. Des opportunités **369**

3. Des contraintes **413**

Conclusion chapitre 3 ..... **474**

Chapitre 4 L'objet technique : des machines pour une sociotechnique *477*

Introduction chapitre 4 ..... **478**

1. La station de pompage solaire intégrée 484
2. La station mixte de force motrice..... 492
3. La récupération de la chaleur géothermique à basse température 531
4. L'habitat solaire 541
5. Le photovoltaïque..... 554
Conclusion chapitre 4 559
Conclusion de la partie II 563
PARTIE III Du soleil au service du rayonnement de la France à l'irrécupérable chaleur solaire 565
Introduction de la partie III 566
Chapitre 5 Forces centrifuges et forces centripètes 571
Introduction du chapitre 5 572
1. 1973-1974 : valorisation et diversification 575
2. 1975-1977 : filialisation et mirage industriel 579
3. 1978-1979 : le verrouillage administratif..... 600
4. 1980-1983 : la liquidation 617
5. 1984- La *damnatio memoriae* 644
Conclusion chapitre 5 660
Chapitre 6 L'impossible moteur solaire : une décision gouvernementale 663
Introduction chapitre 6 664
1. CEA *versus* COMES 666
2. L'arbitrage ministériel de 1979 679
3. La société « S » 688
4. De rouille et de sable 700
Conclusion chapitre 6 709
Conclusion de la partie III 712
CONCLUSION GÉNÉRALE 715
SOURCES 727
BIBLIOGRAPHIE 843
TABLE DES FIGURES 885
TABLE DES TABLEAUX 891
TABLE DES MATIÈRES 893

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Le 17 avril 1980, le magazine de TF1 « L'Enjeu » consacre sa rubrique « l'homme du mois » à Jean-Pierre Girardier (1934-2017), le fondateur de la Société Française d'Energie Thermique et d'Energie Solaire (SOFRETES 1973-1983), alors que celui-ci démissionne de ses fonctions à la tête de son entreprise qui fait face à un plan social marqué par de nombreux licenciements[1]. La rédaction du magazine justifie le choix de ce portrait, en apparence paradoxal, puisque l'entreprise est en déclin, par l'incroyable invention que la SOFRETES installe au Sahel : un moteur solaire pour pomper de l'eau sans carburant, « et là, ça marche, il a réussi »[2]. Le reportage « Les mauvais coups du soleil » évoque à la fois la situation délicate de l'entreprise en mars-avril 1980 et le succès de ses installations, qui fonctionnent en Afrique (achevées et en cours), afin de souligner la contradiction de la situation. Aux besoins en eau des populations des zones arides les plus démunies, la solution technique sans combustible, qui retourne à leur avantage la chaleur solaire qui les assèche, risque de ne pas être industrialisée car l'entreprise qui la porte est en train de sombrer pour des raisons gestionnaires, alors que le CEA (et donc l'État) est l'actionnaire principal. Lors d'une réunion filmée du Comité d'entreprise, Girardier déplore que l'activité de la SOFRETES « n'ait pas été reconnue comme suffisamment importante pour faire partie intégrante du programme solaire français »[3]. Il dénonce la responsabilité de l'État.

> J'ai cru qu'une entreprise pouvait être bâtie sur un projet et ce projet c'était d'utiliser le solaire pour l'Afrique. Et là, je me suis trompé, parce que ce n'est pas au niveau d'une petite entreprise, c'est un niveau politique si vous voulez, au niveau d'un État[4].

Cette thèse cherche à comprendre pourquoi et comment l'État français soutient, puis abandonne, les installations solaires fonctionnelles de pompage de l'eau et de génération d'électricité que la Société Française d'Energie Thermique et d'Energie Solaire (SOFRETES 1973-1983), dont il est le principal actionnaire, vend à des

[1] Magazine de TF1 « L'Enjeu » du 17 avril 1980. La vidéo est visible en ligne sur le carnet de recherche animé par Frédéric Caille, https://afrisol.hypotheses.org/82.
[2] *Ibid.*
[3] *Ibid*.
[4] *Ibid*.

gouvernements étrangers dans les années 1970. Notre étude porte donc sur la relation entre le moteur solaire de la SOFRETES et l'État.

Le dispositif technique dont il est question est un convertisseur thermodynamique des faibles gradients de températures naturelles. La machine récupère la chaleur perdue du rayonnement solaire, puis la convertit en force mécanique au moyen d'un moteur sans combustible (figure 5, p. 168). Cette solution sociotechnique est d'abord conçue comme une alternative au pompage Diésel de l'eau pour les populations les plus démunies des zones arides des pays du tiers-monde. Son objectif est de leur offrir un accès à l'eau et à la force motrice par le biais d'une source d'énergie renouvelable, illimitée et partout présente naturellement, mais également grâce à un objet technique simple, robuste et pour partie appropriable par les utilisateurs eux-mêmes. Les usagers peuvent ainsi réorganiser leurs relations sociales autour de la ressource (chaleur et eau) et du convertisseur. Les rapports de domination, qui expriment les différentes dépendances auxquelles sont soumis les populations dans leurs modalités d'accès à l'énergie, s'en trouvent potentiellement reconfigurées. En creux, c'est bien la souveraineté énergétique et alimentaire, ainsi que le degré d'autonomisation et de participation citoyenne aux choix des technologies énergétiques, que questionne la possible industrialisation des stations solaires SOFRETES. Ainsi Hamani Diori (1916-1989), président du Niger en exercice (1960-1974), met-il en garde un jour d'inauguration Jean-Pierre Girardier (1934-2017), le fondateur de la future SOFRETES. La scène se déroule en 1969, alors qu'une des premières pompes solaires équipée d'un moteur à piston basse température vient d'être installée en plein Sahel, hors laboratoire. Le chef du village se plaint à Jean-Pierre Girardier que depuis l'entrée en fonction de la pompe, les enfants pensent plutôt à aller à l'école et que les habitudes des femmes sont bouleversées. Il y a de l'agitation depuis que la corvée d'eau est allégée. Trop d'agitation visiblement. Alors, Diori, venu saluer le progrès technique et la coopération franco-africaine, prenant Jean-Pierre Girardier un peu à l'écart, lui glisse discrètement : « je trouve qu'il ne faut surtout pas d'éducation, comme ça on n'a pas d'ennuis : pas instruit, pas d'ennuis »[5]. Quelques années plus tard, la pompe solaire que Jean-Pierre Girardier installe en Mauritanie intègre une école au bâtiment.

Dans les affaires de pompe solaire, les raisons techniques sont raison d'État. Comme l'écrit Frédéric Caille, « il n'est pas possible de dissocier les moyens techniques

[5] Entretien de Frédéric Caille avec Jean-Pierre Girardier, fondateur de la SOFRETES, le 7 juillet 2015.

que l'on retient des objectifs politiques et sociaux que l'on se donne »[6], constat sur lequel le chercheur indien Amulya K. N. Reddy[7] appuie l'ensemble de ses efforts militants en faveur des technologies appropriées pour les pays des Suds, dès 1973, année de création de la SOFRETES : « la technologie est comme le matériel génétique, elle porte le code de la société qui l'a conçue et, pourvue d'un milieu favorable, la reproduit. »[8]

Pour comprendre les modalités de l'action publique qui gouverne la solution énergétique alternative qui nous intéresse ici, le système d'acteurs, d'intérêts et d'idées dans lequel elle existe est analysé en termes sociohistoriques et technopolitiques.

Dans les pages qui suivent, nous présentons notre méthode d'enquête et la structure de notre démonstration, puis notre réflexion sur le cadre théorique dans lequel nous trouvons les outils nécessaires à notre analyse sociohistorique et technopolitique ; enfin, une lecture critique de l'historiographie de l'énergie solaire dans laquelle nous positionnons notre étude.

1. Une enquête sociohistorique : périmètre et itinéraire critique des sources

Cette thèse est d'abord une enquête qui constitue un corpus de sources communes à l'État et au moteur solaire de la SOFRETES, pour identifier la configuration des acteurs impliqués par leur relation. Ce corpus éclaire également la « mise en administration » de son existence et le pilotage de l'action publique solaire de la France à l'étranger (années 1960-1980). Le cœur du travail s'appuie sur une méthode de science historique et s'efforce de circonscrire chronologiquement et socialement son objet, prioritairement au moyen d'archives. Il s'agit en somme d'une sociohistoire de l'action publique en matière d'énergie solaire. Renaud Payre et Gilles Pollet énoncent les attributs que doivent présenter de telles études :

> Ces travaux de socio-histoire se caractérisent d'abord par un effort de problématisation, avec la mobilisation classique de paradigmes et d'outils d'analyse des sciences sociales, puis par la mise en place d'un protocole d'enquête précis et, enfin, par la délimitation et l'objectivation d'un corpus de sources et l'exploitation prioritaire de matériaux de première main, archivistique et documentaires. {…} Les processus analysés sont alors mis au jour

[6] CAILLE, Frédéric (dir.), *Penser les énergies depuis les Suds. Une anthologie de textes de Amulya K. N. Reddy (1930-2066)*, Québec, Éditions science et bien commun, 2022, p. xi.
[7] Amulya Kumar Narayana Reddy (1930-2006) est un célèbre chercheur et professeur en électrochimie.
[8] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2022, p. xi.

> par une sociologie interprétative, compréhensive, attentive aux points de vue des acteurs et qui met en avant l'étude des fondements culturels, sociaux, politiques et stratégiques des situations et contextes étudiés, sans *doxa* analytique a *priori*[9].

Dans le cas qui nous intéresse, les archives de la SOFRETES n'existent pas. Elles n'ont pas été constituées, et l'invention du corpus est donc un des éléments centraux de notre enquête. Nous avons procédé en suivant des traces, puisqu'aucun chemin n'a été balisé pour nous. En effet, comment procéder lorsque seulement quelques dossiers disparates aux Archives nationales portent explicitement le nom « SOFRETES » ? De grands détours ont été nécessaires, limités par nos moyens d'action (comment financer un voyage d'étude en Iran, puis un en Arabie Saoudite, puis encore un autre au Mexique, etc. ?). Il nous a fallu trouver des témoins encore vivants en France métropolitaine et en Afrique. Frédéric Caille, qui est l'initiateur de cette recherche, avait déjà réalisé des entretiens en amont, et nous avons rencontré certains grands témoins qu'il était parvenu à identifier. Nous nous sommes également rendus au Sénégal, avec lui, pour une enquête de terrain. Sur cette trace, nous avons approfondi l'accès à des documents privés, éparpillés, qui auraient été conservés. Nous les avons recoupés avec des archives publiques portant sur l'existence administrative de la société, sur l'évaluation de ses demandes d'aide publique de financement, sur l'évaluation des opérations de coopération et d'installation des pompes solaires, sur le suivi des actions publiques solaire de la France à l'étranger. La dimension internationale des activités et des partenaires de la SOFRETES nous a forcé à suivre des pistes qui nous ont menés auprès des administrations américaines et des organisations internationales qui publièrent des évaluations sur les installations SOFRETES et qui en assuraient une veille. La diversité des partenaires industriels de la SOFRETES a nécessité de nous informer auprès de sources secondaires qui traitent de l'énergie, du pétrole, de l'uranium, de l'industrie automobile, de l'industrie du silicium, du commerce international, des grands serviteurs de l'État (corps des Mines, grandes figures de l'industrie, etc.), de l'histoire de la politique de l'énergie française, etc. La répartition géographique des implantations des pompes solaires nous a poussé à approfondir les contextes étrangers d'accueil de cette action publique solaire française. La renommée que connut la SOFRETES pendant sa période d'activité, au sein des

[9] PAYRE Renaud, POLLET Gilles, « Approches socio-historiques », *in* BOUSSAGUET Laurie, JACQUOT Sophie., RAVINET Pauline (dir.), *Dictionnaire des politiques publiques*, Paris, Presses de Sciences Po, 2010, p. 103 ; PAYRE Renaud, POLLET Gilles, *Sociohistoire de l'action publique*, La Découverte, 2013.

milieux scientifiques et des acteurs de l'aide au développement, en France, mais aussi aux États-Unis, en Inde, dans le monde arabe, etc., a engendré une littérature éclectique que nous avons cherchée à identifier, et qui permet d'apprécier la visibilité et les évaluations, autres que celles de l'expertise publique française, dont elle a été l'objet. S'ajoute à cela toute une documentation générale sur les expérimentations solaires depuis le XIX^{e} siècle, afin d'avoir une vue chronologique et technique (les brevets par exemple) la plus large possible. Au total, c'est un périmètre très vaste qui a été tracé, que présente les pages suivantes et la bibliographie générale.

Notre corpus comporte deux grandes sections. La première cherche à rendre visible la SOFRETES, condition *sine qua non* à la reconstitution des faits. La seconde doit permettre sa mise en perspective en caractérisant son contexte sociohistorique d'émergence et d'existence afin de nourrir l'analyse.

La première section, les sources dites SOFRETES se répartissent entre archives, entretiens et documents publiés.

Les archives se subdivisent en archives privées, ministérielles et parlementaires. Sont placées dans cette catégorie celles qui recèlent des documents centrés explicitement sur l'entreprise. La SOFRETES apparaît sous son nom dans :

- 2 répertoires de fonds du ministère de l'Industrie ;
- 4 répertoires de fonds du COMES – AFME (Commissariat à l'Energie Solaire – Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie) ;
- 3 répertoires de fonds du ministère de la Coopération ;
- 2 répertoires de fonds du ministère de la Recherche ;
- et dans 1 fonds Urbanisme ;
- 5 numéros du Journal Officiel de la République française rapportant des questions parlementaires classées dans les catégories : Machines-outils (Loiret), énergie solaire (recherches et perspectives) et qualité de vie ;
- 1 compte-rendu de débat au Sénat et 3 rapports de commission.

Elle est présente indirectement dans d'autres fonds. Il s'agit de fonds du ministère de la Coopération et du COMES-AFME qui répertorient des projets d'installations solaires dans les « pays du Sud », que nous désignons, afin éviter tout anachronisme, par

le terme utilisé à l'époque des faits, bien qu'il soit désormais désuet : les « pays du tiers-monde ». Ce sont alors des dossiers « Pays » qui offrent l'accès à des documents se rapportant aux installations SOFRETES (Mexique, Sénégal, etc.). Elle est également mentionnée dans des documents archivés dans des fonds du ministère de l'Industrie traitant de l'énergie solaire ou des énergies nouvelles en général. On la retrouve dans des cartons de fonds du COMES-AFME qui agrègent de la documentation sur le Conseil d'administration de l'AFME, sur son Service des Activités Internationales (SAI) et sur les relations AFME – CEA et AFME – Présidence – Ministères. Enfin, des documents issus des archives de l'usine familiale Mengin, des archives du fondateur de la SOFRETES, Jean-Pierre Girardier, des architectes et époux Alexandroff, de certains des ingénieurs (du CEA principalement) et des techniciens qui travaillèrent pour les opérations de la SOFRETES, viennent compléter des angles morts. Ces archives privées ont été regroupées dans un fonds déposé à l'association PHESO (Promotion et Histoire de l'Energie Solaire, association loi 1901 reconnue d'utilité publique) qui le conserve et le met à la disposition du public. Elles peuvent être consultées sur demande auprès de PHESO[10].

Les entretiens sont organisés en trois cercles. Le premier rapporte les témoignages de certains individus qui furent directement impliqués dans la SOFRETES et dans ses relations avec ses partenaires. Le second fait intervenir la parole d'agents qui furent en lien avec elle au sein d'administrations et d'entreprises privées. Enfin, le troisième cercle s'étire en direction des chercheurs qui furent actifs dans le champ de l'économie de l'énergie à l'époque.

Les documents publiés sur l'énergie solaire qui mentionnent la SOFRETES composent un ensemble éclectique. Certains furent rédigés par des membres actifs de la SOFRETES et d'autres par des auteurs extérieurs. Il convient de distinguer les documents américains et étrangers des documents français, ainsi que les documents destinés à un large public (vulgarisation, articles de presse, littérature militante) de ceux écrits pour un lectorat spécialiste (littérature académique, professionnelle, institutionnelle). La SOFRETES apparaît également dans de nombreux documents qui émanent des organisations internationales et des institutions européennes.

[10] Les demandes peuvent être adressées à PHESO sur le site web https://afrisol.hypotheses.org. Un projet de constitution en fonds d'accès public, déposé dans un centre d'archives nationales, est en cours.

La seconde section, les documents qui n'ont pas pour objet principal la SOFRETES, s'organisent en deux sous-ensembles afin de distinguer les sources qui portent sur l'énergie solaire des autres.

Les archives ministérielles portant sur l'énergie solaire à l'international sont privilégiées en complément de celles exhumées sur la SOFRETES. Ce sera le cas des archives du ministère de la Coopération et du COMES-AFME, classées par zones géographiques, par pays, ou par partenaires institutionnels et privés, qui font état de projets solaires, en parallèle à la SOFRETES ou après à sa disparition.

Les occurrences « énergie solaire » ont été recherchées dans les archives parlementaires des années 1960-1980 afin d'apprécier la présence du sujet et la teneur des discours dans les débats, les questions, les commissions et les enquêtes.

Par ailleurs, des articles, chapitres et ouvrages académiques, du XIX^{e} siècle au années 1980, sont mobilisés pour éclairer l'énergie solaire dans :

- les formes que revêt sa présence thématique dans la littérature savante ;
- les aspects techniques des transformations de cette énergie solaire ;
- les dimensions économiques et juridiques de ses usages ;
- l'histoire des recherches et de leurs tentatives de mise en valeur (en France, aux États-Unis, en Afrique, et au Moyen-Orient) ;
- la nature des revues, les champs disciplinaires qui s'emparent du thème et l'identité des auteurs qui communiquent ;
- les discours militants en faveurs des ENR.

Des publications institutionnelles complètent l'analyse sous l'angle :

- de discours des organisations internationales et européennes ;
- de discours des acteurs sectoriels des domaines électricité, nucléaire et pétrole ;
- de discours d'expertises d'agences nationales américaines ;
- de discours officiels (ministères).

Un intérêt particulier est par exemple porté au périodique les *Annales des Mines* du fait de sa notoriété scientifique et de son rôle dans l'élaboration des représentations dominantes au plus haut sommet de l'État. Cette revue est celle de l'élite décisionnelle en matière industrielle et énergétique[11]. La SOFRETES est d'ailleurs présente dans plusieurs de ses articles.

[11] https://www.economie.gouv.fr/cge/annales-des-mines ; https://www.annales.org

Le dernier ensemble de documents articule des textes des années 1950-1980 qui viennent solidifier la compréhension du contexte des faits étudiés en croisant les champs disciplinaires, les thématiques, les époques et les échelles :

- géographie et géopolitique des matières premières, de l'énergie ou d'une région particulière ;
- analyses des mutations économiques d'un secteur industriel ;
- analyses de la politique de l'énergie française depuis 1945 ;
- histoire de certaines administrations ;
- approches économiques, physiques, et politiques du fait nucléaire ;
- analyses sur l'évolution du prix du pétrole et de l'uranium ;
- analyses sur le développement et la coopération avec le tiers-monde ;
- analyses d'écologie politique ;
- essais sur la technocratie ;
- documents institutionnels sur l'énergie et la démocratie, sur l'énergie et le développement, sur la prospective énergétique.

Cet ensemble est fondamental en ce qu'il permet de mettre en cohérence nos découvertes dans les archives avec les grandes dynamiques de l'époque et avec des phénomènes particuliers aux contextes des dossiers SOFRETES (uranium mexicain, etc.). De même que le sous-corpus précédent sur l'« énergie solaire » fait une place aux *Annales des Mines*, celui-ci accueille par exemple la très complémentaire revue de l'École Polytechnique, *La Jaune et la Rouge*. Les numéros thématiques des années 1970-1980 permettent d'accéder aux éléments de discours industriels, énergétiques et financiers des grands commis de l'État issus de la prestigieuse institution. C'est un important vecteur de référentiel[12].

2. Le plan de la démonstration

La démonstration articule six chapitres.

Le chapitre 1, « Un moteur solaire en Afrique », permet de caractériser l'existence historique, technique et politique de la pompe solaire thermodynamique basse température que le professeur Henri Masson (1906-1972) et l'ingénieur-entrepreneur

[12] Nous revenons plus loin sur cette notion de « référentiel » d'action publique ou de politique publique et son ancrage théorique.

Jean-Pierre Girardier (1934-2017) fabriquent en Afrique au moyen de prototypes successifs du début des années 1960 au début des années 1970. « Irriguer le désert avec le soleil », telle est la proposition sociotechnique qui est discutée dans ce premier chapitre : est-ce un possible ou un impossible ? Est-ce une solution orpheline et isolée ou bien connue et accompagnée par l'État ? Dans quelles contingences un premier moteur solaire est-il installé dans le désert du Sahara ? Telles sont quelques-unes des questions qui sont posées.

Le chapitre 2, « Faire face à l'imprévisible », reconstitue les circonstances, les étapes et le système d'acteurs au travers duquel le moteur solaire est projeté dans les relations internationales et intégré, d'abord à la politique publique de l'aide à l'innovation, puis à la politique étrangère française. Il s'agit de saisir comment l'État contrôle la création de la SOFRETES et en oriente l'existence.

Le chapitre 3, « L'opération solaire : entre opportunités et contraintes », propose une analyse de la mise cohérence par l'action publique solaire à l'étranger des deux dimensions très ambivalentes de la proposition sociotechnique de la SOFRETES : à savoir, une machine à industrialiser d'un côté, et un instrument au service du rayonnement de la France de l'autre. Le système d'action publique que nous appelons « l'opération solaire » est déconstruit, afin de mettre au jour les modalités d'utilisation orientée de l'objet technique et de la PME ainsi que leurs effets.

Le chapitre 4, « L'objet technique : des machines pour une sociotechnique », prolonge l'analyse précédente de la technopolitique à l'œuvre en complétant sa dimension politique par sa dimension technique. Il s'agit donc de comprendre comment se co-construisent « l'opération solaire » et l'objet technique sous le contrôle des pouvoirs publics.

Le chapitre 5, « Forces centrifuges et forces centripètes », reconstitue l'évolution du cadre administratif interne à l'entreprise sur la période. Il s'agit de bien comprendre comment la modeste PME devient progressivement une filiale publique, et comment elle organise son activité. Puis comment ses actionnaires et ses administrateurs mettent en œuvre leurs stratégies et si celles-ci sont orientées vers l'énergie solaire. Pour, enfin, identifier les étapes de la liquidation de l'entreprise, les responsabilités et même les actions « contre-mémorielles », qui visent à transformer ou faire disparaître son histoire.

Le chapitre 6, « L'impossible moteur solaire : une décision gouvernementale », identifie les temps forts de l'abandon de la SOFRETES par la politique publique solaire française. Il porte son attention sur les rapports qu'entretient la SOFRETES avec les administrations en charge des dossiers solaires à l'étranger, ainsi que sur les décisions gouvernementales qui concourent à écarter définitivement la SOFRETES et sa proposition des instruments de l'action publique solaire à l'étranger et des possibles industriels.

3. Analyser la relation du moteur solaire de la SOFRETES avec l'État

Afin d'analyser le matériel empirique issu de notre enquête nous avons cherché quels seraient les méthodes et les outils les plus adaptés pour en rendre compte. C'est cette réflexion et ses résultats que nous souhaitons maintenant présenter.

Pour le politiste Aurélien Evrard, qui cherche à comprendre les modalités de l'intégration des énergies renouvelables aux politiques publiques de l'électricité en Europe, les énergies renouvelables (ENR) émergent en tant que problème politique dans les années 1970, corrélativement à l'institutionnalisation de la question environnementale, sous la forme d'une alternative de politique publique qui entre en conflit avec le « secteur » de l'électricité :

> Depuis leur émergence comme nouvelle catégorie d'action publique dans les années 1970, les énergies renouvelables (ENR) ont été intégrées aux politiques de l'électricité de la plupart des États européens. Initialement, elles n'étaient cependant pas une source d'énergie « comme les autres », puisqu'elles ont été associées à un projet de transformation des systèmes énergétiques. Nous les conceptualisons par la notion d'alternative de politique publique, c'est-à-dire un ensemble cohérent de propositions, construit autour de représentations communes, d'arrangements institutionnels et de configurations d'acteurs spécifiques, qui vise non seulement à promouvoir une solution particulière, mais également à transformer le secteur dans lequel celle-ci s'insère[13].

Il se fonde ici sur les caractéristiques sectorielles définies par Pierre Muller :

> On peut alors définir un secteur d'action publique comme « une structuration verticale de rôles sociaux (en général professionnels) qui fixent des règles de fonctionnement,

[13] EVRARD, Aurélien, *op. cit*., 2010, résumé de la thèse.

d'élaboration de normes et de valeurs spécifiques, de sélection des élites et de délimitation de frontières »[14].

Evrard propose une comparaison entre le secteur traditionnel de l'électricité et les alternatives ENR afin d'identifier des éléments conflictuels :

Tableau 1 : caractéristiques générales du secteur de l'électricité et de l'alternative « énergies renouvelables ».

	Secteur de l'électricité	**Alternative « énergies renouvelables »**
Dimension cognitive et normative	Critères économiques, économies d'échelles, approche par l'offre, source d'énergie dominante	Critères environnementaux, usage raisonné des ressources naturelles, approche par la demande, diversification des sources d'énergie
Dimension institutionnelle	Système centralisé, organisation monopolistique	Système décentralisé, multiples unités de production
Acteurs	Un ou quelques acteurs dominants	Acteurs multiples, producteurs indépendants

Source : EVRARD, Aurélien, *op. cit*., 2014, p. 74.

Il conclut son analyse par une interprétation des résultats du conflit entre les ENR et les sources traditionnelles, et considère que le secteur de l'électricité en sort finalement peu ébranlé :

> La première hypothèse développée dans l'article est donc que le développement des ENR constitue un enjeu conflictuel puisqu'il oppose un secteur et une alternative de politique publique. La seconde hypothèse que nous souhaitons développer ici est que, si l'irruption des ENR a contribué à produire quelques changements dans le secteur de l'électricité, les logiques fondamentales de ce dernier n'ont pas été remises en question. Plus encore, nous considérons que c'est l'alternative elle-même qui s'est le plus transformée au contact du secteur. Nous rejoignons en cela l'idée que les secteurs traditionnels disposent d'un certain nombre de ressources qui leur permettent d'intégrer les enjeux exogènes et de maintenir les logiques sectorielles, malgré ces pressions au changement[15].

La singularité de notre objet d'étude – la relation du moteur solaire de la SOFRETES avec l'État – nous pousse à choisir un cadre d'analyse qui n'est pas strictement sectoriel.

En effet, notre étude ne traite pas des ENR en général dans leur relation au secteur de l'électricité, comme c'est le cas pour Evrard par exemple. Nous portons notre attention sur un dispositif technique particulier, les applications thermodynamiques basse température de l'énergie solaire, qui plus est proposées, par une seule entreprise, en

[14] EVRARD Aurélien, « Les énergies renouvelables et l'électricité. À propos d'un conflit entre un secteur et une alternative de politique publique », *Écologie & politique* 2014/2 (N°49), p. 70, citant : MULLER, Pierre, « Secteur », dans BOUSSAGUET Laurie., JACQUOT Sophie., RAVINET Pauline (dir.), *Dictionnaire des politiques publiques*, Paris, Presses de Sciences Po, 2010, p. 591-599.
[15] EVRARD, Aurélien, *op. cit*., 2014, p 69.

relation avec un système d'acteurs plus large que le secteur de l'électricité (mais qui l'inclut). L'approche sectorielle nous semble d'autant plus inadaptée à notre analyse, que nous enquêtons sur une entreprise française en particulier, dont l'activité est encadrée à la fois par la politique de l'énergie dans son volet solaire et par la politique étrangère française notamment dans son volet coopération. De plus, alors que les services énergétiques[16] sont omniprésents et omnipotents dans le fonctionnement quotidien de nos collectifs, les politiques publiques répondent aux questions énergétiques par le prisme unique d'un macro-secteur dont les contours semblent bien difficiles à délimiter empiriquement. Faut-il le définir, comme il est d'usage, par la source primaire, c'est-à-dire notamment par la ressource minière (secteur pétrolier, etc.) : la politique de l'offre ? Faut-il lui préférer les industries engagées dans la fourniture des convertisseurs (moteur, chaudière, turboalternateur, infrastructures réseau, etc.), ce qui s'avère délicat puisque ces grands groupes industriels sont les acteurs de très nombreux secteurs (électromécaniciens et motoristes par exemple) ? Ou faut-il lui reconnaître une existence particulièrement trans-sectorielle, au risque de devoir repenser complétement la nature des réponses politiques aux questions de « service énergétique » en envisageant par exemple une politique de la demande ? La réflexion sur les limites de la sectorisation de ce que nous appelons « l'énergie » est ici engagée, car notre étude discute la mise en administration du « solaire » et la place qu'y occupent la SOFRETES et son moteur[17]. Pierre Muller met en garde de ne pas oublier cet aspect central de l'action publique :

> C'est alors que l'action publique se trouve confrontée à un paradoxe redoutable, dans la mesure où les problèmes qu'elle doit traiter sont en général multiformes, multi-causaux et renvoient toujours à une logique de causalité systémique qui transgresse les spécialisations : tout se passe comme si, d'un côté, l'action publique ne pouvait échapper à la sectorisation pour mettre en œuvre des savoirs et des savoir-faire efficaces mais que, d'un autre côté, elle s'interdisait par là même de prendre en compte le caractère global des problèmes[18].

---

[16] Les services énergétiques désignent ici le système d'acteurs et d'infrastructures qui répond aux besoins des consommateurs par une solution technique qui associe des convertisseurs (des centrales électronucléaires en réseaux par exemple) et leurs sources primaires d'énergie (l'uranium par exemple).

[17] La mise en administration du solaire est discutée dans la partie II, notamment avec la création d'une administration de mission, le Commissariat à l'énergie solaire (COMES en 1978). Sur les agences d'objectifs : CONSEIL D'ÉTAT, *Les Agences : une nouvelle gestion publique ? Étude annuelle 2012*, Paris, Conseil d'État, 2012.

[18] MULLER, Pierre, « Secteur », dans BOUSSAGUET Laurie., JACQUOT Sophie., RAVINET Pauline (dir.), *Dictionnaire des politiques publiques*, Paris, Presses de Sciences Po, 2010, p 597. L'ouvrage BOUSSAGUET Laurie., JACQUOT Sophie., RAVINET Pauline (dir.), *Une « French Touch » dans l'analyse des politiques publiques ?*, Paris, Presses de Sciences Po, 2015, propose différentes contributions qui discutent de la sectorisation dans l'analyse des politiques publiques comme par exemple HALPERN

C'est particulièrement le cas concernant l'énergie puisque, comme l'écrivent Christophe Beslay et Marie-Christine Zélem, « l'énergie apparaît ainsi comme un fait social total au sens de Marcel Mauss, pluridimensionnel et structurant, aux différents niveaux du social : les structures, les organisations et les croyances »[19].

Ayant pris nos distances avec le « secteur » comme unique cadre d'analyse de l'action publique en matière d'énergie, nous devons ensuite préciser le cadre chronologique (plusieurs décennies), dans lequel se déroule la relation que nous étudions entre le moteur solaire de la SOFRETES et l'État, puisqu'il implique forcément des changements dans la configuration d'acteurs et dans le système d'action publique qui le font exister. Les bornes de notre étude correspondent évidemment à l'existence juridique de l'entreprise SOFRETES (1973-1983) qui porte la proposition technique étudiée. Cependant, cette période d'activité commerciale et d'existence administrative de l'entreprise ne peut pas se suffire à elle-même. Le temps de gestation par son créateur, Jean-Pierre Girardier, qui la précède dans les années 1960, doit être inclus, afin de saisir les éléments contextuels qui se trouvent à l'origine de cette relation particulière. D'ailleurs, la compréhension d'un certain nombre d'éléments de ce contexte (techniques, historiques, sociaux et politiques) requiert des éclairages spécifiques qui remontent jusqu'au XIX^{e} siècle. Enfin, les prolongements administratifs de la SOFRETES, et les traces laissées par ses activités et ses machines, doivent être questionnées au-delà de leur disparition. Notre analyse de la relation entre le moteur solaire de la SOFRETES et l'État est donc centrée sur la période qui s'étend des années 1960 aux années 1980, mais elle requiert des remontées et des descentes dans le temps par-delà ces bornes pour consolider la compréhension de nombreux aspects de cette action publique particulière.

La singularité de notre objet d'étude réside également dans les échelles de lecture et dans la nature des parties impliquées par la relation étudiée : d'un côté une machine et de l'autre l'État. Comment faire dialoguer une machine et l'État ? Cela demande d'accorder une attention particulière au rapport à la technique dans l'exercice du pouvoir, puisque ce que nous cherchons finalement à expliquer, ce sont bien les raisons et les

Charlotte, JACQUOT Sophie, « Aux frontières de l'action publique. L'instrumentation comme logique de (dé)sectorisation », pp. 57-84.

[19] ZELEM Marie-Christine, BESLAY Christophe (dir.), *Sociologie de l'énergie. Gouvernance et pratiques sociales*, Paris, CNRS Éditions, 2015, pp. 15-20. Lire également ORTAR Nathalie, LOLOUM Tristan, « Introduction à l'anthropologie de l'énergie », *Lectures anthropologiques*, n°5, 2019.

modalités de l'abandon par l'État du moteur solaire de la SOFRETES. Mobilisons à nouveau les travaux d'Evrard, qui démontrent que les ENR, après leur confrontation avec le secteur de l'électricité dans les années 1970-1980, sont finalement devenues une énergie comme les autres, c'est-à-dire intégrée et non plus contestataire. Il précise que cette absorption des ENR dans le secteur de l'électricité s'est accompagnée de modifications de cette alternative en termes intellectuels et institutionnels - nous ajoutons en termes techniques -, des modifications qui ont permis de les « désamorcer » en quelque sorte : « {le secteur de l'électricité} s'est adapté à la marge, mais tout se passe comme s'il avait capté les technologies pour mieux rejeter le modèle de société dont les énergies renouvelables étaient porteuses. »[20] Pour le dire autrement, les propositions sociotechniques solaires sont selon lui vidées de leur potentiel perturbateur[21] pour devenir de simples objets techniciens d'appoint au service du *statu quo* énergétique et politique. En effet, aujourd'hui, seule la technologie photovoltaïque est proposée comme une solution commerciale viable pour les petites puissances, et en tant que telle, elle fait oublier que la chaleur du rayonnement solaire a déjà pu être, dans le passé, comme sa lumière, convertie en force mécanique, et ce, à partir de faibles écarts de températures. Or, c'est justement ce que fait la SOFRETES à l'étranger en installant ses dispositifs qui récupèrent et convertissent la chaleur perdue du soleil en force mécanique d'abord utile au pompage de l'eau. Lorsqu'elle disparaît en 1983, c'est toute une trajectoire technique qui sombre dans l'oubli, entraînant avec elle toute une série de possibles non-avenus. Nous allons donc nous demander comment cette solution technique, pourtant cohérente et disponible dans le temps court, est devenue inaccessible dans le temps long. Pour ce faire, nous allons devoir investir la dimension politique de la technique, ici celle de la récupération-conversion de la chaleur perdue, puisque, comme Evrard le dit, les ENR sont porteuses d'un modèle de société alternatif.

Fort de cette réflexion initiale, nous considérons que c'est la relation entre la technique et le politique qui offre les outils théoriques et méthodologiques les plus pertinents pour saisir toutes les dimensions de notre objet. Pour comprendre la relation entre le moteur solaire de la SOFRETES et l'État, nous ne devons pas suivre une approche

[20] EVRARD, Aurélien, *op. cit*., 2013., p 19.
[21] *Ibid*., chapitre 4, pp. 81-107.

par la politique sectorielle de l'énergie et des énergies renouvelables, mais plutôt adopter une posture qui considère que cette relation entre une innovation socio-technique et l'État est une forme de relation technique-politique qui revêt des modalités particulières.

4. Du politique dans l'objet

C'est une machine qui est au cœur de notre réflexion. Un objet qui convertit un faible gradient de températures naturelles ou industrielles, c'est-à-dire la « chaleur perdue » (nous revenons plus loin sur l'origine de ce terme), en force mécanique. Comme toute machine, le fonctionnement de ce convertisseur énergétique répond à des considérations expérimentales et théoriques, qui, comme nous le verrons, peuvent se contredire, et, selon qui en administre la preuve, se disqualifier. Mais en aucun cas, elles ne se suffisent à elles-mêmes pour justifier de son intérêt ou non, puisqu'une solution technique est d'abord une réponse à un problème en contexte, nous y reviendrons abondamment dans notre démonstration. C'est pourquoi nous utilisons le terme de sociotechnique, qui rappelle qu'un objet technique appartient à un moment et à une société, et qu'il nécessite et induit des relations sociales particulières[22].

Comme toute proposition sociotechnique, les gouvernants peuvent décider de l'utiliser ou de l'empêcher de se reproduire. C'est le cas du moteur solaire de la SOFRETES, qui est d'abord soutenu, puis abandonné par l'appareil d'État. Pour en comprendre les raisons, il faut intégrer l'objet technique étudié aux pratiques matérielles et discursives de l'exercice du pouvoir, mais avec l'idée que le politique façonne le

[22] ZELEM Marie-Christine, BESLAY Christophe (dir.), *op. cit.*, 2015, « dépasser l'approche technocentrée », « interroger la part sociale des techniques », pp. 15-20 ; BIJKER Wiebe E, HUGUES Thomas P., PINCH Trevor (Dir.), *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge, MIT Press, 1987 ; AKRICH Madeleine, MEADEL Cécile, « Histoire des usages modernes », *in Énergie, l'heure des choix*, Paris, Les Éditions du Cercle d'Art, 1999, pp. 25-91 ; AKRICH, Madeleine, « L'analyse socio-technique », *in* VINCK Dominique, *La gestion de la recherche*, De Boeck, 1991, pp. 339-353 ; AKRICH, Madeleine, « La construction d'un système sociotechnique : Esquisse pour une anthropologie des techniques », *Anthropologie et sociétés*, Québec : Département d'anthropologie, Faculté des sciences sociales, Université Laval, 1989, 13 (2), pp. 31-54 ; AKRICH, Madeleine, « La recherche pour l'innovation ou l'innovation pour la recherche ? Le développement du photovoltaïque en Polynésie », *Culture Technique,* 1988, pp. 318-329 ; AKRICH Madeleine, CALLON Michel, LATOUR Bruno, « A quoi tient le succès des innovations ? 1 : L'art de l'intéressement ; 2 : Le choix des porte-parole », *Gérer et Comprendre. Annales des Mines*, 1988, pp. 4-17 ; AKRICH, Madeleine, « Comment les innovations réussissent ? », *Recherche et Technologie*, 1987, pp. 26-34.

technique (l'outil) et *vice et versa*, dans un processus de codétermination[23]. Cela implique de considérer que l'objet utile est choisi, aussi, en fonction de ses caractéristiques politiques, de ses potentiels de gouvernement ; ou qu'il ne sera peut-être pas choisi en raison de ces mêmes capacités. La technique n'est donc pas seulement capturée par le politique. Une technique en usage suppose, en amont, un choix de la société qui la produit. L'expression politique de la technique suppose la conception de l'État qui la met en œuvre. Le politiste américain Timothy Mitchell, dont le travail sur les énergies est un élément important, on le verra, de notre réflexion, a exprimé et souligné à sa manière cette perspective, en répondant à deux chercheurs français : « (…) Comment en êtes-vous venus à mettre au cœur de vos travaux la question de l'enchâssement des infrastructures techniques dans le politique ? (…) C'est le contraire ! Je ne m'intéresse pas à l'enchâssement des infrastructures techniques dans la politique, mais à l'enchâssement de la politique dans des infrastructures techniques »[24].

Le philosophe de la technique américain Langdon Winner pose, en 1986, la question en titre de chapitre : « Les artefacts font-ils de la politique ? »[25]. Il affirme que la compréhension de l'existence d'une machine doit intégrer ses caractéristiques politiques :

> Rien n'est plus provocateur, dans les controverses sur le thème technologie et société, que l'idée selon laquelle les objets techniques possèdent des propriétés politiques. La question est de savoir si les machines, structures et systèmes de la culture matérielle moderne doivent être évalués non pas seulement en termes de contributions à l'efficacité, à la productivité et selon leurs conséquences environnementales positives ou négatives, mais aussi en fonction de la manière dont ils incarnent des formes spécifiques de pouvoir[26].

Appliquée aux techniques énergétiques, cette conception des choses matérielles implique de considérer que certains aspects de la ressource (sources primaires) et des

---

[23] HECHT, Gabrielle, *Le rayonnement de la France, énergie nucléaire et identité nationale après la Seconde Guerre mondiale*, Paris, La Découverte, 2014, p. 15.

[24] MITCHELL Timothy, CHARBONNIER Pierre, VINCENT Julien, « Étudier les infrastructures pour ouvrir les boîtes noires politiques. Entretien avec Timothy Mitchell », *Tracés. Revue de Sciences humaines*, n°35, 2018, p. 212.

[25] WINNER, Langdon, *La baleine et le réacteur. A la recherche de limites au temps de la haute technologie*, Paris, Descartes & Cie, 2002, p. 45. Voir également : DELEAGE, Jean-Paul, « Le philosophe, la baleine et le réacteur. À propos de la philosophie de Langdon Winner », *Écologie &* politique, N°27, 2003, pp. 247-266 ; DESCOLA, Philippe, *Par-delà nature et culture*, Gallimard, 2005 ; JARRIGE François, LE COURANT Stefan, PALOQUE-BERGÈS Camille, « Infrastructures, techniques et politiques », *Tracés. Revue de Sciences* humaines, n°35, 2018, pp. 7-26 ; MITCHELL Timothy, CHARBONNIER Pierre, VINCENT Julien, *op. cit*., 2018, pp. 209-228.

[26] WINNER, Langdon, *op. cit.*, 2002, p. 45.

convertisseurs (moteurs), dans un contexte sociohistorique particulier, peuvent s'exprimer en mécanismes politiques. Or, le système politico-énergétique, qui gouverne avec et par les fossiles (charbon, gaz, pétrole, uranium) et l'électricité, n'a pas choisi la chaleur solaire. Donc, nous pouvons nous demander si, pour contrôler le politique qui s'encastre dans la technique, la technique qui s'encastre dans le politique ne doit-elle pas être elle-aussi contrôlée ? Étant donné que notre étude consiste à expliquer les modalités de l'action publique qui écarte une solution d'énergie solaire particulière, les aspects politiques des possibles de cette énergie solaire doivent être pensés. Dit autrement, pour comprendre comment « le solaire » est capturé par le politique, il faut comprendre comment le politique s'inscrit dans « le solaire ».

Winner rappelle les travaux de Lewis Mumford dans lesquels cet historien des techniques hétérodoxe interprète l'histoire au travers des rapports de forces déséquilibrés entre technologie autoritaire et technologie démocratique[27], c'est-à-dire le fait, rappelé par la sociologie historique des énergies plus récente, que « l'adoption d'un système technologique donné porte en elle-même un système de distribution des rôles politiques »[28]. Winner propose de se réconcilier avec le déterminisme technique du politique que des écrits comme ceux du scientifique et théoricien libertaire Kropotkine véhiculent depuis le XIX^{e} siècle (ou plus proche de nous ceux de certains de ses épigones, tel Murray Bookchin par exemple)[29], afin de rendre compte au mieux de la réalité, qu'une approche par trop fondée sur la détermination sociale de la technique éclaire autant qu'elle dissimule. D'ailleurs, Frédéric Caille mentionne que Kropotkine propose d'avoir recours aux propositions solaires d'Augustin Mouchot dans *La conquête du pain*, tout comme August Bebel, fondateur du Parti Social-Démocrate d'Allemagne (SPD), dans *La femme et le socialisme*[30]. Winner montre de son côté la persistance et la pertinence de cette approche dans les questions de choix techniques énergétiques, et notamment à

[27] MUMFORD, Lewis, *Technique et civilisation*, Éditions Parenthèses, 2015 ; MUMFORD, Lewis, *Le mythe de la machine*, tome I et II, Paris, Fayard, 1973.
[28] DEBEIR Jean-Claude, DELEAGE Jean-Paul, HEMERY Daniel, *Une histoire de l'énergie. Les servitudes de la puissance*, Paris, Flammarion, 2013, p. 252.
[29] BOOKCHIN, Murray, *Au-delà de la rareté, l'anarchisme dans une société de l'abondance*, Les Éditions Ecosociété, 2015 ; ARDILLO, José, *Les illusions renouvelables. Énergie et pouvoir. Une histoire*, L'Échappée, 2015 ; KROPOTKINE, Petr Alekseevic, *La conquête du pain*, Paris, Tresse & Stock Éditeurs, Deuxième édition, 1892.
[30] CAILLE, Frédéric, *L'Invention de l'énergie solaire. La véritable histoire d'Augustin Mouchot (1823-1912)*, Paris, Librinova, 2023, (chapitre « Augustin Mouchot dans les imaginaires sociaux et politiques de la modernité »).

l'égard des alternatives solaires en regard d'un système politico-énergétique dominé par la toute puissance nucléaire :

> Pendant les années soixante-dix, les mouvements anti-nucléaires et pro-solaire, en Europe et aux États-Unis, fondaient leur argumentation sur une idée similaire. Selon l'écologiste Denis Hayes, « la construction accélérée de centrales nucléaires doit conduire la société à l'autoritarisme. En réalité, compter sur l'énergie nucléaire comme principale source d'énergie n'est possible que dans un État totalitaire ». Comme de nombreux partisans de technologies alternatives et des énergies alternatives, Hayes soutient que « des sources dispersées d'énergie solaire sont plus compatibles que des technologies centralisées avec la justice sociale, la liberté et le pluralisme culturel »[31].

Winner identifie « deux manières d'avoir des propriétés politiques, pour les artefacts »[32]. La machine solaire que nous étudions dans cette thèse possède les deux. Premièrement, il considère que fournir une solution technique à un besoin collectif ou communautaire est une propriété politique en soi, telle que celle de faire jaillir de l'eau dans le désert en transformant la chaleur du soleil en force mécanique au moyen d'un dispositif graduellement appropriable à destination des populations pauvres. Deuxièmement, il estime que les objets intègrent dans leur conception, leur fabrication, leur utilisation et leur diffusion des propriétés politiques, « ce qu'on peut appeler des technologies intrinsèquement politiques, des systèmes de facture humaine qui semblent exiger, ou avoir une forte affinité pour certains types de relations politiques »[33]. Amory Lovins adopte la même posture dans son célèbre article publié en 1976 dans *Foreign Affairs*, « Energy strategy : the road not taken ? », article dans lequel il oppose deux trajectoires sociotechniques énergétiques par rapport à leur caractéristiques politiques potentielles : « *hard energy paths* » (celles des fossiles et du nucléaire, moins démocratiques) *vs* « *soft energy paths* » (celles des énergies renouvelables, plus démocratiques)[34]. Ainsi la pompe solaire thermodynamique de la SOFRETES suggère-t-elle des types de relations sociales (et politiques) différentes de celles d'avec une pompe Diesel, ne serait-ce que la moins grande dépendance aux acteurs qui contrôlent l'accès au pétrole, à sa transformation et à sa distribution. Dans un environnement aride, pauvre, isolé et ultra-dépendant des énergies fossiles pour accéder à l'eau sanitaire et d'irrigation,

[31] WINNER, Langdon, *op. cit*., 2002, p. 46.
[32] *Ibid*., p. 49.
[33] *Ibid*., p. 49.
[34] LOVINS, Amory, « Energy strategy : the road not taken ? », *Foreign Affairs*, N°55, pp. 65-96), 1976 ; LOVINS, Amory, « Energy strategy : the road not taken ? », *in* NADER, Laura, *The Energy Reader*, Whiley-Blacwell, 2010, pp. 166-197.

mettre au point une motopompe solaire, qui fonctionne en récupérant la chaleur perdue dans l'atmosphère, revient à offrir un instrument au désir d'émancipation d'une partie de la paysannerie sahélienne. L'objet, en permettant d'accéder différemment à l'eau, devient un vecteur de mise à jour de relations sociales et politiques. Caille résume cette posture qui considère l'énergie comme une relation, comme un vecteur politique, en mobilisant les travaux anglo-saxons des *Energy Humanities* : « nous sommes tous citoyens et sujets des carburants fossiles jusqu'au bout des ongles, que nous le sachions ou non »[35]. Il rappelle d'ailleurs que les travaux du politiste américain Mitchell, bien que très peu utilisés en France, sont pourtant fondateurs de « la première démarche consistant à relier directement les modes d'énergification des sociétés avec leurs modalités de gouvernances »[36].

Le politiste Yannick Rumpala propose de manière complémentaire une synthèse des « potentialités de réorganisation du collectif » inscrites dans les caractéristiques des technologies énergétiques alternatives[37]. Ses travaux n'entrent pas dans les rouages des machines, ni ne traitent d'une étude de cas de terrain, mais ils sont fort utiles pour caractériser ces capacités :

> Les choix énergétiques qui sont faits dans une société sont aussi des choix politiques. Les techniques développées et les infrastructures déployées matérialisent des modes d'organisation collective. Cette sédimentation de choix plus ou moins visibles joue sur les conditions de vie, à la fois pour les individus et les communautés dont ils font partie, car en fonction des choix opérés vont se mettre en place différentes modalités d'accès à l'énergie, engageant les utilisateurs dans des chaînes de relations plus ou moins contraignantes et des situations de dépendance plus ou moins forte[38].

L'auteur rappelle les trois reconfigurations classiques des rapports sociaux que permettraient le passage à des systèmes renouvelables : plus de décentralisation (plus de déconnexion), plus de proximité à l'ancrage local, à la spécificité du lieu, plus d'autosuffisance, d'autonomie, d'indépendance et d'appropriation technique. En revanche, l'auteur se tient à distance du déterminisme technique là où nous lui accordons

---

[35] CAILLE, Frédéric, « Les humanités énergétiques. Humaniser l'énergie et construire des énergies pour l'humanité, savoirs, pouvoirs et pratiques », Forum International de l'Économie Sociales et Solidaire Mulhouse/Tunis 2021, p. 4 ; BOYER D., SEZMAN I., *Energy Humanities. An Anthology*, Johns Hopkins University Press, 2017 ; www.energyhumanities.ca ; ORTAR Nathalie, LOLOUM Tristan, *op. cit*., 2019.
[36] *Ibid*.
[37] RUMPALA, Yannick, « Formes alternatives de production énergétique et reconfigurations politiques. La sociologie des énergies alternatives comme étude des potentialités de réorganisation du collectif », n° 92, *Flux* 2013/2, pp. 47-61.
[38] *Ibid*., p. 47.

une place plus décisive. Il privilégie l'approche sociologique, « autrement dit, ce potentialisme ne tient pas à une essence, une nature intrinsèque ou une force autonome de la technique, mais à la manière dont des acteurs vont aussi pouvoir ouvrir ou trouver des possibilités nouvelles dans des avancées techniques ou des solutions techniques elles-mêmes nouvelles »[39]. Pour ne pas rester cloisonné entre le tout-social et le tout-technique, il propose d'aborder la question en termes de « potentialisme technologique » en s'appuyant sur l'américain Bell : « *technology does not determine social change ; technology provides instrumentalities and potentialities. The ways that these are used involve social choic*es »[40].

Si le débat reste ouvert, on le voit, sur le sens et l'intensité des échanges entre techniques et société, il n'empêche que du point de vue méthodologique, en zone francophone particulièrement, la balance continue de pencher en défaveur d'une étude précise des objets techniques. Yannick Barthe constate ainsi que les politistes rechignent toujours à ouvrir la machine[41], à mettre les mains dans la technique pour la faire parler :

> Trente ans plus tard, les choses ont bien changé : chacun reconnaît désormais que les technologies « ne sont pas neutres ». C'est même devenu un lieu commun des travaux portant sur l'expertise scientifique, la gestion des risques collectifs, les conflits d'aménagement et, de manière plus générale, ce qu'il est convenu d'appeler les rapports entre science et politique. Cependant, au-delà de cette affirmation de principe, ces travaux n'accordent généralement qu'une place réduite aux dispositifs techniques eux-mêmes. Les chercheurs en science politique qui investissent ce type de questions, par exemple, ne s'y attardent que très rarement ; ils préfèrent arpenter des terrains qui leur sont plus familiers et focaliser leur attention sur les stratégies déployées par différents groupes d'intérêt, sur le pouvoir des experts ou encore sur les ressorts des mobilisations. Leur objectif est le plus souvent de montrer que derrière les projets techniques se profilent des acteurs dominants. Mais, au final, on sait très peu de choses sur les propriétés politiques des projets eux-mêmes, c'est-à-dire sur les contraintes qu'ils font peser, les ressources qu'ils procurent en termes d'action politique et finalement le mode de gouvernement auquel ils s'articulent[42].

En résumé, il ne faut pas hésiter à déconstruire les machines, existantes ou disparues, pour identifier les qualités politiques d'une proposition technique, cela « permet d'avoir accès aux mécanismes par lesquels les techniques contribuent à la

---

[39] *Ibid*., p. 47.
[40] « La technologie ne détermine pas le changement social ; La technologie fournit des instruments et des potentialités. Les façons dont ceux-ci sont utilisés impliquent des choix sociaux ». *Ibid*., p. 48 ; BELL D., *The Coming of Post-Industrial Society : A Venture in Social Forecasting*, New York, Basic Books, 1999, pp. ix-lxxxv.
[41] SIMONDON, George, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier, 1989.
[42] BARTHE, Yannick, « Les qualités politiques des technologies. Irréversibilité et réversibilité dans la gestion des déchets nucléaires », *Tracés. Revue de Sciences humaines*, 2009, p. 119.

transformation des relations de pouvoirs qui constituent la trame du tissu social, aussi bien qu'à leur mise en œuvre ou à leur contestation. »[43] L'invention technique peut donc porter dans ses entrailles une forme possible de contestation politique[44]. Suivre une telle démarche apparaît une étape nécessaire dans la compréhension des raisons, puis de la stratégie qui lui est alors opposée pour la gouverner et/ou pour l'empêcher. C'est cette démarche que nous suivrons dans cette thèse : nous ouvrons la machine pour comprendre comment elle assemble au sein même de ses mécanismes matériels ses objectifs sociaux, et dans le même temps, nous la replaçons dans le système politico-énergétique qui l'intègre afin de comprendre si elle lui permet de se reproduire ou si, inversement, elle le désajuste, le conteste. Les conflits possibles sont alors beaucoup plus clairs et leurs configurations d'acteurs, d'intérêts et d'idées sont plus aisés à agencer afin de faire émerger la réponse qui est mise en œuvre et son issue.

L'analyse doit donc articuler deux échelles. En questionnant le politique dans l'objet, l'objet doit aussi être placé dans le politique.

5. De l'objet dans le politique

Lorsque Gabrielle Hecht étudie l'existence technique du programme nucléaire français, elle utilise le concept de « système technique », défini par Hugues en 1983 : « un système technique est un réseau lié d'objets, de savoirs et d'institutions opérant de manière coordonnée en vue d'une série d'objectifs matériels spécifiés au préalable. Ainsi, le programme nucléaire français est un système technique. »[45]

Yves Bouvier, dans son histoire des relations entre la Compagnie générale d'électricité (CGE) et l'État, mentionne également le concept de système technique, mais dans l'acception de Bertrand Gilles en 1978 : « défini comme l'ensemble des solidarités des filières techniques à une époque donnée. »[46] Cependant, il faut bien avoir à l'esprit

[43] HECHT, Gabrielle, *op. cit*., 2013, p. 14.
[44] Pour Philippe Descola, il y a innovation si et seulement si la proposition sociotechnique ne vient pas déstructurer l'ordre qui la voit naître ou celui qui l'intègre, il y aurait donc un « seuil » social d'acceptabilité des déterminants politiques de la technique, « pour qu'une technique nouvelle apparaisse ou soit empruntée avec quelque chance de succès, il faut donc assurément qu'elle présente une utilité réelle ou imaginaire et qu'elle soit compatible avec les autres caractéristiques du système où elle prend place ». DESCOLA, Philippe, *Par-delà nature et culture*, Paris, Gallimard, 2005, p. 655.
[45] HECHT, Gabrielle, *op. cit*., 2013, p. 22.
[46] BOUVIER, Yves, *Connexions électriques. Technologies, hommes et marché dans les relations entre la Compagnie générale d'électricité et l'État, 1898-1992*, Bruxelles, Peter Lang, 2014, p. 16.

que Gilles est un évolutionniste des systèmes techniques, qui s'inscrit dans la continuité d'un Leslie White[47] ou du matérialisme historique de Marx. Il périodise des époques techniques (ce que Mumford a également tendance à faire).

Selon ce schéma général, il y aurait donc plusieurs « systèmes techniques » qui co-agissent. Si la production d'électricité peut être d'origine nucléaire, elle s'ajoute à celle dégagée à partir de la combustion chimique du pétrole et du gaz, pour ne prendre que cet exemple. Pour paraphraser, le programme pétrolier est donc un système technique. Pour extrapoler, un programme d'énergie solaire serait un système technique.

Les programmes nucléaire et pétrolier pourraient prendre place dans ces filières distinctes, mais solidaires, en définissant l'unique « système technique », puisqu'elles co-agissent. Alain Gras propose de concevoir un « macro-système technique »[48] au regard de la mise en réseau planétaire des échanges, et notamment des échanges d'énergie, pour alimenter la « mégamachine » (il se réfère aux travaux de Lewis Mumford et de Jacques Grinevald sur la société thermo-industrielle[49]).

Ces considérations sont stimulantes, et elles nous poussent à concevoir un ordre énergétique global qui pourrait prendre la forme d'un « système énergétique » comme le définissent Debeir, Deléage et Hémery : « combinaison originale de diverses filières de convertisseurs qui se caractérisent par la mise en œuvre de sources d'énergie déterminées et par leur interdépendance, à l'initiative et sous le contrôle de classes ou de groupes sociaux, lesquels se développent et se contrôlent »[50].

En accord avec la conception de l'objet technique précédemment explicitée, ce « système technique » (ici énergétique) est donc en fait un système « politico-énergétique », celui de la chaleur fossile comme vecteur de gouvernement et non celui de la récupération de la chaleur perdue naturellement. C'est d'ailleurs ce que démontre Mitchell tout au long de son ouvrage *Carbon Democracy* lorsqu'il lie les modalités d'exercice du contrôle démocratique avec l'évolution des choix d'exploitation des hydrocarbures, du charbon au pétrole[51].

[47] ORTAR Nathalie, LOLOUM Tristan, *op. cit*., 2019, p. 2.
[48] GRAS, Alain, *Les macro-systèmes techniques*, Paris, PUF, 1997.
[49] GRINEVALD, Jacques, *La biosphère de l'Anthropocène*, Genève, Georg Editeur, 2008.
[50] DEBEIR Jean-Claude, DELEAGE Jean-Paul, HEMERY Daniel, *op. cit*., 2013, p. 25.
[51] MITCHELL, Timothy, *op. cit.,* 2017.

Pour la socio-historienne Gabrielle Hecht, un second niveau de relations s'exprime à l'intérieur du système technique global et en permet l'analyse : celui de la « technopolitique » et des « régimes technopolitiques ». Ce niveau est la strate où une politique instrumentalise une technique, en fonction de ses caractéristiques politiques, pour atteindre des objectifs politiques. Hecht donne deux exemples : « d'une part des réacteurs nucléaires conçus expressément dans le but de créer et de réaliser une politique atomique militaire et d'autre part, les études d'optimisation destinées à élaborer la politique industrielle. »[52] Dans sa grille de lecture, ce sont donc les « régimes technopolitiques » qui gouvernent la mise en place des « technopolitiques ».

> Ces régimes (consistent) en des ensembles liés de personnes, de pratiques d'ingénierie et industrielles, de dispositifs techniques, de programmes politiques et d'idéologies institutionnelles qui (agissent) conjointement pour gouverner le développement technique et mettre en œuvre la technopolitique [53]. J'emploie ce terme (technopolitique) pour désigner les pratiques stratégiques qui consistent à concevoir ou à utiliser la technique afin de mettre en place des objectifs politiques, de leur donner forme et de les réaliser. Je prends ici « technique » dans une acception large incluant les objets (matériels) aussi bien que les ensembles de méthodes (immatériels) mis en œuvre dans les processus de fabrication et dans le choix des manières de procéder[54].

Plusieurs régimes technopolitiques peuvent donc entrer en conflit dans un même système technique. C'est ainsi que Hecht écrit l'histoire de deux régimes technopolitiques qui ont cherché à modeler le programme nucléaire français, ceux de l'EDF et du CEA. La présente recherche trouve en somme dans les concepts de « technopolitique » et de « régime technopolitique », ainsi définis et positionnés par rapport à celui de « système technique », les outils dont elle a besoin pour analyser certaines dimensions de la relation entre le moteur solaire de la SOFRETES et l'État.

Un dernier aspect de l'architecture conceptuelle de Hecht nous intéresse tout particulièrement. Il s'agit de la notion de « contestation », inhérente pour l'auteur à celle de « régime ». L'auteur insiste sur la présence intrinsèque d'une opposition dans la dynamique de survie d'un régime politique, de surcroît technopolitique (Sezin Topçu la rejoignant de près dans ses travaux sur « L'art de gouverner une technologie

[52] HECHT, Gabrielle, *op. cit*., 2004, p. 20.
[53] *Ibid*., p. 307.
[54] *Ibid*., p. 20.

contestée »[55]). Elle conclut qu' « il est plus facile de renverser un régime technopolitique que de renverser le système technopolitique à l'intérieur duquel il opère. »[56] Retenons pour notre analyse que le système politico-énergétique (qui est un système techno-politique) est donc régulièrement perturbé par des inventions techniques en raison de leur potentiel politique désajustant. Dès lors, toute proposition alternative de système technique apparaît contestataire et il convient de l'éliminer. Hughes, cité par Bouvier, le confirme :

> Parce qu'ils sont inventés et développés par des bâtisseurs de système et leurs associés, les composants des systèmes techniques sont les produits de constructions sociales. {…} Une des premières caractéristiques d'un bâtisseur est sa capacité à construire ou à forger l'unité à partir de la diversité, la centralisation à partir du pluralisme, la cohérence à partir du chaos. Cette construction implique souvent la destruction des systèmes alternatifs[57].

Le moteur solaire de la SOFRETES, installé dans le désert du Sahara, agit-il sur la trajectoire technique dominante (celle de la chaleur fossile), comme un perturbateur ? En effet, les deux sociotechniques alors en présence pourraient se contredire, puisque l'une offre la possibilité à un très grand nombre de récupérer un gradient de température déjà existant, quand l'autre offre à une minorité la possibilité de contrôler la production d'une chaleur très élevée qui n'existe pas (et d'en laisser se dissiper une très large partie afin que le système s'auto-entretienne). Pour le dire autrement, la technique de mise à disposition d'une qualité d'énergie prédéfinie, ici, un type de chaleur particulier (basse et perdue *vs* élevée et fossile), se co-détermine avec des modalités d'exercice du pouvoir (favorisant plus ou moins le contrôle démocratique de l'accès à l'énergie), et, ce faisant, pourraient entrer en conflit.

Une telle posture s'oppose à l'écriture évolutionniste (classique) d'une histoire de l'énergie qui associe un système technique à une période historique. Ce type de récit, toujours dominant, affirme l'existence de transitions, de ruptures, présentées comme inéluctables car répondant à des évidences et à des nécessités technico-économiques, au lieu d'y voir des superpositions et des continuités entretenues, c'est-à-dire pour partie

[55] TOPÇU, Sezin, *La France du nucléaire. L'art de gouverner une technologie contestée*, Paris, Seuil, 2013.
[56] *Ibid*., p. 23. Hecht ne définit pas « système technopolitique ». En fait, elle désigne le système technique qui englobe les régimes technopolitiques étudiés : « les régimes technopolitiques que j'étudie fonctionnent à l'intérieur de ce système », p. 22.
[57] BOUVIER, Yves, *op. cit*., 2014, p. 17.

volontaires. Ce faisant, les contestations et les alternatives n'auraient jamais suffisamment existées (ou pas du tout) pour avoir droit de cité[58]. Au final, ces approches de l'histoire des techniques énergétiques sont profondément apolitiques et elles dépolitisent la question de l'objet et de son choix. Les thèses d'Andreas Malm et de Timothy Mitchell sur l'histoire des processus décisionnels et des motivations qui mènent à l'hégémonie du charbon et du pétrole viennent contredire ces histoires consensuelles, puisque pour leurs auteurs c'est bien la volonté de contrôler les populations qui explique pour partie le recourt au charbon puis au pétrole[59]. Elles sont pour nous des références, tout comme le sont les recommandations de Christophe Bonneuil et Jean-Baptiste Fressoz « pour une histoire désorientée de l'énergie » et ses champs à re-politiser[60].

En 1984, aux Etats-Unis, le sociologue Henry Etzkowitz cherche à clarifier la question de l'autonomie de la technique dans le domaine des énergies à l'égard du politique. Pour cela, il démontre que le choix de développer l'énergie nucléaire civile aux États-Unis d'Amérique, plutôt que les applications de l'énergie solaire, répond clairement à une volonté politique, et qu'il est impossible de justifier cette décision par un quelconque manque de maturité technologique ou par des coûts de production trop élevés (et il développe son raisonnement avec le contre-exemple des transistors) :

> *A government energy policy which supports technologies on the basis of their current degree of maturity is not a neutral policy. Rather, it is a policy which legitimates the status quo since a technology's maturity is often the result of earlier policy decisions. The learning curve analogy from transistors to solar cells suggests the potential economic feasibility of solar energy. Yet in the absence of the kind of support which the Department of Defense*

[58] « *Technological development takes a multilinear path. Even when the range of technologies available for use is narrowed, making technological development appear to be unilinear, alternatives still exist in potential. Althernative trends in technological development can occur when people mobilize social movements to bring them into existence* » ; « le développement technologique prend un chemin multilinéaire. Même lorsque la gamme des technologies disponibles pour l'utilisation est réduite, ce qui donne l'impression que le développement technologique est unilinéaire, il existe encore des alternatives potentielles. Des tendances intrinsèques dans le développement technologique peuvent se produire lorsque les gens mobilisent des mouvements sociaux pour les faire naître ». ETZKOWITZ, Henry, « Solar versus Nuclear Energy : Autonomous or Dependent Technology ? », *Social Problems*, vol. 31, n°4, april 1984, p. 429.

[59] MITCHELL, Timothy, *op. cit.*, 2017 ; MALM, Andreas, *Fossil Capital, the Rise of Steam Power and the Riots of Global Warning*, Londres, Verso, 2016 ; MALM, Andreas, *L' Anthropocène contre l'histoire*, Paris, La Fabrique, 2017.

[60] FRESSOZ, Jean-Baptiste, « Pour une histoire désorientée de l'énergie », *in* THEVENOT, Daniel, *25èmes Journées Scientifiques de l'Environnement - L'économie verte en question*, Créteil, 2014 ; BONNEUIL Christophe, FRESSOZ Jean-Baptiste, *L'événement anthropocène*, Paris, Seuil, 2016, pp. 119-142.

gave to transistors and the federal government continues to give to atomic energy, it is not surprising that commercial solar energy is still in its infancy[61].

Après avoir rappelé que *L'Atomic Energy Commission* de 1972 ignore de nombreux rapports officiels favorables à l'énergie solaire, il conclut sans concessions :

I believe we must recognize the existence of a politics of technology. Within the broad limits of physical and biological laws and the stock of knowledge of a society, technologies are selected that promote certain values at the expense of others. Since every technology is laden with values, alternative values may be selected as the criteria to guide technological development. Technologies may be designed to maintain hierarchical control structures: some types of automated machine tools, for example, reinforce management control and undermine worker control. Conversely, technologies may be designed to encourage democratization of the workplace. {…} Efficiency is only one social value upon which decisions may be made about technological priorities. Other values include safety (for workers, consumers, and communities living near the production site), environmental impact, and worker satisfaction[62].

Cependant, il met en garde contre un excès d'enthousiasme en rappelant que les potentiels politiques du solaire peuvent être également détournés pour reproduire l'ordre social existant sous la forme d'un système technique solaire privilégiant la haute-technologie et les infrastructures de grande taille, et favorisant ainsi un contrôle centralisé et monopolistique. Le changement social ne peut uniquement reposer sur la technique, mais certaines techniques offrent des potentiels plus démocratiques que d'autres. Cette position a déjà le mérite de nuancer les contours du « déterminisme énergétique », comme l'écrit clairement Timothy Mitchell :

---

[61] « Une politique énergétique gouvernementale qui soutient les technologies sur la base de leur degré actuel de maturité n'est pas une politique neutre. Il s'agit plutôt d'une politique qui légitime le statu quo, puisque la maturité d'une technologie est souvent le résultat de décisions politiques antérieures. L'analogie de la courbe d'apprentissage des transistors aux cellules solaires suggère la faisabilité économique potentielle de l'énergie solaire. Pourtant, en l'absence du type de soutien que le ministère de la Défense a accordé aux transistors et que le gouvernement fédéral continue d'accorder à l'énergie atomique, il n'est pas surprenant que l'énergie solaire commerciale en soit encore à ses balbutiements ». ETZKOWITZ, Henry, *op. cit*.,1984, p. 429.

[62] « Je crois que nous devons reconnaître l'existence d'une politique de la technologie. Dans les limites générales des lois physiques et biologiques et du stock de connaissances d'une société, les technologies sont sélectionnées pour promouvoir certaines valeurs au détriment d'autres. Étant donné que chaque technologie est chargée de valeurs, d'autres valeurs peuvent être choisies comme critères pour guider le développement technologique. Les technologies peuvent être conçues pour maintenir des structures de contrôle hiérarchiques : certains types de machines-outils automatisées, par exemple, renforcent le contrôle de gestion et sapent le contrôle des travailleurs. Inversement, les technologies peuvent être conçues pour encourager la démocratisation du lieu de travail {...} L'efficacité n'est qu'une valeur sociale sur laquelle des décisions peuvent être prises au sujet des priorités technologiques. D'autres valeurs incluent la sécurité (pour les travailleurs, les consommateurs et les communautés vivant à proximité du site de production), l'impact environnemental et la satisfaction des travailleurs ». *Ibid*., p. 429.

> On peut introduire la question de l'énergie dans l'étude des démocraties sans succomber immédiatement à un déterminisme énergétique. Il n'y a pas de relation automatique entre une source d'énergie et un niveau de libertés. {…} Il n'y a aucune raison de supposer que les énergies renouvelables comme le vent ou le soleil sont plus démocratiques, simplement parce qu'elles permettent une production d'énergie plus diffuse et localisée. {…} Avant l'ère des énergies fossiles, presque toute l'énergie était renouvelable et provenait de sources contrôlées localement : le caractère dispersé et décentralisé de la production d'énergie n'a pourtant pas créé, à cette époque, une vie politique particulièrement démocratique[63].

Néanmoins, nier totalement le sens de lecture de la technique vers le politique serait tout autant disqualifiant pour la profondeur de l'analyse. Interroger une trajectoire technique c'est, en creux, penser une trajectoire sociale : « il faut plutôt comprendre les rapports entre énergie et politique de la façon suivante : lorsqu'on construit de nouveaux modes de production d'énergie, on ouvre ou on ferme des possibles politiques »[64]. *In fine*, le débat serait donc non advenu : « la politique est inséparable des procédés techniques, et l'important est de comprendre cette interconnexion plutôt que de se convaincre que l'un doit simplement déterminer l'autre »[65]. Ces considérations sont fondamentales pour notre réflexion car elles la font pencher vers une sociohistoire très matérielle de l'action publique, en même temps que tendre à une histoire politique des réalités matérielles. D'ailleurs, les thèses de Timothy Mitchell auxquelles nous nous adossons ne cachent pas leurs emprunts à l'École française des *Science and Technological Studies* (STS) de Bruno Latour et Michel Callon : « s'il y a une leçon à tirer de mon travail sur les questions techniques, elle vient d'autres que moi : c'est qu'il est important d'entrer dans le détail des pratiques techniques afin d'aborder le monde, non pas comme quelque chose qui est composé de nations, d'États, d'empires, de sociétés et d'économies, mais comme un assemblage beaucoup plus composite d'objets matériels, d'agentivités et de collectifs »[66].

Le cadre théorique que nous venons de présenter donne les principaux outils conceptuels ainsi que la méthode d'analyse nécessaires pour penser le politique dans l'objet et l'objet dans le politique, c'est-à-dire le moteur solaire de la SOFRETES dans sa relations avec l'État. Si un système technopolitique se saisit, par l'action publique, d'un objet technique, par et pour ses qualités sociotechniques, afin de se reproduire et/ou de s'en protéger, il doit en proposer une évaluation pour le justifier. C'est donc forcément

[63] MITCHELL, Timothy, *op. cit*., 2018, p 221.
[64] *Ibid*., p 221.
[65] *Ibid*., p 221.
[66] *Ibid*., p 215.

le cas de l'État face au moteur solaire de la SOFRETES. Or la relation technique-politique se prolonge dans cette expertise : l'évaluation de l'objet, ici le moteur solaire de la SOFRETES, par l'expertise publique, reflète sa manière de le concevoir dans sa relation au politique.

6. Évaluer l'objet pour dépolitiser la technique

Nous venons de montrer que l'invention technique est potentiellement source de conflits parce qu'elle porte dans ses entrailles la controverse politique. Reconnaître cette caractéristique à l'objet technique n'est pourtant pas le fait de l'expertise publique lorsqu'il s'agit de choisir ou non une technique. Les potentiels politiques sont alors trop souvent recouverts par une évaluation en termes purement technico-économique[67]: « si l'on croit que les technologies nouvelles sont introduites pour améliorer l'efficacité, on sera parfois déçu par l'histoire de la technologie. Le changement technologique dépend de toute une panoplie de motifs, parmi lesquels le moindre n'est pas le désir qu'ont certains humains de dominer les autres, même si cela doit impliquer quelques aberrations en termes de coût et de rentabilité globale. »[68] En 1954, Jacques Ellul, dans *La Technique ou l'enjeu du siècle* tente de faire émerger ce qui est désormais bien connu sous le nom de « l'autonomie de la technique », « qui signifie tout simplement qu'à travers elle un pouvoir s'affirme en se cachant derrière une fallacieuse nécessité »[69].

Les convertisseurs solaires souffrent particulièrement de cette approche technocentrée[70] de la « geste modernisatrice »[71], lesquelles substituent des critères

[67] Alain GRAS mentionne que Bernard CHARBONNEAU à particulièrement bien décrit le « recouvrement du politique par le techno-économique » dans son ouvrage *Le système et le chaos. Critique du développement exponentiel*, Anthropos, 1973. GRAS, Alain, « Postface. Face à l'impuissance », *in* JARRIGE François, VRIGNON Alexis (dir.), *Face à la puissance. Une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel*, Paris, La Découverte, 2019, p. 381.
[68] WINNER, Langdon, *op. cit*., 2002, p. 52.
[69] GRAS, Alain, *op. cit*., 2019, p.381 ; ELLUL, Jacques, *La technique ou l'enjeu du siècle*, Paris, Armand Colin, 1954 ; ROY, Christian, « Charbonneau et Ellul, dissidents du progrès », *in* PESSIS Céline, TOPÇU Sezin, BONNEUIL Christophe (dir.), *Une autre histoire des « Trente Glorieuses »*, Paris, La Découverte, 2015 (2013), pp. 283-301.
[70] ZELEM Marie-Christine, BESLAY Christophe (dir.), *op. cit.*, 2015, pp. 15-20.
[71] PESSIS Céline, TOPÇU Sezin, BONNEUIL Christophe (dir.), *Une autre histoire des « Trente Glorieuses »*, Paris, La Découverte, 2015 (2013), notamment la partie I intitulée « de la geste modernisatrice », pp. 6-178 ; BONNEUIL Christophe, PESTRE Dominique, (dir.), *Le siècle des technosciences (depuis 1914)*, *Histoire des sciences et des savoirs, tome* 3, Paris, Seuil, 2015 ; PESTRE, Dominique, « Les sciences entre démiurgie, états de fait économiques et démocratie. Aperçu historique, situation présente, principes normatifs », *in* BACQUE Marie-Hélène et *al*., *La démocratie participative*,

technico-économiques restrictifs et abstraits aux caractéristiques sociales de chaque projet et de ses dispositifs. Choisir ou écarter un dispositif technique en général, ou le moteur solaire de la SOFRETES en particulier, procède donc d'une « expertise comme dispositif de légitimation et mode de production de l'action publique »[72]. Comme l'explique Cécile Robert, en présentant les termes de son évaluation comme les seules variables rationnelles et objectives pour rendre compte de l'objet, l'expertise permet en général de faire passer le choix politique pour une décision légitime, dénuée de subjectivité et d'intérêts, c'est-à-dire neutre :

> Telle qu'elle est habituellement mise en discours, l'expertise fonctionne sur le principe d'un transfert de légitimité : appuyée sur l'expertise, la décision serait fondée en raison, c'est-à-dire non seulement juste et informée, mais également objective et débarrassée de tout arbitraire[73].

Un tel processus permet alors de dépolitiser l'enjeu à traiter, il n'y a donc pas de controverse possible, pas de choix politique, simplement une évidence (ici technicienne) :

> Elle permet en effet de faire apparaître la décision non plus comme le produit d'un choix, en valeur ou entre des intérêts divergents, comme le fait d'un arbitrage et d'un arbitraire, mais comme une solution neutre et objective. La « dépolitisation » qu'autorise l'expertise peut ainsi prendre la forme d'un effacement de la dimension conflictuelle de l'enjeu à traiter[74].

Seulement, dans le domaine qui nous intéresse ici et comme nous venons de le préciser plus haut, le convertisseur énergétique est un vecteur politique. Les évaluations purement technico-économiques des solutions énergétiques leurs nient cette qualité[75]. Il convient donc d'analyser dans cette thèse les termes de cette mise en récit ainsi que de cerner son système d'acteurs et de les confronter à des grilles d'analyse complémentaires

---

Paris, La Découverte, 2011, pp. 261-282 ; PESTRE, Dominique, « Des sciences, des techniques et de l'ordre démocratique et participatif », *Participations*, N°1, 2011, pp. 210-238 ; PESTRE Dominique, *Le gouvernement des technosciences*, Paris, La Découverte, 2014 ; BONNEUIL Christophe, FRESSOZ Jean-Baptiste, *L'événement anthropocène*, Paris, Seuil, 2016.

[72] ROBERT, Cécile, « Expertise et action publique » *in* BORRAZ Olivier, GUIRANDON Virginie (dir.), *Politiques publiques 1. La France dans la gouvernance européenne*, Paris, Presses de Sciences Po, 2008, chapitre 11, p. 3.

[73] *Ibid*., p. 3.

[74] *Ibid*., p. 8.

[75] « La dépolitisation est le principal écueil à une analyse critique des systèmes énergétiques. Par dépolitisation, on se réfère ici aux stratégies visant à soustraire les enjeux politiques et sociaux du débat public et des institutions démocratiques de gouvernance énergétique. Sauf dans le cas où elles dysfonctionnent brutalement, les infrastructures énergétiques sont souvent considérées comme allant de soi et politiquement neutres. Leur construction est communément dépolitisée par l'usage de discours experts et de routine anti-politiques ». ORTAR Nathalie, LOLOUM Tristan, *op. cit*., 2019, paragraphe 14.

élaborées à partir d'autres variables, notamment socio-politiques. Car l'enjeu est de taille. Évaluer un convertisseur énergétique à partir des usages et des usagers, comme se propose de le faire la proposition de la SOFRETES, c'est intégrer les citoyens à la décision et reconnaître l'existence d'un choix politique, et ouvrir ainsi la boîte de Pandore d'une controverse solaire. Ce qui semble d'autant plus nécessaire qu'une « fabrique institutionnelle d'ignorance » des propositions sociotechniques alternatives aux fossiles existe[76]. « Une agnotologie énergétique »[77], dont Caille nous rappelle que Benjamin K. Sovacool[78] l'a parfaitement établie, et « qu'à mesurer toutes les énergies à l'aune des énergies fossiles, de même que l'on évalue l'économie à la toise de la rentabilité du capital, il est possible de conclure presque par avance à leur inadaptation et à leur marginalité dans le monde qui est devenu le nôtre »[79].

Jean Meynaud, qui s'interroge en 1957 sur les rapports entre *Les Techniciens et le Pouvoir*, insiste sur l'évidente absence d'applications rationnelles des déterminants techno-économiques pourtant présentés comme tels, ce qui, en creux, questionne les motivations des évaluateurs : « on doit aborder maintenant le second ordre de controverse, souvent passé sous silence, qui tient au contenu politico-social des moyens. En termes simples, les divers moyens possibles sont plus ou moins favorables à des intérêts déterminés. »[80] Cinquante ans plus tard, Gabrielle Hecht analyse la genèse et

[76] BARBIER Laura, BOUDIA Soraya, GOUMRI Maël, MOIZARD-LANVIN Justyna, « Ignorance(s). Élargir la focale », *Revue d'anthropologie des connaissances* (en ligne), N°15-4, 2021, mise en ligne le 01 décembre 2021, consulté le 10 décembre 2021, URL : http://journals.openedition.org/rac/25513 ; LÖWY, Ilana, « La sociologie de l'ignorance de Amaos Funkenstein et Adin Steinsaltz. Un essai ignoré et fascinant », *Revue d'anthropologie des connaissances* (en ligne), N°15-4, 2021, mise en ligne le 01 décembre 2021, consulté le 10 décembre 2021, URL : http://journals.openedition.org/rac/24015 ; PESTRE, Dominique, « Chapitre 3. Pour une politique assumée de l'ignorance. A propos du savoir et de ses limites », *in* PESTRE, Dominique, *A contre-science*, Paris, Le Seuil, 2013, pp. 63-87 ; GIREL, Mathias, *Science et territoires de l'ignorance*, Versailles, Quae, 2017 ; Mathias Girel est à l'initiative de la création d'un fonds documentaire, consultable en ligne, sur la science et l'ignorance au centre documentaire du CAPHES (ENS-PSL) https://www.ens.psl.eu/actualites/science-et-ignorance ; « le carnet d'études agnotologique » en ligne sur la plateforme hypothèses.org est également une ressource mobilisable, https://ignostudies.hypotheses.org/seminaire-quand-lignorance-stimule-la-science ; enfin, les travaux de Robert Proctor sont incontournables, PROCTOR Robert N., SCHIEBINGER Londa (dir.), *Agnotology. The making & unmaking of ignorance*, Stanford California, Stanford University Press, 2008 ; voir également COUNIL Émilie, HENRY Emmanuel, « Produire de l'ignorance plutôt que du savoir ? L'expertise en santé au travail », *Travail et emploi*, Octobre-Décembre 2016, pp. 5-29.

[77] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2021, p. 6.

[78] SOVACOOL, Benjamin K., « What are we doing here ? Analyzing fifteen years or energy scholarship and proposing a social science research agenda », *Energy Research & Social Science*, 1, 2014, pp. 1-29.

[79] *Ibid*., p. 7.

[80] MEYNAUD, Jean, « Les techniciens et le pouvoir », *Revue française de science politique*, n°1, 1957, p. 15.

l'influence des instruments d'évaluation des techniques tels que « l'optimisation et le kilowattheure compétitif »[81], construits à partir des années 1950-1960 par la nouvelle génération des manager-économistes de l'EDF, sur les évaluations comparatives des convertisseurs électriques. Ces outils de mesure quantitatifs, en permettant de nier l'incommensurabilité des différentes sources d'énergie, ainsi que leurs qualités sociales, sont de puissants moyens de persuasion[82]. La littérature critique du progrès, de la productivité, du projet modernisateur gaulliste et de son culte voué à la technologie et à l'énergie comme moteur de la croissance, est dès lors très utile pour comprendre comment l'action publique prend appui sur des méthodes d'évaluation et des indicateurs profondément influencés par l'économétrie et l'idéologie productiviste[83]. Timothy Mitchell démontre, quant à lui, comment, une fois « l'économie » devenue une science de gouvernement (progressivement à partir des années 1930), cette nouvelle discipline savante impose la représentation d'une croissance immatérielle et illimitée, appréciée à partir d'indices abstraits, tel le P.I.B, corrélée à une très forte consommation d'énergie et à la perception d'une abondance des ressources[84]. Pour Emmanuel Fureix et François Jarrige, la domination de l'évaluation technico-économique des convertisseurs énergétiques est sans doute à rechercher dans :

> La genèse du concept physico-économique de travail mécanique dont dérivera ensuite celui d'énergie au croisement de l'ancienne mécanique rationnelle et de la nouvelle science des

[81] HECHT, Gabrielle, *op., cit*., 2004, pp.65-103.

[82] L'éventaire des outils historiques de la persuasion technico-économique est aujourd'hui bien connu et étudié, nous pouvons en rappeler quelques-uns des principaux : le PIB des comptabilités nationales, l'intensité énergétique qui est censée mesurer la corrélation positive entre la production d'énergie et la croissance économique, la tenue des bilans énergétiques, etc. Autant de leviers décisionnels qui permettent de concevoir l'énergie comme une grandeur abstraite mesurable, autorisant comparaisons et hiérarchies, déconnectée de la matérialité des ressources primaires et des machines. On peut enrichir la réflexion avec les travaux d'histoire de l'analyse économique d'Antoine Missemer, notamment sur l'origine de l'assimilation de la ressource fossile à un banal actif dans MISSEMER, Antoine, « Des énergies fossiles aux actifs épuisables, une histoire de l'analyse économique (1865-1931 », *in* MATHIS Charles-François, MASSARD-GUILBAUD Geneviève (dir.), *Sous le soleil. Système et transitions énergétiques du Moyen-Âge à nos jours*, Éditions de la Sorbonne, 2019, pp. 300-310. MISSEMER propose également de revenir sur « L'invention des catégories énergétiques par les économistes », *in* JARRIGE François, VRIGNON Alexis (dir.), *Face à la puissance. Une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel*, Paris, La Découverte, 2019, pp. 229-237.

[83] PESSIS Céline, TOPÇU Sezin, BONNEUIL Christophe (dir.), *op. cit.,* 2015 (2013), notamment FRESSOZ Jean-Baptiste, JARRIGE François, « L'histoire et l'idéologie productiviste. Les récits de la Révolution industrielle après 1945 », pp. 62-79 ; Voir aussi BOUDIA, Soraya, « Gouverner par les instruments économiques. La trajectoire de l'analyse coûts-bénéfices dans l'action publique », *in* PESTRE, Dominique, *Le gouvernement des technosciences*, Paris, La Découverte, 2014, pp. 231-259.

[84] MITCHELL Timothy, CHARBONNIER Pierre, VINCENT Julien, « Étudier les infrastructures pour ouvrir les boîtes noires politiques. Entretien avec Timothy Mitchell », *Tracés. Revue de Sciences humaines*, n°35, 2018, pp. 218-219.

> machines promue par l'économie politique. En rupture avec les anciennes représentations physiocratiques de la nature nourricière, s'élabore au XIX[e] siècle un nouvel imaginaire productiviste du travail ; porté notamment par les écrits de Jean-Baptiste Say. Le XIX[e] siècle invente ainsi une « nature désormais intrinsèquement productive et laborieuse, une nature-moteur » comme l'écrit Michel Bray dans un ouvrage ambitieux explorant la manière dont l'évolution des sciences a façonné la modernité et ses apories. Au début du XIX[e] siècle, les techniques sont redéfinies comme des instruments d'exploitation d'une nature considérée comme infinie, comme une pure ressource, dont il reviendrait aux hommes d'extraire le maximum d'énergie » [85].

L'ouvrage de vulgarisation de Marcel Macaire, *Du nucléaire au solaire*, publié en 1979, est assez emblématique de cette manière de concevoir le lien causal entre la puissance de la machine à feu[86] et le progrès social. L'auteur, polytechnicien au service de l'EDF, reprend tous les éléments du discours productiviste de « l'énergie facteur de développement »[87] comme point de départ de son raisonnement. Son objectif est en fait de défendre l'option nucléaire des surgénérateurs (il est d'ailleurs très critique sur le programme nucléaire en cours et sur l'augmentation des consommations de fossiles). Le solaire (uniquement le photovoltaïque et les grandes centrales héliothermiques à concentration tel le projet de centrale à tour Thémis) est alors classiquement présenté comme un appoint potentiel dont les techniques ne sont pas matures :

> En bref, tout concourt à faire de l'emploi de l'énergie solaire - comme d'ailleurs de toute technologie naissante – le « carrefour des illusions perdues ». La mise en œuvre de l'énergie solaire exige en fait, une longue expérimentation et l'utilisation d'une technologie de pointe, faute de laquelle on ne rencontre que déboires : John Ericsson convertira au charbon et au gaz son moteur solaire, ce qui lui permettra d'en vendre de nombreux exemplaires[88].

Nous ne sommes pas d'accord avec cette sentence, car l'histoire des expérimentations solaires est justement déjà très longue en 1979, et l'avis de l'auteur sur les choix d'Ericsson n'est fondé sur aucun travail historique. Il s'agit d'une pure interprétation qui, au regard de relectures récentes de l'histoire des travaux de l'ingénieur américain, apparaît comme largement erronée[89]. L'exemple emporte avec lui sa propre

---

[85] FUREIX Emmanuel, JARRIGE François, *La modernité désanchentée. Relire l'histoire du XIX[e] siècle français*, Paris, La Découverte, 2020, p. 67.
[86] CARNOT, Sadi, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, Paris, Chez Bachelier, 1824.
[87] MACAIRE, Marcel, *Du nucléaire au solaire*, Paris, Éditions économie et humanisme, les éditions ouvrière, 1979, tire du chapitre 1, p. 10.
[88] *Ibid*., p. 103.
[89] « John Ericsson, de son côté, dans les années qui suivront, et jusqu'à sa mort en 1889, investit jusqu'à 100.000 dollars du moment dans ses « machines-soleils ». Mais hélas, folie du secret, méfiance des

contradiction, puisqu'à la date où s'exprime Macaire le brevet d'un moteur à air d'Ericsson (y compris chauffé par le soleil), peut se prévaloir déjà de près d'un siècle de « longue expérimentation » (il date de 1880)[90].

Mais c'est ici surtout l'idée que les technologies énergétiques ne peuvent être efficaces que si elles prennent la forme de dispositifs sophistiqués, que nous voulons souligner, comme symptomatique des représentations dominantes des convertisseurs énergétiques. L'efficacité de l'équipement, notion éminemment polysémique et controversée, et comprise ici comme sa légitimité à produire de l'énergie, est le plus souvent jugée à son degré de sophistication technologique. Cette évaluation va généralement de pair avec une certaine objectivation mathématique de la notion de rendement et de puissance. Une objectivation dominante, qui influence la manière de concevoir un convertisseur fossile ou solaire.

Il est en effet nécessaire de rappeler qu'une centrale nucléaire, ou un moteur à combustion interne, convertissent, selon un procédé physico-chimique, la matière en chaleur à haute température. Les principes de la thermodynamique qui rendent compte de cet effet de matière ne font aucune distinction théorique entre ces deux procédés (substituabilité donc). Selon ces principes, l'énergie ne fait que changer de forme (principe d'équivalence), et une certaine quantité de chaleur peut être convertie à chaque fois en force mécanique, alors qu'une grandeur résiduelle est dissipée en travail perdu[91].

---

contrefacteurs, copieurs, et autres pilleurs de brevets, ce grand innovateur se perd en solitude, jusqu'à détruire l'essentiel de ses résultats dans ses derniers jours. » CAILLE, Frédéric*, op. cit*., 2023, p. 27.

[90] Brevet américain de John ERICSSSON, « Air engine », déposé le 19 février 1880, breveté le 30 mars 1880, n°226052.

[91] Les analyses historiques et épistémologiques du poids de la thermodynamique (comme science, comme pratique, comme rhétorique, comme tautologie, bref comme référentiel de nombreux choix technopolitiques) dans la conception même de ce qu'est l'énergie ainsi que sur les manières d'en programmer et d'en justifier les usages, sont en elles-mêmes un champ de recherche controversé mais très défriché (des postures négentropes aux lectures thermodynamiques de l'agir social). Les travaux d'Isabelle Stengers sont extrêmement solides et éclairants pour appréhender le phénomène et sa suprématie sur l'histoire de la pensée de l'énergie et de l'évaluation de ses objets. L'héritage dogmatique des dites lois de la thermodynamique fait particulièrement obstacle aux machines solaires thermodynamiques basse température qui expriment le mieux leurs potentiels dans les réalisations empiriques et non dans les savoirs théoriques qui les dominent. STENGERS, Isabelle, *Cosmopolitiques I*, Paris, La Découverte, 2003. L'œuvre de Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994) est commentée dans GRINEVALD, Jacques, *La biosphère de l'Anthropocène*, Genève, Georg Editeur, 2008. Son idée maîtresse est que le second principe de la thermodynamique (l'entropie) s'applique à l'économie et à la société industrielle. Antoine Missemer propose également une mise en perspective de l'approche de Georgescu-Roegen dans MISSEMER, Antoine, *Nicholas Georgescu-Roegen, pour une révolution bioéconomique*, Lyon, ENS Editions, 2013. On pourra également se référer à DE ROSNAY, Joël, *Le macrocosme*, Paris, Seuil, 1975. Livre très influent d'éco-énergétique. Celui de COMMONER, Barry, *La pauvreté du pouvoir*, PUF, 1980, intègre également une réflexion sur la thermodynamique. Bonneuil et Fressoz questionnent l'histoire d'une lecture

La théorie précise qu'il suffit d'augmenter la température de la source chaude (par rapport à celle de la source froide) pour obtenir une énergie de « meilleure qualité », à savoir un potentiel de travail plus élevé : plus de force disponible. Précisons qu'il existe un seuil optimal pour chaque dispositif, qu'il convient d'établir. Par exemple, pour des insolateurs (panneaux solaires thermiques), selon leur dimensionnement, leur rendement sera optimal dans une plage de fonctionnement donnée, et il ne servira donc à rien de chercher à augmenter, par principe, de manière exponentielle, la température (nous le verrons). Dans cette cosmologie de l'énergie, lorsqu'il devient nécessaire d'évaluer un convertisseur, sa dite « efficacité » est communément mesurée en termes de rendement mathématique théorique. Il s'agit cependant de ne pas confondre les « rendements » des différents segments matériels du cycle thermodynamique (le moteur ou la turbine, la chaudière ou les capteurs, les échangeurs-condensateur, etc.) avec le « rendement global » dudit cycle. Cette grandeur théorique est de toute façon très faible, quel que soit le type de machine, car la transformation physique de la chaleur en force mécanique est le lieu d'une immense dissipation. En revanche, une évaluation plus globalisante peut être menée sur chaque élément du dispositif en action (par exemple dans le cas de la SOFRETES des capteurs à la pompe de puits) ainsi que sur le rendement de l'entièreté de la chaîne de fonctionnement, ce que l'on peut désigner comme « l'énergie grise », telle celle qui est nécessaire à fabriquer chaque boulon, à extraire chaque gramme de minerai, etc. Évidemment, une telle démarche requiert un programme d'évaluation très empirique, très collé au réel, et qui s'éloigne donc de l'espace théorique du rendement abstrait : l'usage des considérations expérimentales entre en conflits d'intérêts avec l'usage des considérations théoriques. Où donc débuter et où arrêter les bornes du calcul du

thermodynamique du « récit de l'éveil écologique » qu'ils analysent en dégageant des « grammaires de la réflexivité environnementale » dans leur ouvrage BONNEUIL Christophe, FRESSOZ Jean-Baptiste, *L'événement anthropocène*, Paris, Seuil, 2016, pp. 215-217. Enfin, pour une mise en perspective globale nous nous référons à l'ouvrage désormais classique DEBEIR Jean-Claude, DELEAGE Jean-Paul, HEMERY Daniel, *Une histoire de l'énergie. Les servitudes de la puissance*, Paris, Flammarion, 2013. On peut également remonter aux textes fondateurs : CARNOT, Sadi, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, Paris, Chez Bachelier, 1824, et CLAUSIUS, Rudolf, « Le second principe fondamental de la théorie mécanique de la chaleur », *Revue des cours scientifiques de la France à l'étranger*, 1868, 10, pp. 153-159. Enfin, Guedj propose une lecture historique de la thermodynamique notamment à travers l'analyse des travaux de W. Thomson sur la dissipation et la réversibilité. Lire GUEDJ Muriel, MAYRARGUE Arnaud, « Éclairages historiques sur l'émergence du concept d'énergie », *RDST - Recherches en didactique des sciences et des technologies*, ENS Éditions, 2014, 10, pp.35-61 ; GUEDJ, Muriel, « L'émergence du principe de conservation de l'énergie et la construction de la thermodynamique », thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, sous la direction de PATY, Michel, Université de Paris 7, 2000.

rendement d'une machine ? Aucune réponse rationnelle n'est possible. C'est, là encore, un choix qui est fonction d'objectifs. François De Closets propose de la sorte, en 1973, dans un article de vulgarisation, une lecture du rendement de la pompe solaire de Girardier mise en fonction en Mauritanie cette même année, juste avant la création de la SOFRETES. L'intérêt de son effort didactique est qu'il essaye de faire comprendre au lecteur-citoyen que la performance technique réside ici dans le faible différentiel de température, environ 30°C, qui est converti en force mécanique, et ce, à basse température (75-90°C maximum pour la source chaude), et non pas dans le rendement global du cycle. En effet, selon l'auteur, ce dernier est théoriquement inférieur à 8 % avec ce type de dispositif solaire. Or la station de pompage en fonction fournit un rendement à l'arbre moteur de 4 %. Ce qui signifie que le moteur solaire fonctionne avec un rendement mécanique de 50 % ! : « Résultat remarquable si l'on songe que les turbines à gaz ne sont généralement qu'à 30 % de leur rendement de Carnot »[92]. Dit autrement, le moteur transforme 50% de la chaleur utile qui lui parvient alors que cette dernière ne représente pourtant qu'une infime quantité récupérée de chaleur naturelle perdue.

Ce que cet exemple démontre, c'est qu'il est nécessaire, pour mener à bien l'analyse de la relation entre le moteur solaire de la SOFRETES et l'État, de connaître les ressorts discursifs dominants de l'évaluation de l'efficacité des convertisseurs que l'expertise publique lui applique, puisque le risque est grand que les résultats d'une telle mesure de l'objet rendent invisibles ses performances sociotechniques. Ainsi, une telle évaluation, visiblement déjà contredite à l'époque des faits par de nombreux observateurs, pourrait dépolitiser l'existence de la machine en se justifiant de sa faiblesse technique intrinsèque, ainsi que les différentes modalités d'évaluation de son rendement pourraient le suggérer. Parmi les critères de comparaison des convertisseurs énergétiques les plus communément retenus par le récit de l'expertise technocentrée, la « puissance » demeure sans doute celui aux effets les plus sentencieux lorsqu'il s'agit d'apprécier leur efficacité.

Alain Gras élabore une réflexion utile sur « la manière dont la puissance a pu devenir la finalité technologique par excellence »[93] dans la postface d'un des rares ouvrages qui propose « une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel »[94]. Il y

[92] DE CLOSETS, François, *Sciences et Avenir*, Octobre 1973, pp. 960-965.
[93] GRAS, Alain, « Face à l'impuissance », *in* JARRIGE François, VRIGNON Alexis (dir.), *Face à la puissance. Une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel,* Paris, La Découverte, 2019, p. 387.
[94] *Ibid*.

convoque les travaux de Dominique Janicaud pour illustrer l'idée que les critères de sélection d'une technique dépendent de la façon de penser la puissance à un moment donné : « En d'autres termes l'efficacité d'une technique ne se juge pas dans un monde à part, ni selon les critères d'un ingénieur contemporain. Elle s'apprécie, au contraire, à partir d'un système de valeurs où la définition de la puissance repose sur une contingence historique, donc provisoire. »[95] Janicaud déconstruit le processus d'engendrement de la puissance pour en présenter un modèle. La société thermo-industrielle[96] reposerait sur un processus d'accumulation de connaissances (pratiques et théoriques) qui serviraient le dessein de « se transformer alors en puissance immédiate par l'application instrumentale »[97]. Ce serait « l'obsession du temps court »[98] qui expliquerait « pourquoi, entre diverses machines, préférer celle dont l'efficacité immédiate est la plus grande, sans tenir compte d'une autre possibilité offerte par le milieu, en rapport avec l'usage »[99]. Ce schéma interprétatif propose donc que la machine et ses potentiels politiques arrivent comme une réponse à une « idée de la puissance » qui la précède :

> Le temps de l'Anthropocène fut d'abord institué dans un imaginaire de la raison, celui que Janicaud a décrit, puis objectivé par la machine fossile et le dispositif intellectuel qui l'accompagne, la science. Il donna forme à un projet totalement inédit : la marche obligatoire vers un futur indéfini mais décrété meilleur. La technologie thermique fut l'outil essentiel, à ce moment-là, pour objectiver cette représentation inédite de l'homme dans le temps, propagé par les penseurs des XVII^e^ et XVIII^e^ siècles. La machine assura la réussite postérieure de l'idée, curieuse inversion dans la réalité de la thèse du matérialisme historique[100].

La « puissance » comme capacité de domination dans l'exercice du pouvoir se projette alors dans le « récit de la puissance de la machine » comme capacité à engendrer de la force thermomécanique mesurée en kW et en rendement théorique. Il faut donc mener l'analyse en situant le moteur solaire dans ce récit car il est un des éléments cognitifs dominants des stratégies discursives de l'expertise publique en matière de choix des technologies énergétiques. Cependant, aux critères comparatifs physico-techniques

[95] Ibid., p. 387 ; JANICAUD, Dominique, *La puissance du rationnel*, Paris, Gallimard, 1985.
[96] La notion de société thermo-industrielle est d'un usage très répandu suite aux travaux d'Alain GRAS et de Jacques GRINWALD : GRAS, Alain, *Le choix du feu*, Paris, Fayard, 2007 ; GRINEVALD, Jacques, *La biosphère de l'Anthropocène*, Genève, Georg Editeur, 2008.
[97] GRAS, Alain, *op. cit*., 2019, 387.
[98] *Ibid*., p. 388.
[99] *Ibid*.
[100] GRAS, Alain, *op. cit*., 2007, p. 389.

des machines à feu et des moteurs sans combustible, viennent s'ajouter au récit des déterminants technico-économiques de leur efficacité. La question de leur rentabilité accompagne celle de leur rendement et de leur puissance. Reprenons donc notre lecture critique des propos développés par Marcel Macaire en 1979 au sujet de la future rentabilité des installations solaires.

Il rappelle que rien n'empêcherait les machines solaires d'être produites à moindre coût, si et seulement si, l'industrie correspondante était créée, entraînant ainsi un effet de série, processus valable pour n'importe quelle production. Or, l'auteur rappelle que ce sont Gibrat[101] (c'est la loi de Gibrat) et Fourastié[102] qui ont promu cet effet proportionnel dans leurs travaux. Il cite Gibrat lors de son intervention du 12 mars 1974 à l'Académie des sciences morales et politiques : « d'une manière générale le prix de fabrication en masse est divisé par deux quand la production est multipliée par dix. »[103] Puis, Macaire applique la loi de Gibrat aux centrales héliothermiques et il insiste sur sa concordance avec les études menées par Fourastié, la référence absolue en matière de planification du progrès par les technosciences[104] :

> Si l'on applique aux centrales héliothermiques cette formule simple, on voit que pour une production par exemple de 10 000 fois plus importante que la production actuelle, le prix de revient du kWe installé serait divisé par 16. Il en résulterait, si l'on tient cette formule pour valable, que, pour une production de cette importance, le prix de revient du kWe installé serait quelque trois fois plus faible que pour le thermique classique. Cette loi, pour empirique qu'elle soit, pourra paraître à certains très abstraite ; elle a pourtant la sanction de l'expérience. L'économiste J. Fourastié a longuement étudié le phénomène de la baisse des prix industriels. Il résulte de ses recherches que la loi énoncée par R. Gibrat est bien vérifiée dans l'ensemble, et même que les résultats obtenus dans ce domaine dépassent parfois les prévisions les plus optimistes[105].

Robert Gibrat est un polytechnicien-ingénieur des Mines a qui l'on doit selon Michel Armatte « la première thèse d'économétrie, sur la loi de l'effet proportionnel »[106].

---

[101] Robert Gibrat (1904-1980, X-1922) https://www.annales.org/archives/x/gibrat.html.
[102] Jean Fourastier (1907-1990).
[103] MACAIRE, Marcel, *op. cit*., 1979, p. 106.
[104] Voir la formidable mise en perspective de BOULAT, Régis, « Jean Fourastié, l'apôtre de la productivité. Dire et administrer le « progrès » », *in* PESSIS Céline, TOPÇU Sezin, BONNEUIL Christophe (dir.), *Une autre histoire des « Trente Glorieuses »*, Paris, La Découverte, 2015 (2013), pp. 81-98.
[105] MACAIRE, Marcel, *op. cit*., 1979, p. 106.
[106] ARMATTE, Michel, « Théorie et ingénierie économiques : deux siècles de contribution des ingénieurs des mines », *in* GARÇON Anne-Françoise et BELHOSTE Bruno (dir.), *Les ingénieurs des Mines : cultures, pouvoirs, pratiques*, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Paris, IGPDE, 2012, pp. 51-83 ; ARMATTE, Michel, « Que représentait Robert Gibrat (1904-1980) au Congrès international de philosophie scientifique de 1935 ? », *Philosophia Scientiæ* [En ligne], 22-3 | 2018, mis en ligne le 25 octobre 2020 : http://journals.openedition.org/philosophiascientiae/1606 ; Voir aussi la notice

Il tente de l'appliquer à la production alternative d'hydroélectricité en étant le concepteur de l'usine marémotrice de la Rance (1956)[107]. Cependant, grand serviteur de l'État, Gibrat poursuit sa carrière dans les institutions du nucléaire. Malgré les arguments de poids qui viennent d'être avancés en faveur d'une industrialisation des centrales solaires thermodynamiques, ces dernières ne connaîtront aucune loi de Gibrat. En revanche, les technologies photovoltaïques la connaissent aujourd'hui, bien qu'elles restent sous-diffusées, mais c'est là un aspect sur lequel nous reviendrons[108].

Nous le voyons, bien que Gibrat et Fourastié soient de grandes références pour les modernisateurs de l'après-guerre, l'application de leurs arguments, de leurs lois et de leurs instruments, reste soumise à la décision politique. Nous sommes loin de choix techniques qui répondraient inéluctablement à des contraintes, à des déterminants physiques et économiques rationnels[109]. Dit autrement, l'argument comptable du « trop

bibliographique de l'École des Mines de Paris sur Robert Gibrat : https://www.annales.org/archives/x/gibrat.html

[107] GIBRAT, Robert, « L'énergie marémotrice en 1980 », *La Jaune et la Rouge*, n°353, juin 1980, pp. 104-111.

[108] Voir l'ouvrage critique sur l'industrie du photovoltaïque de GAILLARD, Frédéric, *Le soleil en face. Rapport sur les calamités de l'industrie solaire et des prétendues énergies alternatives*, Montreuil, L'échappée, 2012.

[109] Cette approche est toujours celle qui prédomine dans les questions de politique énergétique comme en témoigne par exemple le manuel *best-seller* HANSEN Jean-Pierre, PERCEBOIS Jacques, *Énergie. Économie et politiques*, De Boeck, 2015. L'ouvrage, présenté par ces auteurs comme « le matériau de l'exercice des choix » (p. XI) est préfacé par Marcel Boiteux, ancien président de l'EDF, qui y rappelle sa filiation intellectuelle ainsi que son appartenance corporatiste à la grande technocratie, de Pierre Macé (qui représenta entre autres l'EDF au Plan) à Maurice Allais, en passant par Hotelling (voir Missemer précédemment cité). Comme pour actualiser le Nobel d'économie d'Allais, Jean Tirole, Prix Nobel d'économie en 2014, signe l'avant-propos. Cinq pages sur 830 sont consacrées à l'énergie solaire dont une majorité de courbes et de statistiques. Les critères d'évaluation retenus ne laissent planer aucun doute sur la nature évidente des déterminants du choix : « cependant, cette énergie est reçue de manière diffuse et intermittente. La question essentielle de la captation de l'énergie solaire sera donc de nature technologique. » P. 590. On peut également vérifier cette posture dans l'ouvrage BOURGEOIS Bernard, FINON Dominique, MARTIN Jean-Marie (dir.), *Energie et changement technologique. Une approche évolutionniste*, Economica, Paris, 2000. Cette synthèse, très consensuelle, se veut expliciter le processus de changement technologique. L'étude répond à une demande de la DG 12 de la Commission européenne qui souhaite « améliorer les hypothèses technologiques introduites dans le modèle de prospective énergétique mondiales POLES » (p. 7). Des modèles de simulation prospective, d'aide à la décision, ont été établis par des chercheurs de l'IEJE de Grenoble dès les années 1980 (entretiens avec Jean-Marie Martin, directeur de l'IEJE, 13 août 2018 et 27 mai 2019). Le modèle POLES a ensuite été développé par la Commission européenne. Nous reviendrons sur le rôle de certains membres de l'IEJE dans l'histoire des thèses d'économie sur l'énergie solaire. Pour l'heure, nous souhaitons souligner que dans ces modèles « les nouvelles technologies incorporées aux équipements énergétiques suceptibles d'être construits sont représentées par leurs rendements et leurs coûts de production » (p. 14). Enfin, on pourra lire un succédamné des travaux de Jacques PERCEBOIS avec PERCEBOIS, Jacques, « Énergie et théorie économique : un survol », *Revue d'économie politique,* Vol. 111, 2001/6, pp. 815-860 et consulter, Premier Ministre, Centre d'analyse stratégique, *Rapport énergies 2050*, Rapport du groupe de travail présidé par PERCEBOIS Jacques, Rapports & Documents, 2012.

cher et pas assez puissante » s'arrange bien de n'importe quelle machine, à laquelle les chiffres sont préférés aux mots pour justifier de son existence.

Il faut cependant faire remarquer que certains polytechniciens prennent leurs distances, voire même s'opposent aux grilles d'évaluation comme celle apposée par Marcel Macaire sur les techniques énergétiques. Pour le dire autrement, des sources permettent d'affirmer qu'une contre-expertise en faveur des énergies renouvelables existe au sein de l'élite technicienne, mais aussi dans l'appareil d'État, à l'époque des faits que nous étudions, mais aussi plus tôt.

Frédéric Caille établit de son côté avec certitude l'existence de soutiens parmi les plus hautes autorités scientifiques (École Polytechnique, École des Mines, Collège de France, Académie des sciences, etc.) aux travaux solaires d'Augustin Mouchot dès le XIX^{e} siècle[110]. Plus proche de notre époque, il est possible de renvoyer à Bernard Sadoulet dans son ouvrage de 1982, dont le titre, *Choix énergétiques, choix de société*, énonce clairement la posture, et annonce l'intérêt d'un texte qui déconstruit très bien les récits technico-techniques du fonctionnement des convertisseurs en déplaçant la question du choix des équipements vers une lecture politique de la technique[111]. Jean-Roger Mercier est également de ceux-là lorsqu'il publie en 1978 *Énergie et agriculture, le choix écologique* puis son article « L'énergie dans les pays du tiers-monde. Tendances et évolution récente » en 1980[112]. Le témoignage de l'auteur sur sa propre carrière est précieux car, dans sa « dissidence de corps » initiale, après avoir complété sa formation par un doctorat sur l'énergie solaire appliqué au chauffage des locaux, il lui est proposé d'être recruté par la SOFRETES[113]. Enfin, on peut mobiliser également les analyses

[110] CAILLE, Frédéric, *op. cit*, 2023. Par exemple, le professeur à l'École Polytechnique et au Collège de France, Babinet, rédige en 1864 une évaluation très positive des expériences de Mouchot dans les *Comptes rendus des séances* de l'Académie des Sciences. L'ingénieur des Mines Louis Simonin, spécialiste du charbon, conclut lui aussi son évaluation, sans aucune ambiguïté, sur la maturité des appareils de Mouchot. Selon lui, en 1876, l'industrialisation de la machine solaire d'Augustin Mouchot peut être lancée : « elle n'est ni trop coûteuse, ni difficile à installer, ni délicate à manier, et, à quelque point de vue que l'on se place, répond victorieusement à toutes les objections. » P. 51.

[111] SADOULET, Bernard, *Choix énergétiques, choix de société*, Lyon, Chronique Sociale, 1982. Cet ouvrage n'a bénéficié d'aucune visibilité. Son auteur est pourtant un astrophysicien (physique des particules) extrêmement reconnu, qui mena une carrière internationale d'envergure : CERN et Berkeley. Il participa à deux expériences de physique des particules qui obtinrent deux prix Nobel. https://physics.berkeley.edu/people/faculty/bernard-sadoulet

[112] MERCIER, Jean-Roger, *Énergie et agriculture, le choix écologique*, Paris, Debard, 1978 ; MERCIER, Jean-Roger, « L'énergie dans les pays du tiers-monde. Tendances et évolution récente », *La Jaune et la Rouge*, n°353, juin 1980, pp. 129-132.

[113] Entretiens et correspondance avec Jean-Roger Mercier (2018-2019). Polytechnicien, il complète sa formation d'ingénieur à AgroParisTech, puis par un doctorat en énergétique (Physique) sur les applications

d'Yves Martin (1936-2010, polytechnicien-ingénieurs des Mines, X-1955). Ce grand commis de l'État, qui propose le 07 juillet 1974, au ministre de l'Industrie, Michel D'Ornano, la création d'une agence publique pour les économies d'énergie (la future AEE), établit l'impact négatif du programme électronucléaire français sur les énergies renouvelables, tout comme celui du manque de volonté politique pour mettre en œuvre des alternatives. Martin constate que les pouvoirs publics mènent sur la période 1973-1986 une action conjoncturelle d'ajustement aux prix du pétrole[114] (le budget de l'AEE suit les prix du pétrole), et en aucun cas une action à visée structurelle sur la nature de l'offre (l'électronucléaire ultra-subventionné est la priorité). Au contraire, la fiscalité sur les produits pétroliers et sur les automobiles accompagne la baisse des prix au moment du contre-choc de 1985-1986. Entre 1993 et 1998, Martin préside l'Instance d'évaluation de la politique publique de maîtrise de l'énergie[115]. Les termes de son bilan sont repris dans le rapport de la commission d'enquête sénatoriale de 1998, *La politique énergétique de la France : passion ou raison ?* Certaines de ses notes personnelles (plutôt critiques) sont rendues publiques à la suite de son décès[116]. Martin y caractérise les effets néfastes de la politique publique électrique mise en œuvre par l'EDF : « effet d'éviction » des ENR par la *primature* des budgets alloués au nucléaire civil, « effet de surcapacité qui a encouragé les usages concurrentiels de l'électricité », « effet démobilisateur de l'opinion publique », « politique de péréquation des tarifs » qui « a eu pour résultat de faire disparaître des niches géographiques où des énergies renouvelables auraient pu fournir

---

de l'énergie solaire au chauffage des locaux. Il est recruté par la SATEC (« le bras armé du ministère de la Coopération » selon lui) pour des missions d'évaluation et de vulgarisation auprès des agriculteurs des pays du tiers-monde (Inde, Madagascar, etc.), notamment des arachidiers au Sénégal travaillant pour Lessieur, avant de créer, en 1976, avec un camarade polytechnicien, un bureau d'étude indépendant de technologies alternatives appropriées (ARES). Il refuse l'offre de recrutement de la SOFRETES pour des raisons personnelles. Dans les années 1980, il intègre la Banque mondiale à Washington.

[114] RIFAÏ, Taki, *Les prix du pétrole, économie de marché ou stratégie de puissance*, Paris, Éditions Technip, 1974 ; LEVEAU Rémy, RIFAI Taki, « L'arme du pétrole », *Revue française de science politique*, n°4, 1974, pp. 745-769 ; RIFAÏ, Taki, « La crise pétrolière internationale (1970-1971) : essai d'interprétation », *Revue française de science politique*, n°6, 1972, pp. 1205-1236. Les travaux de Taki RIFAÏ (polytechnicien auditeur étranger) sur la crise des prix du pétrole dans les années 1970 sont très rarement cités. Ils méritent cependant un examen attentif car ils mettent bien en évidence la construction socio-historique des choix stratégiques et tactiques du contrôle des prix du pétrole par les régulations négociées entre les gouvernements américains (et leurs partenaires occidentaux), ceux des pays producteurs du tiers-monde, et les firmes pétrolières transnationales.

[115] *Maîtrise de l'énergie. Rapport de l'Instance d'évaluation présidée par M. Yves Martin*, Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, Commissariat Général du Plan, La documentation française, 1998.

[116] http://www.annales.org/archives/x/yvesmartin.html.

de l'énergie thermique moins coûteuse que l'électricité (solaire thermique et bois, notamment) si elles ne subissaient pas la concurrence d'une électricité subventionnée »[117].

Gabrielle Hecht recommande de ne surtout pas évacuer des travaux de recherche la compréhension des expertises techniques construites par l'élite modernisatrice (les grand corps techniques de l'État par exemple[118]), justement car elles leur ont permis d'accéder au pouvoir administratif et politique. En ce sens, la technique constitue « un véhicule exceptionnel de l'action politique »[119]. Cécile Robert ajoute de son côté que l'expertise permet donc à ceux qui caractérisent le problème en termes techniques de se positionner en uniques détenteurs de sa solution :

> Source de légitimité pour la décision et les commanditaires, la procédure d'expertise est aussi, et peut-être surtout, ce qui permet aux experts eux-mêmes, c'est-à-dire à des acteurs ne disposant pas d'une légitimité propre, d'une autorité politique, de contribuer à l'exercice du pouvoir. Appréhendée comme un registre d'action, susceptible d'ouvrir, à ceux qui le mobilise, des accès aux processus décisionnels, l'expertise conduit à considérer les experts comme autant d'acteurs capables de construire la nécessité de leur intervention : elle invite alors à interroger les conditions de possibilité d'une telle stratégie. C'est d'abord à la conversion de l'enjeu à traiter en problème technique que procède le discours de l'expertise : si aucune situation n'est en soi problématique, les savoirs et techniques susceptibles de lui être appliqués ne s'imposent pas plus naturellement. {…} Ce faisant, on le voit bien, le discours de l'expertise ne se contente pas de décrire la nature de l'enjeu. Il désigne aussi, dans un même mouvement, les acteurs qui, par leurs compétences, seront légitimes à s'en saisir[120].

Cette réflexion initiale sur les termes, les mécanismes et les acteurs dominants l'évaluation des convertisseurs énergétiques en général, et solaires en particulier, permet de parfaire notre méthodologie. L'analyse critique des évaluations qui écartent le convertisseur solaire SOFRETES des possibles devra être confrontée aux réalités matérielles, sociales et politiques des terrains d'expérimentations, ainsi qu'à celles de sa

---

[117] N°439, Sénat, Session ordinaire de 1997-1998, Rapport de la commission d'enquête chargée de recueillir des éléments relatifs aux conditions d'élaboration de la politique énergétique de la France et aux conséquences économiques, sociales et financières des choix effectués, Jacques Valade, Président, Henri Revol, Rapporteur, pp. 1443-146

[118] La littérature sur les grands corps de l'État est très fournie. Nous citons ici quelques textes généraux qui nous semblent utiles. Nous ajouterons un peu plus loin des références sur le corps des X-Mines. CHEVALLIER, Jacques, « L'élite politico-administratives : une interprétation discutée », *Pouvoirs*, n°80, 1997 ; POIRMEUR, Yves, « Les grands corps et l'alternance de 1981 : déclin ou redéploiement ? », *in* LOCHAK D., *La Haute Administration et la politique*, Paris, PUF, 1986 ; BOURDIEU, Pierre, *La noblesse d'état, grandes écoles et esprit de corps*, Paris, Les éditions de minuit, 1989 ; KESSLER, Marie-Christine, *Les grands corps de l'Etat*, Paris, Presses de la fondation nationale des sciences politiques, 1986 ; JOBERT Bruno, MULLER Pierre, *L'État en action. Politiques publiques et corporatismes*, Paris, PUF, 1987.

[119] HECHT, Gabrielle, *op. cit*., 2004, p. 16.

[120] ROBERT, Cécile, *op. cit*., 2008, pp. 10-11.

généalogie, de sa genèse et des caractéristiques de sa mise en démonstration, afin d'identifier la part de technique et de politique dans les responsabilités de ce non-choix solaire. Il faudra observer les agencements d'idées, d'intérêts, et d'institutions[121] qui élaborent les raisons pour lesquelles un moteur solaire SOFRETES n'est pas une solution technique digne d'exister, ainsi que les modalités originales selon lesquelles l'action publique a pu les appliquer.

De ce point de vue le travail sera assez proche de la posture de Barthe lorsqu'il présente sa méthode d'analyse :

> La démarche consistera à braquer le projecteur sur les projets techniques eux-mêmes en s'efforçant d'expliciter le type de politique et de modèle de décision qu'ils supposent. Il s'agit d'étudier les concepts technologiques en cherchant à clarifier les problèmes auxquels ils sont censés répondre, les rôles qu'ils font jouer à différents acteurs, les scénarios et les hypothèses qu'ils incorporent et la manière dont ces hypothèses sont questionnées au cours de la controverse[122].

Et de manière très complémentaire, en s'attachant directement à l'action publique en matière d'énergie solaire, les travaux du politiste américain Frank N. Laird affirment que les raisons du « non-choix solaire » sont à rechercher d'abord dans les représentations que se font les gouvernants sur le solaire en particulier, et sur l'énergie en général, et non pas seulement dans la véracité des évaluations sur lesquelles reposent les arguments de légitimation technico-économiques :

> *Solar energy failed to become a strong option for meeting U.S. energy needs during this period, not for simple reasons of untested technology or economic cost, but for complex reasons that include a failure to institutionalize new ideas about the energy problem at the top executive levels of government. To support this position, i take a longer historical view of solar energy policy than is typical to analyze the special dynamics of creating public policy around emerging technologies*[123].

---

[121] PALLIER Bruno, SUREL Yves, « Les « Trois I » et l'analyse de l'État en action », *Revue française de science politique*, Vol. 55, 2005, pp. 7-32. Frank N. LAIRD procède selon la même méthode pour déconstruire la politique publique solaire américaine, « Ideas interact in complex ways with interests and institutions, all three shaping each other in the process ». LAIRD, Frank N., *Solar Energy, Technology Policy, and Institutional Values*, Cambridge University Press, 2001, p. ix.

[122] BARTHE, Yannick, *op. cit*., 2009, p. 120.

[123] « L'énergie solaire n'a pas réussi à devenir une option solide pour répondre aux besoins énergétiques des États-Unis au cours de cette période, non pas pour de simples raisons de technologie non testée ou de coût économique, mais pour des raisons complexes qui incluent l'incapacité d'institutionnaliser de nouvelles idées sur le problème énergétique aux plus hauts niveaux exécutifs du gouvernement. Pour soutenir cette position, j'adopte une vision historique plus longue de la politique de l'énergie solaire qu'il est habituellement d'usage pour analyser la dynamique particulière de la création de politiques publiques autour des technologies émergentes. » LAIRD, Frank N., *Solar Energy, Technology Policy, and Institutional Values*, Cambridge University Press, 2001, p. x.

Aussi, nous intégrerons à notre démarche la même méthode, en accordant une attention particulière aux éléments cognitifs qui, surtout dans le temps long, accompagnent les termes des évaluations technico-économiques des convertisseurs solaires, pour en déterminer une représentation qui peut les influencer et peser au final sur la décision publique.

Enfin, cette étude trouve des outils méthodologiques utiles dans celle que Michel Callon propose en 1979 du système social, et notamment d'expertise, qui prend en charge la question de la pile à combustible pour en écarter une technologie (la filière chaude) en lui substituant un avatar diminué et circonscrit : le véhicule électrique (et la filière froide). Dans *L'État face à l'innovation technique : le cas du véhicule électrique*, Callon établit que l'innovation technique évolue avec la transformation des systèmes sociaux qui la prennent en charge selon les modalités changeantes de l'action publique. Il identifie trois phases. Dans la première, certaines administrations accompagnent le développement de la pile à combustible. L'EDF, qui lui est hostile car la technologie entre en conflit avec son monopole, vient assez vite complexifier les rapports de forces en occupant le centre de l'expertise pour pousser au compromis afin de réorienter le projet :

> Sa stratégie vise, dans un premier temps, à interrompre les recherches sur les filières chaudes (celles-ci permettent d'envisager de petites centrales électriques menaçant directement son monopole), et dans un second temps, à limiter les applications des piles à combustibles à la traction électrique (filière froide) où elles ne concurrencent que le pétrole[124].

Dans la deuxième phase, l'administration prend fait et cause pour les desseins de l'EDF qui impose l'application « véhicule électrique à accumulateur » en adéquation avec le programme national du tout électrique-tout nucléaire. L'EDF détruit alors le système social qui portait la filière chaude, ce qui va lui permettre, dans la troisième phase, d'en construire un nouveau. Mais l'administration est alors divisée entre « *attentisme et suivisme* »[125] et les relais industriels manquent. Si l'EDF échoue à créer le marché du véhicule électrique, la pile à combustible, elle, est bien enterrée. C'est ce dernier point qui est pour nous central. Sa portée socio-historique n'est pas relevée par Callon car il ne constitue pas l'objet de son analyse. L'auteur termine en pointant la

[124] CALLON, Michel, « L'Etat face à l'innovation technique : le cas du véhicule électrique », *Revue française de sciences politique*, n°3, 1979, p. 434.
[125] *Ibid*., p. 440.

faiblesse de l'administration face à ce cas de politisation de la technique et notamment la très grande dépendance de l'État aux capacités d'analyses qui lui sont extérieures (ici l'expertise EDF) :

> Autrement dit, l'administration n'a pas les moyens de décoder les controverses purement techniques pour faire apparaître les enjeux politiques qu'elles expriment et dissimulent. Elle n'est pas en mesure de traduire dans le langage de la politique les différences d'orientations techniques qui ne manquent pas de naître lorsqu'il s'agit d'innovations comme le VEL. Cette incapacité à traduire les arguments techniques en arguments politiques a sa contrepartie : l'impossibilité d'exprimer techniquement des orientations politiques {c'est nous qui soulignons}[126].

La présente étude amènera cependant à être plus prudent sur cette question. En effet, l'EDF dans ce cas, ou le CEA dans la cadre de la présente recherche, sont des établissements publics dont les agents passent, au cours de leur carrière, voire même pendant la durée d'une controverse technique et de sa politisation, par différentes administrations. Un ministre de l'Industrie, X-Mines, peut avoir été Administrateur général du CEA et posséder toutes les compétences nécessaires pour ne pas choisir une technique en connaissance de cause[127]. A ce stade il est utile de préciser, afin d'insister sur l'intérêt des travaux de Callon pour notre étude, que la pile à combustible-filière chaude dont il est question peut être techniquement reliée à la transformation de la chaleur solaire. Son combustible, le dihydrogène, peut être obtenu par l'action de la conversion

---

[126] *Ibid*., p. 446.

[127] Nous insistons ici sur la puissante influence historique du corps des X-Mines dans les orientations énergétiques et la mise en œuvre des politiques publiques économiques et industrielles, par leur présence à la fois dans l'administration, dans les Établissements publics, à la tête des Ministères, dans les Conseils d'Administration des grandes entreprises publiques et privées, dans les Organisations communautaires et internationales, et dans l'enseignement supérieur. Le formidable ouvrage d'animation de la recherche *Les ingénieurs des Mines : cultures, pouvoirs, pratiques*, publié par le Comité pour l'histoire économique et financière de la France (on notera le choix de l'intitulé qui rappelle la posture idéologique hégémonique d'une certaine écriture de l'histoire), dresse un portrait très opératoire pour ceux qui comme nous ici tentent de démêler, à travers des archives ministérielles, l'histoire des non-choix techniques énergétiques. Dans le même esprit, leur ouvrage *État et énergie XIX^e^-XX^e^ siècle*, écrit une histoire officielle de la politique énergétique française (très sectorielle, macro-économique, évolutionniste et tautologique) et propose un guide des sources disponibles pour le chercheur. Les technologies énergétiques alternatives en sont complètement absentes, donnant ainsi la certitude plus que l'impression qu'elles ne furent jamais proposées à la décision. Le très complémentaire « Guide du chercheur en histoire de l'électricité », publié par la Fondation EDF, balise le sentier à suivre. Il est également remarquable que les installations solaires ayant existé soient totalement absentes de la chronologie des « inventions » officielles. Seule une brève mention est faite de la découverte de l'effet photovoltaïque par Becquerel en 1839 (p.17). Pour un exemple de littérature corporatiste voir : DE WISSOCQ, François, « Georges Besse, grand ingénieur, grand chef d'entreprise, grand serviteur de l'État », *Bulletin de la Sabix*, 2011, pp. 79-88 ; MARBACH, Christian, « Le management selon George Besse », *Annales des Mines – Réalités industrielles*, août 2011, pp. 28-51. Ces deux textes sont d'autant plus intéressants pour nous que ces trois hommes sont, à des degrés divers, concernés par le dossier « SOFRETES ».

de la chaleur solaire en électricité puis par l'électrolyse de l'eau. La pile à combustible-filière chaude est donc un segment d'un projet sociotechnique beaucoup plus large. Elle fait potentiellement partie du « système solaire » qui est proposé dans les années 1960-1980[128].

Retenons donc que Callon fait des modalités (groupe d'intérêt et d'expertise) de substitution du VEL à la pile à combustible une clef de compréhension d'un mécanisme de contrôle mis en place au sein d'un système techno-politique pour écarter une proposition technique contestataire : le système social qui porte l'invention est détruit, notamment grâce à l'expertise, et un autre est construit pour réorienter la trajectoire dissidente vers le sentier principal.

Notre étude de la relation entre le moteur solaire de la SOFRETES et l'État sera au final celle d'une relation technique-politique. Elle ouvrira la machine dans le temps long de son histoire pour identifier dans ses rouages son projet sociotechnique, ainsi que les représentations de ses évaluateurs et de ses contradicteurs. Dans le même temps, elle s'efforcera de questionner sa place dans les « opérations politiques » qui la font exister, afin de mettre en évidence, au travers des configurations (et de leurs changements) d'idées, d'intérêts et d'institutions qui s'en saisissent, les déterminants de la technopolitique qui la gouverne.

Comprendre l'évolution des modalités de cette action publique originale, de ses motivations et de ses effets, nécessite bien, en outre, d'appliquer une approche socio-historique tant la « dépendance au sentier » d'une proposition sociotechnique solaire depuis longtemps écartée des possibles semble forte, tant l'ajustement de l'action publique aux événements (des années 1960 aux années 1980), aux spécificités et à la pluralité des lieux et des acteurs, semble déterminante. C'est à travers l'évolution dans le temps de la situation de la SOFRETES, dans son environnement institutionnel, industriel, géopolitique, et dans son administration et la vie de son entreprise, qu'il sera possible de saisir la mise en œuvre de l'action publique solaire dans ses temporalités, ses figures, ses composantes et ses effets.

[128] Sur le dihydrogène et sa filière potentielle (solaire ou non) voir : ALLEAU, Thierry, *L'Hydrogène, énergie du futur ?,* EDP Sciences, 2007 ; KALINOWSKI Laurent et PASTOR Jean-Marc, Rapport au nom de L'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, *L'hydrogène : vecteur de la transition énergétique* ?, 19 décembre 2013.

La présentation du cadre théorique et méthodologique de cette thèse est achevée. Il convient maintenant de synthétiser l'état des connaissances historiographiques sur le domaine.

7. Histoire de techniques solaires apolitiques, histoires apolitiques d'énergie

Cette thèse entend faire une place à la sociohistoire de l'action publique solaire à l'étranger dans l'histoire de l'énergie, et à l'histoire du solaire dans l'analyse de l'action publique. Le constat d'Alain Beltran de 2018, « l'histoire de l'énergie est un front pionnier »[129], qui n'est pas sans rappeler celui de Debeir, Deléage et Hémery en 1986, « l'énergie reste un impensé historique »[130], vaut également pour la science politique de l'énergie solaire, vierge de toute étude de cas approfondie. Aux États-Unis, les travaux de Frank N. Laird et ceux de Ronal Larson & Ronald E. West sur l'histoire de la politique publique solaire américaine, contemporaine de son homologue française, et ceux de Sharlissa Moore sur l'existence politique des énergies renouvelables au Maroc, défrichent le chemin[131]. En France, Aurélien Evrard et Frédéric Caille, avec des approches très différentes, proposent de solides analyses de la place qu'occupent les alternatives techniques dans la politique publique de l'énergie. Evrard mène une étude sectorielle des politiques publiques qui analyse les technologies énergétiques renouvelables à travers les relations d'acteurs entre leurs promoteurs et les leaders sectoriels de l'électricité, alors que Caille suit un cheminement plutôt inspiré d'une socio-anthropologie des techniques[132]. Bien qu'issue d'un champ disciplinaire en apparence éloigné, Fanny Lopez

[129] BELTRAN, Alain, « Introduction », Pour une histoire de l'énergie, *Journal of Energy History – Revue d'Histoire de l'Énergie* (JEHRHE), n°1, décembre 2018, http://www.energyhistory.eu/fr.

[130] DEBEIR Jean-Claude, DELEAGE Jean-Paul, HEMERY Daniel, *Une histoire de l'énergie. Les servitudes de la puissance*, Paris, Flammarion, 2013, p. 9.

[131] LAIRD, Frank N., *Solar Energy, Technology Policy, and Institutional Values*, Cambridge University Press, 2001 ; LAIRD, Frank N., « Constructing the Future. Advocating Energy Technologies in the Cold War », *Technology and Culture*, Vol. 44, January 2003, pp. 27-49 ; LARSON Ronal, WEST E. Ronald, *Implementation of Solar Thermal Technology*, The MIT Press, 2003 ; MOORE, Sharlissa, *Sustainable Energy Transfromation, Power and Politics : Morocco and Mediterranean*, Routledge, 2019.

[132] NADER, Laura, *The Energy Reader*, Whiley-Blacwell, 2010 ; BOYER, Dominic, « Anthropology Electric », *Cultural Anthropology*, 2015, pp. 531-539 ; BOYER, Dominic, « Energopower: An Introduction », *Anthropological Quarterly*, Vol. 87, N°2, 2014, pp.309-334 ; BOYER, Dominic, « Energopolitics and Anthropology of energy », *Anthropology News*, May 2011, pp. 5-6 ; SZEMAN Imre, BARNEY Darin, « Introduction : From Solar to Solarity », *South Atlantic Quaterly*, « Solarity », Vol. 120, 2021/1, pp. 1-11 ; BOYER D., SEZMAN I., *Energy Humanities. An Anthology*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 2017 ; SOVACOOL, Benjamin K., « What are we doing here ?Analyzing fifteen years or energy scholarship and proposing a social science research agenda », *Energy Research & Social Science*, 1, 2014, pp. 1-29 ; ORTAR Nathalie, LOLOUM Tristan, *op. cit*., 2019.

tient une posture relativement similaire dans son histoire de la déconnexion, quand elle analyse les projets d'autonomie énergétique dans l'architecture et l'urbanisme[133]. Ces auteurs osent envisager le changement technique en termes de choix politique. Nous écrivons « oser » car le sentiment qui prédomine à la lecture des histoires du solaire et de l'énergie plus consensuelles, souvent soutenues par les pouvoirs publics, est celui de leur frilosité à créer la controverse, à s'autoriser la remise en question des motivations et des ressorts du choix. Rappelons l'enseignement de Jean Meynaud qui conclut ses propos en 1957 sur « le caractère potentiellement subversif de la science politique » et de ses recherches : « Dans la mesure où elle fait éclater les divergences entre la réalité et les représentations officielles qui en sont données. Il est clair qu'aucun régime autoritaire ne saurait tolérer l'existence d'une science politique indépendante. Mais il est plus grave de noter que des réticences sérieuses se rencontrent aussi dans les régimes démocratiques. »[134]

Or, la littérature académique historique solaire récente dépolitise son objet et n'autorise pas le doute sur les évaluations des technologies solaires alternatives du passé. Pourtant, seules des enquêtes historiques inductives très micro et multifactorielles peuvent permettre d'élaborer des hypothèses dans le souci du contradictoire (ce type de chantiers n'est pour le moment que très partiellement ouvert). Dans ces récits, les convertisseurs ne sont pas considérés comme possédant des propriétés politiques, ni comme étant susceptibles d'être des instruments de l'action publique servant un dessein. Dit autrement, une pompe sert à pomper et toutes les pompes peuvent donc être comparées par rapport à cet objectif. La machine est relativement délaissée dans ses rouages (conception, fabrication, montage, usages, maintenance) et ses ancrages aux lieux. Elle reste plutôt théorisée (rendement mathématique, etc.) et les actions des agents (administrateurs et industriels) sont perçues comme contraintes par une rationalité d'acteurs institutionnels motivés par la recherche de l'efficacité (rapport coût-bénéfice, économétrie, etc.) ou de l'intérêt collectif. Le non-choix des solutions solaires est présenté à une échelle macro comme une réponse logique à des considérations de compétitivité économique et de degré de maturité technologique. Le doute ne semble pas permis. Le

[133] LOPEZ, Fanny, *Le rêve d'une déconnexion*, Paris, Éditions de La Villette, 2014 (il s'agit de la publication de sa thèse de doctorat en histoire de l'art).
[134] MEYNAUD, Jean, *op. cit.*, 1957, p. 37 pour les deux citations.

sentiment que tout aurait-été fait pour expérimenter et pour évaluer les alternatives solaires prédomine[135].

Nous devons clarifier la place qu'occupe la SOFRETES et sa proposition solaire thermodynamique basse température dans ces récits historiques académiques, puis celle qu'occupe plus généralement le solaire, et ce en dégageant les perspectives qui prévalent dans l'écriture de l'histoire de l'énergie.

7.1 La SOFRETES dans l'historiographie du solaire : de quelques expérimentations isolées, ratées et oubliées

La SOFRETES apparaît dans des thèses et des ouvrages francophones récents, mais sans jamais faire l'objet d'une étude très approfondie[136].

Son existence et ses réalisations sont rapidement mentionnées et leur disparition n'est pas remise en question. Celle-ci semble se justifier d'elle-même. Les évaluations menées par les pouvoirs publics, ou par des organisations internationales, des bureaux d'études et des commentateurs (essais académiques et textes de vulgarisation) de l'époque, n'y sont pas référencées et encore moins analysées. Parmi ces dernières, nous pouvons par exemple citer trois solides ouvrages qui sont destinés à toucher un large public et qui intègrent parfaitement l'existence de la SOFRETES dans une perspective historique des expérimentations solaires : Vaillant publie en 1976, pour le Bureau central

[135] Avis que soutien par exemple Alain Liébard en entretien avec Frédéric Caille. Alain Liébard mène une carrière d'architecte et de conseiller, débutée dans les énergies renouvelables au début des années 1970 dans l'ombre des époux Alexandroff (entretien avec Frédéric Caille du 8 décembre 2015). Il prend ensuite la tête du Comité d'action pour l'énergie solaire (CAS) en 1985. L'Observatoire des énergies renouvelables remplace alors le CAS et Liébard crée une fondation, la Fondation énergie pour le monde (FONDEM). Depuis, cette dernière relaie les discours et les actions solaires de ses nombreux partenaires financiers institutionnels (grands industriels et pouvoirs publics) en faveur d'installations photovoltaïques (pompes et générateurs) dans les régions les plus déshéritées de la planète. Elle est soutenue depuis le départ par l'EDF. Jean-Pierre Girardier confie à Alain Liébard des archives techniques de la SOFRETES avec l'espoir que la FONDEM les conserve. Malgré la recommandation de Girardier lui-même, Liébard a refusé de nous ouvrir l'accès à ces archives.

[136] Les derniers en date au moment de la rédaction de cette thèse sont : GECIT, Jean, « Le départ raté de l'énergie solaire en Afrique de l'Ouest, 1960- 1987 », *Journal of Energy History/Revue d'Histoire de l'Énergie* [En ligne], n°7, mis en ligne le 06 janvier 2022, URL: energyhistory.eu/node/285 ; GECIT, Jean, *Les énergies nouvelles en Afrique de l'Ouest. Des recherches scientifiques aux défis industriels (1960-1987)*, thèse de doctorat en histoire, sous la direction de GRISET, Pascal, Sorbonne Université, 2020.

d'études pour les équipements d'outre-mer (BCEOM), *Utilisations et promesses de l'énergie solaire*[137] ; les journalistes Audibert et Rouard publient en 1978, *Les énergies du soleil*[138] ; Behrman, une plume de l'Unesco, publie en 1979, *Solar Energy : The Awakening Science*[139].

Malgré de nombreux indices qui pourraient motiver l'ouverture d'une enquête, le constat est toujours celui d'expérimentations intrinsèquement ratées. Comme le fait très justement remarquer Frédéric Caille, ces histoires de l'énergie solaire[140], de l'architecture solaire[141], des énergies renouvelables et alternatives[142], des systèmes et transitions énergétiques[143], sous-estiment considérablement l'efficience des dispositifs et l'importance historique des réalisations de la SOFRETES[144], ainsi que les enjeux socio-politiques et géopolitiques qu'elles recouvrent. La proposition sociotechnique d'un solaire thermodynamique basse température n'y est ni suffisamment contextualisée, ni techniquement explicitée, ni historiquement reliée à l'antériorité d'une généalogie sociotechnique (depuis les réalisations solaires d'Augustin Mouchot et les premiers essais

[137] VAILLANT, J. R., *Utilisations et promesses de l'énergie solaire*, Paris, Éditions Eyrolles, 1976.
[138] AUDIBERT Pierre, ROUARD Danielle, *Les énergies du soleil*, Paris, Éditions du Seuil, 1978.
[139] BEHRMAN, Daniel, *Solar Energy (1979) : The Awakening Science*, Routledge & Kegan Paul, 1979.
[140] Il n'existe à proprement parler qu'une thèse sur l'histoire de l'énergie solaire en France : PEHLIVANIAN, Sophie, « Histoire de l'énergie solaire en France. Science, technologies et patrimoine d'une filière d'avenir », thèse de doctorat en histoire, sous la direction de VARASHIN, Denis, Université de Grenoble, 2014. Elle se présente comme un répertoire patrimonial qui établit une chronologie des expérimentations.
[141] CHAUVIN-MICHEL, Marion, « Architectures solaires et politiques énergétiques en France de 1973 à 1985 », thèse de doctorat en histoire de l'art, sous la direction de MASSU, Claude, Université de Paris I, Tome 1, 2012 ; LOPEZ, Fanny, *Le rêve d'une déconnexion*, Paris, Éditions de La Villette, 2014 (il s'agit de la publication de sa thèse en histoire de l'architecture).
[142] MARREC, Anaël, « Histoire des énergies renouvelables en France, 1880-1990 », thèse de doctorat en histoire des sciences et des techniques, sous la direction de PECAUD, Dominique et TEISSIER, Pierre, Université de Nantes, 2018 ; JARRIGE François, VRIGNON Alexis (dir.), *Face à la puissance. Une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel*, Paris, La Découverte, 2019.
[143] MATHIS Charles-François, MASSARD-GUILBAUD Geneviève, *Sous le soleil, systèmes et transitions énergétiques du Moyen Age à nos jours*, Paris Éditions de la Sorbonne, 2019 ; VRIGNON, Alexis, « Vers une société solaire ? Réflexions et expérimentations autour d'une transition énergétique potentielle dans les années 1968 », *in* MATHIS C.-F., MASSARD-GUILBAUD G. (dir.), *Sous le soleil. Systèmes et transitions énergétiques du Moyen Age à nos jours*, Paris, Éditions de la Sorbonne, 2019, pp. 344-352.
[144] CAILLE, Frédéric, « L'énergie solaire au Musée ? Éléments d'une lecture énergopolitique du projet muséal Sofretes », *Cahiers d'histoire du Cnam*, 2020, pp. 21-50 ; MOUTHON, Alexandre, « La centrale de pompage thermo-solaire de Diré au Mali (années 1970-1980). Éléments pour une évaluation sociotechnique », *Cahiers d'histoire du Cnam*, n°13, 2020/1, pp. 57-90 ; MOUTHON, Alexandre, « Dans les pas de Jean-Pierre Girardier », *in* CAILLE Frédéric et BADJI Mamadou (dir.), *Du soleil pour tous : l'énergie solaire au Sénégal : un droit, des droits, une histoire*, Québec (Québec), Éditions science et bien commun [esbc], Environnement, 2018, pp 73-92.

de production industrielle du froid au XIX^{e} siècle)[145]. Plus grave, elle n'est même pas considérée comme une alternative véritable[146]. Balayée d'un revers de paragraphe, sans le bénéficie du doute, elle est identifiée à un bricolage isolé que des contingences et un manque de fiabilité auraient marginalisé. Jamais la dimension politique du choix des convertisseurs énergétiques n'est clairement abordée dans ces études, encore moins en ce qui concerne son rôle dans l'existence de la SOFRETES.

Ces quelques travaux académiques situent la SOFRETES (1973-1983) dans une périodisation de l'histoire du solaire qui identifie volontiers des ruptures chronologiques. Ils caractérisent notamment, et c'est central, la période où l'institutionnalisation du solaire est la plus forte (des Actions concertées de la DGRST en 1974, à la création du COMES en 1978, puis de l'AFME en 1982) comme un âge d'or pour les opérations de démonstration d'alternatives énergétiques, bien qu'ils reconnaissent à demi-mot que, dans le même temps, ces institutions spécialisées s'attachent à dépolitiser le recourt aux énergies renouvelables[147]. Cette interprétation nous semble donc très contradictoire. D'un côté cette analyse des faits sous-entend que les pouvoirs publics mènent une politique de soutien particulièrement volontariste, alors que de l'autre, elle laisse planer le doute quant à leur sincérité, mais sans jamais aller au bout de l'enquête. Pour d'autres auteurs, cette période d'institutionnalisation (1973-1983) révèle en fait une absence de volonté politique à la mise en œuvre d'un programme de développement à grande échelle des applications de l'énergie solaire. Les analyses de Denise Cavard et Patrick Criqui en 1979, ou celle de Lopez en 2014, vont dans ce sens. Pour Cavard et Criqui, le choix de l'électronucléaire exclut, par les mécanismes de fixation des prix et par le mode d'organisation et de gestion du système énergétique (ultra-centralisation et interconnexion, gigantisme des installations), le développement en parallèle d'un système en tout point contraire (vecteur autre que l'électricité comme la récupération de chaleur, décentralisation, déconnexion, autonomie, autogestion, etc.). Dans ce contexte,

[145] *Ibid*. ; CAILLE Frédéric, MOUTHON Alexandre, « Du solaire par le froid et inversement : Techniques frigorifiques et énergie solaire, une continuité technologique oubliée », *Cahiers d'histoire du Cnam*, n°13, 2020/1, pp. 91-114 ; CAILLE, Frédéric, *op. cit*, 2023.

[146] « Ce point de vue est absent de Marrec (2018) qui, étrangement, ne considère pas le solaire thermodynamique de basse température comme une véritable alternative sociotechnique », CAILLE, Frédéric, *op. cit*, 2020, p. 28.

[147] PEHLIVANIAN, Sophie, *op. cit*., 2014, Chapitre 5, pp. 295-332, p. 304 ; MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, pp. (529)541-632 et pp. 676-678 ; CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op. cit.*, 2012, pp. 20-29, pp. 191-193, pp. 275-292.

l'institutionnalisation du solaire leur semble en fait répercuter ce choix dans une instrumentalisation du solaire : « cette absence de volonté politique se traduit dans les structures gouvernementales. Les agences d'objectifs A.E.E. et COMES sont justifiées par un souci d'efficacité mais ne permettent-elles pas également d'isoler les différents problèmes et de laisser au ministère de l'Industrie et à la Délégation générale à l'énergie le soin de développer le programme électronucléaire ? »[148] Lopez insiste sur une autre manifestation du manque d'efforts fournis par des pouvoirs publics en faveur d'une politique de l'énergie alternative. Elle rejoint en cela les conclusions de la thèse d'Evrard déjà mentionnées. S'appuyant sur une étude fondamentale publiée en 1975 (quasiment jamais ni citée, ni exploitée), dans laquelle la proposition technique de la SOFRETES est très bien analysée et évaluée, celle de Jacques Percebois, *L'Énergie solaire. Perspectives économiques*[149], Lopez pointe l'attitude ambiguë des pétroliers et des électromécaniciens, soutenus par les pouvoirs publics :

> Simultanément, les grands vendeurs d'énergie prouvent que l'électricité et le gaz sont des compléments idéaux aux énergies solaires et éolienne, à condition que celles-ci soient en réseau. La stratégie des États et des lobbies s'est donc limitée à un changement minime des habitudes acquises, dans le cadre d'une *modus vivendi* d'association avec le système de distribution d'énergie dominant ; les énergies nouvelles ne viennent qu'en appoint pour, finalement, le cautionner. Il ne semble pas abusif d'affirmer que l'expérimentation de l'autonomie énergétique totale et de la déconnexion ne furent jamais publiquement encouragées[150].

Il semble pour l'instant prématuré de vouloir écrire des histoires globales de l'énergie solaire et des énergies renouvelables alors que chaque épisode (encore faut-il être en mesure de tous les identifier) n'a pas été suffisamment déconstruit. Même si certains moments et certaines configurations d'acteurs sont plus documentés que d'autres. C'est ainsi que de remarquables éclairages nous sont donnés par Sophie Pehlivanian sur les opérations solaires du CNRS et sur l'organisation administrative et la politique générale du COMES, puis de l'AFME, en complément du travail déjà effectué par Marion Chauvin-Michel. Cette dernière détaille notamment les opérations solaires dans l'habitat

[148] CAVARD Denise, CRIQUI Patrick, « La stratégie des pays industrialisés en matière de développement de l'énergie solaire : étude comparée États-Unis/France », *In* KAHN, Philippe, *De l'énergie nucléaire aux nouvelles sources d'énergie : Vers un nouvel ordre énergétique international ?*, Paris, Librairies Techniques, 1979, p. 370.
[149] PERCEBOIS, Jacques, *L'énergie solaire. Perspectives économiques*, Paris, CNRS, 1975, pp. 70-76. Nous mobiliserons plus tard cette remarquable étude quant à l'évaluation des réalisations de la SOFRETES.
[150] LOPEZ, Fanny, *op. cit*., 2014, p. 269.

du Plan Construction en collaboration avec le CNRS et l'EDF. Le passage sur l'opération de démonstration d'habitat solaire « Aramon-Le Havre » (1974-1976) a le mérite de montrer que la SOFRETES participe au projet (donc qu'elle est également active en Métropole) et que l'EDF est très tôt au contact de l'entreprise[151]. De la même façon que le CNRS sollicite, dans la continuité des essais d'habitat solaire de Félix Trombe, l'aide de Jean-Pierre Girardier entre 1968 et 1974[152]. Les apports de données empiriques sont importants, tout comme ceux d'Anaël Marrec, plus particulièrement sur le Centre National d'Exploitation des Océans (CNEXO) de 1978 à 1986[153]. Cependant, il est très surprenant de constater que l'auteure omet de mentionner le contrat que passent le CNEXO et la SOFRETES. Marrec concentre son attention à partir des bornes officielles du programme du CNEXO en faveur du développement de grandes centrales électriques maréthermiques qui débute en 1978. Or, en 1974 le CNEXO commande à la SOFRETES un moteur solaire MGS 2-1000 avec sa boucle thermodynamique, adaptée pour l'occasion à la transformation d'un faible gradient marin de température (5-10°C/25-30°C), ainsi que son dispositif d'essai. La réception définitive de l'installation est actée au début de l'année 1977[154]. Enfin, les travaux de Pierre Teissier sur Félix Trombe dans l'histoire de la chimie du solide, ainsi que son interprétation de l'évolution de la politique publique solaire des années 1950 aux années 1980, dans laquelle il suggère d'« interroger le modèle français de non-développement de l'énergie solaire », viennent compléter ce panorama[155]. Tous ces travaux, lorsqu'ils dressent un tableau de l'institutionnalisation du solaire et des énergies renouvelables dans les années 1970-1980, ne mobilisent pas certaines études antérieures qui se sont déjà attachées à en rendre compte, et à en proposer une lecture critique, notamment à l'époque où se déroulèrent les faits (il est vrai que ces contributions n'émanent pas du champ académique de l'histoire) [156]. A la lecture de ces

[151] CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op. cit*, 2012, pp. 126-133.
[152] *Ibid*., pp. 87-90.
[153] MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, pp. 634-661.
[154] Dossier « commande CNEXO (1974-1977) », archives privées fonds usine Mengin.
[155] TEISSIER, Pierre, « Fours et maisons solaires de Mont-Louis-Odeillo. Interstices, intersciences et internationalismes de la recherche contemporaine », *in* LE GARS Stéphane, BOISTEL Guy, *Dans le champ solaire. Cartographie d'un objet scientifique*, Paris, Hermann Editeurs, 2015, pp. 181-219 ; TEISSIER, Pierre, « Le solaire passif à l'ombre de la politique énergétique française, 1945-1986 », *Annales historiques de l'électricité*, Les politiques publiques de l'énergie solaire, n°11, 2013/1, pp. 11-25 (p. 11 pour la citation).
[156] A titre d'exemple : MASSENET-DALLEMAGNE, Violaine, « L'influence de la crise de l'énergie sur l'administration française : le cas de l'administration de l'énergie », *Revue française d'administration publique*, Vol. 8, 1978, pp. 100-135 ; FABERON, Jean-Yves, « Interventionnisme et rationalisation énergétique : L'Agence française pour la maitrise de l'énergie », *La Revue administrative*, 37e Année, n°219,

recherches, la période 1970-1980 semble plutôt correspondre à un verrouillage politique définitif de la trajectoire du solaire thermodynamique basse température, et elle requiert à ce titre une étude approfondie des différentes opérations, notamment celle des PME, parents pauvres des enquêtes menées jusqu'à présent. C'est d'ailleurs déjà le cas en 1979 quand Cavard et Criqui, s'intéressant à l'intégration du solaire dans la stratégie d'ensemble des entreprises, écrivent à leurs propos : « laissons ici de côté le cas de petites entreprises qui sont souvent 'condamnées à réussir' et éventuellement condamnées en cas de réussite, lorsqu'elles sont dans l'impossibilité de financer leur propre développement ou lorsque leur 'savoir-faire' technologique devient intéressant pour des sociétés plus importantes »[157].

Anaël Marrec identifie également des périodes favorables au développement des énergies renouvelables de 1880 à 1918[158], de 1919 à 1939[159], et de 1940 à 1970[160]. Cependant, l'auteure n'analyse pas les expérimentations de Mouchot (et de Tellier) au XIX^{e} siècle, elle n'en propose qu'un rapide déroulé chronologique sur quelques pages[161], tout comme Marion Chauvin-Michel et Sophie Pehlivanian[162]. Il en est de même pour

---

mai-juin 1984, pp. 227-241 ; FABERON, Jean-Yves, « Les projets de réforme de l'administration de l'énergie », *La Revue administrative*, 35^{e} Année, n°205, janvier-février 1982, pp. 13-16 ; FABERON, Jean-Yves, « Les organismes chargés de la mise en œuvre de la politique d'économies d'énergie », *La Revue administrative*, 31^{e} Année, n°183, mai-juin 1978, pp. 245-260 ; FABERON, Jean-Yves, « L'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie », *Revue Juridique de l'Environnement*, n°2, 1991, pp. 153-170 ; FABERON, Jean-Yves, « Droit de la maîtrise de l'énergie. Septembre 1988 à décembre 1989 », *Revue Juridique de l'Environnement*, n°2, 1990, pp. 197-239 ; FABERON, Jean-Yves, « Droit de la maîtrise de l'énergie. Mai 1987 à août 1988 », *Revue Juridique de l'Environnement*, n°4, 1988, pp. 419-454 ; FABERON, Jean-Yves, « Droit de la maîtrise de l'énergie », *Revue Juridique de l'Environnement*, n°3, 1987, pp. 337-365 ; FABERON, Jean-Yves, « Bibliographie du droit de la maîtrise de l'énergie », *Revue Juridique de l'Environnement*, n°3, 1987, pp. 417-425 ; FABERON, Jean-Yves, « Droit de la maîtrise de l'énergie », *Revue Juridique de l'Environnement*, n°1, 1986, pp. 47-66 ; FABERON, Jean-Yves, « Les projets de réforme de l'administration de l'énergie », *La Revue administrative*, n°205, janvier-février 1982, pp. 13-16 ; FABERON, Jean-Yves, « Le nouveau pouvoir et l'énergie », *Revue politique et parlementaire*, n°895, 1981, pp. 51-70 ; KAHN, Philippe (dir.), *De l'énergie nucléaire aux nouvelles sources d'énergie vers un nouvel ordre énergétique international*, Librairies techniques, 1979 ; SANCY, Mary, « L'énergie solaire et le droit : analyse de droit comparé, éléments pour l'élaboration d'un système juridique cohérent favorisant le recours à cette forme d'énergie », thèse de doctorat en droit de l'environnement, sous la direction de DE BACKER, Luc, Fondation Universitaire Luxembourgeoise, 1994.

[157] CAVARD Denise, CRIQUI Patrick, *op. cit.,* 1979, p. 363.

[158] MARREC, Anaël, *op. cit.*, 2018, pp. 68-70.

[159] *Ibid*., 2018, pp. 139, 148, 307, par exemple.

[160] *Ibid*., pp. 311-527, mais à la p. 336 elle nuance le contexte qui, dans les années 1960, devient « défavorable aux énergies naturelles et la majorité des projets sont abandonnés » ; et MARREC Anaël, TEISSIER Pierre, « Les énergies alternatives aux prises avec les politiques conservatrices », *in* JARRIGE François, VRIGNON Alexis (dir.), *Face à la puissance. Une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel*, Paris, La Découverte, 2019, p. 239.

[161] MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, « L'énergie solaire et l'orientalisme technologique », pp. 125-131.

[162] CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op. cit.*, 2012, p. 53 ; PEHLIVANIAN, Sophie, *op. cit.*, 2014, pp. 215-223.

celles de Masson et de Girardier à Dakar dans les années 1950-1960[163]. Chez Marrec, la SOFRETES, quant à elle, est simplement mentionnée à leur suite, alors que Pehlivanian et Chauvin-Michel tentent d'en dresser un portrait un peu plus dense. Pehlivanian propose un point historique succinct sur le solaire au CEA dans lequel elle intègre de façon très partielle la SOFRETES[164]. Elle explique ensuite que l'entreprise cesse ses activités peut-être en raison d'un manque de soutien du COMES, qui privilégie la filière photovoltaïque[165], mais aussi car ses dispositifs ne sont pas fiables (ce qu'elle ne démontre pas)[166]. Les considérations générales de ces travaux ne sont étayées d'aucune donnée empirique sur les rapports de forces entre les acteurs (publics et privés) décisionnaires, ni sur le déroulement de chaque opération à l'étranger. Chauvin-Michel, pour sa part, approfondit davantage la collaboration de Girardier avec les époux Alexandroff, qui sont les architectes-conseils de certaines des premières installations de la SOFRETES[167]. Ce que fait aussi Lopez[168]. Chauvin-Michel énumère quelques réalisations de la SOFRETES à l'étranger, mais sans les présenter, lorsqu'elle aborde la coopération solaire française à l'international[169]. Enfin, elle mentionne la faillite de l'entreprise, mais ne cherche pas à l'analyser en tant que cas particulier[170]. Ses conclusions sur les raisons de l'abandon du solaire par l'État restent très génériques, comme celle d'une industrialisation lancée trop rapidement, alors que, comme nous le verrons, celle-ci n'a jamais commencée[171]. Nonobstant toutes ces entrées, les erreurs dans la reconstitution des faits sont très nombreuses (acteurs, dates, lieux, etc.), de même que dans l'identification et la compréhension des dispositifs techniques eux-mêmes, des

[163] MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, pp. 510-515 (et pp. 620-621) ; MARREC Anaël, TEISSIER Pierre, *op. cit.*, 2019, pp. 227, 245 ; PEHLIVANIAN, Sophie, *op. cit.*, 2014, pp. 142-143 ; CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op. cit.*, 2012, p. 66-70.
[164] PEHLIVANIAN, Sophie, *op. cit.*, 2014, pp. 249-254. *Idem* sur l'historique du rôle de la SOFRETES dans le projet de centrale Corse de moyenne puissance, pp. 389-398. Et pp. 435-440 pour le programme photovoltaïque du CEA en Polynésie.
[165] MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, p. 557. Elle s'appuie ici, comme Pehlivanian, sur le témoignage de Liébard (2015). Marbach et Laponche nous ont donné en entretien une interprétation similaire de l'orientation des efforts du COMES en faveur d'une filière photovoltaïque (nous y reviendrons largement). Ce que les archives de l'agence confirment, comme les nombreux préachats de cellules qu'elle effectue auprès de RTC pour appuyer des opérations à l'étranger des pompes solaires Guinard par exemple. Inversement, comme nous le verrons, le COMES n'apporte pas son aide aux opérations SOFRETES (si ce n'est une participation à l'opération Diré).
[166] PEHLIVANIAN, Sophie, *op. cit.*, 2014, pp. 471-478.
[167] CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op. cit.*, 2012, pp. 71-77.
[168] LOPEZ, Fanny, *op. cit.*, 2014, pp. 230-239.
[169] CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op. cit.*, 2012, pp. 312, 314.
[170] *Ibid*., p. 462.
[171] *Ibid.*, p. 474.

relations d'acteurs, ainsi que des enjeux qu'ils recouvrent. Marrec par exemple dans sa présentation des prototypes de pompes solaires Masson-Girardier confond certains dispositifs et elle se trompe dans la chronologie des partenariats industriels et des installations de démonstrations[172]. Étrangement, c'est à l'Université d'Alger qu'elle attribue les réalisations de Masson-Girardier alors que leurs travaux se déroulent à l'Université de Dakar. D'ailleurs, aucun lien (technique et institutionnel par exemple) n'est tissé entre les travaux sahariens de Mouchot, de Shuman, de Moumouni et de Girardier, annulant ainsi toute possibilité d'une lecture diachronique des faits qui permettrait d'en penser la continuité. Réinterprétant les propos tenus par Girardier en 1966 dans la présentation de son projet de pompage solaire thermodynamique basse température à destination des populations rurales isolées des zones arides, au moyen de machines robustes, à la mise en route automatique et nécessitant peu de maintenance, Marrec en conclu que ces dispositifs faisaient donc d'eux des « consommateurs passifs »[173]. Là encore, cette interprétation interpelle. En effet, nous le verrons, l'objectif de Girardier (qu'il met en œuvre) est justement l'inverse. Il s'agit d'associer les populations locales au montage et à la maintenance des appareils, moyennant une formation, mais surtout de fabriquer une machine solaire suffisamment fiable dans le temps long pour ne pas devoir être réparée trop fréquemment. Le but ultime est l'appropriation de la technique. Et ce ne fut pas qu'un vœu pieu, qu'une déclaration de bonne intention, comme le montre l'étude de cas sur la station de Diré, précédemment mentionnée[174], et comme la suite du présent travail l'explique.

Ce survol d'une histoire complexe est dommageable, d'autant plus qu'il se prolonge, comme le fait très bien remarquer Frédéric Caille[175], dans des ouvrages de

[172] MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, pp. 512-513, et aussi dans MARREC Anaël, TEISSIER Pierre, *op. cit*., 2019, p. 246.
[173] *Ibid*., p. 513.
[174] MOUTHON, Alexandre, *op. cit*., 2020.
[175] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2020, p 40 : « Bien qu'elle apporte beaucoup d'informations factuelles intéressantes, cette tentative française de synthèse récente, appuyée sur un collectif de contributions à des journées d'études, reste à l'écart des courants d'analyse dominants des « humanités énergétiques » anglo-saxonnes. Le titre en particulier, Face à la puissance. Une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel, ne peut manquer d'interpeler, avec le refus de la notion de « renouvelable », et la présupposition de « moindre puissance », critères qui s'appliquent assez mal à l'énergie solaire. Il est à noter que l'énergie solaire thermodynamique est très peu mentionnée et les moteurs solaires de la Sofretes à peine évoqués (p. 246). L'interprétation qui replace cette dernière dans une « division internationale du travail solaire » et les « projets coloniaux » des « politiques conservatrices », à rebours de tous les témoignages et de toute la documentation que nous avons recueillis, se situe dans la continuité des travaux des deux auteurs du chapitre (A. Marrec et P. Teissier qui fut son directeur de thèse) ».

synthèses qui souhaitent écrire *Une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel*[176]. Donnant ainsi l'impression « qu'il n'est pas neutre de penser qu'il n'y a pas d'histoire de l'énergie solaire »[177].

Dans leur ouvrage, François Jarrige et Alexis Vrignon « survole(nt) en moins de trois pages l'histoire solaire du XIX^e^ siècle, et ignore(nt) par exemple les récents travaux disponibles sur l'Afrique de l'Ouest et un scientifique tel Abdou Moumouni Dioffo »[178]. En effet, l'existence de la SOFRETES y est esquissée en quelques lignes sans aucune référence aux travaux déjà existants[179]. Seul le témoignage de Jean-Pierre Girardier, publié dans les actes du 118^e^ congrès national des sociétés historiques et scientifiques de Pau, les 25-29 octobre 1993, est mobilisé[180]. Ces derniers, publiés en 1995, regroupent les contributions d'importants grands témoins du solaire des années 1970-1980. Ces textes sont fondamentaux et comme le remarque très justement Pehlivanian[181], ils composent le seul ouvrage de synthèse des années 1990 disponible sur l'histoire de l'énergie solaire en France.

Dans cette même veine de source, il convient également de se référer à l'entretien que Jean Deflandre accorde à Girolamo Ramunni en 2001, dans lequel celui qui est un agent de l'Agence nationale de valorisation de la recherche (ANVAR) à l'époque où celle-ci participe à la création de la SOFRETES, revient sur son expérience du solaire. Bien que Deflandre n'y livre guère d'informations qui permettent d'évaluer l'ampleur des chantiers SOFRETES, ni réellement sur la manière avec laquelle l'ANVAR prend part à l'aventure, ni sur ses motivations, puisque seul son nom est cité au détour d'un souvenir

---

[176] *Ibid*. Caille fait référence à JARRIGE François, VRIGNON Alexis, *op. cit*., 2019.
[177] *Ibid*., p. 27.
[178] *Ibid*, p. 29. CAILLE renvoie à JARRIGE François, VRIGNON Alexis, *op. cit*., 2019, pp. 138-139.
[179] Les travaux à consulter sont : CAILLE Frédéric, BADJI Mamadou (dir.), *Du soleil pour tous : l'énergie solaire au Sénégal : un droit, des droits, une histoire*, Québec (Québec), Éditions science et bien commun [esbc], Environnement, 2018 ; CAILLE Frédéric (dir.), *Abdou Moumouni Dioffo (1929-1992), le précurseur nigérien de l'énergie solaire*, Éditions science et bien commun, Québec, 2018 ; CAILLE, Frédéric, « L'énergie solaire thermodynamique en Afrique », *Afrique contemporaine*, n° 261-262, 2017, pp. 65-84 ; CAILLE, Frédéric, « L'Afrique solaire ou le récit oublié : représentations sociales et expérimentations en matière d'énergie solaire en Afrique XIX^e^-XX^e^ siècles », *in* STOESSEL-RITZ Josiane, BLANC Maurice et AMAROUCHE Ahcène (dir.), *Penser les innovations sociales dans le développement durable : de la guerre à la paix*, *Sociologies et environnement*, 2018, pp. 39-59 ; DIEDHIOU, Salif, « L'énergie électrique au Sénégal de 1887 à 1985. Transfert de technologie, appropriation et enjeu politique d'un patrimoine industriel naissant », thèse de doctorat d'histoire, sous la direction de BELHOSTE, Jean-François, École Pratique des Hautes Études, 2016.
[180] JARRIGE François, VRIGNON Alexis, *op. cit*., 2019, p. 297 ; GIRARDIER, Jean-Pierre, « Les pompes solaires thermodynamiques et leur histoire », *in* HERLEA, Alexandre, (dir.), *L'énergie solaire en France*, Paris, Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, 1995, pp. 127-143.
[181] PEHLIVANIAN, Sophie, *op. cit*., 2014, p. 18.

évoqué[182]. Une mention particulière doit être faite ici des travaux de Salif Diedhiou car ils sont l'œuvre d'un chercheur africain qui propose une histoire de l'électricité au Sénégal. A la différence des thèses précédentes, celle-ci s'attarde un peu sur une réalisation de la SOFRETES. Il s'agit de la centrale électro-solaire de Diakhao qui prévoit de développer sur son site un centre d'essai de capteurs et de mesures, animés par les africains eux-mêmes (élément omis par l'auteur). Diedhiou présente le projet qui fit intervenir la SINAES, la filiale sénégalaise de la SOFRETES, et son actionnaire principal, la SENELEC, la compagnie nationale d'électricité du Sénégal (héritière de l'EDF coloniale). L'auteur rapporte toute l'importance de son inauguration par le Président Abdou Diouf le 27 février 1981. Deux photos de l'atelier de montage des capteurs accompagnent le texte. On y voit clairement des africains à la tâche. Malheureusement, l'auteur ne va pas plus loin dans son enquête[183]. Cependant, ces quelques éléments œuvrent en faveur d'une réévaluation de l'importance que revêtent peut-être les opérations SOFRETES, ainsi que de leur présupposé échec technique. Le reste des propos de Diedhiou sur le programme solaire sénégalais est confus et très peu détaillé[184].

Certains ouvrages anglo-saxons qui tentent de réaliser une historiographie du solaire abordent rapidement la SOFRETES, tels les travaux de l'Américain John Perlin et de l'Allemand Wolfgang Palz depuis les années 1980[185], ainsi que ceux de l'Indien H.P. Garg[186]. Ils affirment ainsi sa visibilité internationale, son importance historique, confirmant également qu'elle n'est pas une tentative isolée et ignorée en son temps. D'ailleurs, une thèse d'ingénierie agricole de l'Université américaine de l'Iowa propose en 2002 un chapitre historique très complet sur les dispositifs de pompage solaire en dressant un tableau chronologique depuis le XIX^{e} siècle qui n'oublie pas les prototypes

[182] GIROLAMO Ramunni, DEFLANDRE Jean, « Faire face à la crise du pétrole : l'énergie solaire au CNRS », *La revue pour l'histoire du CNRS*, 4 | 2001, p. 2.
[183] DIEDHIOU, Salif, *op. cit*., 2016, pp. 187-189.
[184] *Ibid.*, pp. 223-224.
[185] PERLIN, John, *Let It Shine, New World Library*, Novato, California, 2013 ; PERLIN, John, *From space To Earth, The Story Of Solar Electricity,* Harvard University Press, 2002 ; BUTTI Ken, PERLIN John, *A Golden Thread*, Cheshire Books, Palo Alto, U.S.A., Van Nostrand Reinhold Compagny, New York, U.S.A., 1980 ; PALZ, Wolfgang, *Solar Electricity : An Economic Approach to Solar Energy*, Paris, Unesco, 1978; PALZ, Wolfgang, *Power for the World : The Emergence of Electricity from the Sun* , Pan Stanford Publishing, 2010.
[186] GARG, H. P., *Advances in Solar Energy Technology*, Volume 1, D. Reidel Publishing Company, 1987, Holland ; GARG, H. P., *Advances in Solar Energy Technology*, Volume 2, D. Reidel Publishing Company, 1987, Holland ; GARG, H. P., *Advances in Solar Energy Technology*, Volume 3, D. Reidel Publishing Company, 1987, Holland.

SOFRETES et leurs expérimentations en conditions réelles[187]. L'auteur y propose à son tour une solution pensée pour l'Égypte et les zones arides d'Afrique et du Moyen-Orient, comme Mouchot, Shuman, Masson, Tabor, Moumouni, Girardier et d'autres le firent avant lui (nous y reviendrons).

Même si elle est présentée dans ces quelques textes, c'est l'absence de toutes références à la SOFRETES et à ses réalisations (en zone aride et en France métropolitaine) dans des publications officielles, ou ayant reçu des soutiens d'organismes publics et de la grande industrie, notamment celles qui s'attachent à écrire une histoire de l'électricité et de l'électrification rurale en Afrique, ou à recueillir la mémoire de certains ministères, qui est surprenante. Cette absence questionne sur la fabrique des liens entre la mémoire et l'histoire du solaire par les sachants. Rappelons que l'État français fut l'actionnaire ultra-majoritaire de l'entreprise.

Le Comité d'histoire des ministères de l'Écologie, du Développement durable et de l'Energie, et du Logement, de l'Égalité des territoires et de la Ruralité, dans sa revue *Pour mémoire*, consacre ainsi son numéro de l'été 2015 à une histoire administrative officielle de la maîtrise de l'énergie (1973-2015). C'est à Alain Liébard, dont nous avons déjà mentionné le refus d'accorder l'accès aux documents d'archives que Girardier lui a remis, qu'est confié le soin d'y dresser « l'évolution de la politique des énergies renouvelables depuis 1970 »[188]. Dans son récit, l'auteur fait référence à certaines réalisations architecturales solaires auxquelles il participe, mais il ne mentionne pas ses partenaires d'alors que sont les époux Alexandroff et la SOFRETES. Cette dernière est d'ailleurs raillée d'une phrase, au ton péremptoire, sans aucune démonstration, ni preuve empirique, lorsque Liébard dit de Girardier qu'il défendait, *unguibus et rostro*, mais à tort, la viabilité de ses dispositifs solaires thermodynamique basse température : « Cela se révéla par la suite inexact : le photovoltaïque a démontré qu'il était beaucoup plus fiable et pérenne que le thermodynamique basse température »[189]. Nous n'en saurons pas plus. C'est la seule référence explicite dans tout le numéro.

---

[187] KISHTA, Abdalla M., « Designing, modeling, and testing a solar water pump for developing countries », PhD. In Agriculturel Engineering, Iowa State University, 2002, pp. 7-30.
[188] LIEBARD, Alain, « L'évolution de la politique des énergies renouvelables depuis 1970 », *Pour mémoire*, Comité d'histoire des ministères de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, et du Logement, de l'Egalité des territoires et de la Ruralité, n°15, été 2015, pp. 26-41.
[189] *Ibid*., p. 32.

D'ailleurs, comme le note Frédéric Caille, le site d'information et les revues de la FONDEM (financés notamment par l'ADEME et la Caisse des dépôts), ignorent totalement le solaire thermodynamique basse température, et, « plus étonnant, la récente publication en ligne de la fondation, sur l'électrification rurale en Afrique, soutenue par divers partenaires, fait débuter l'histoire du solaire sur le continent avec les seuls équipements solaires photovoltaïques, alors même que plusieurs sites de l'entreprise SOFRETES ont produit ou envisagé de produire de l'électricité »[190].

Plus surprenante encore est l'absence totale de toute référence dans les publications de *L'Encyclopédie de l'énergie*[191]. Les contributions sur l'histoire du solaire de Jean-Pierre Joly (un photovoltaïcien), qui fut le directeur de l'Institut National de l'Energie Solaire (INES), émanation du CEA (l'actionnaire principal de la SOFRETES), ignorent les réalisations de la SOFRETES[192]. La brochure du CEA-Cadarache, *Solar Energy*, de 2000-2001, confirme cet oubli[193]. *L'Encyclopédie de l'énergie* est un projet qui regroupe un très large éventail de partenaires institutionnels (laboratoires, etc.) et industriels. Il est animé et soutenu, entre autres, par des acteurs de la recherche en économie de l'énergie qui sont très actifs dans les années 1970-1980, notamment à l'IEJE de Grenoble, et qui participent à l'animation de la recherche sur les applications de l'énergie solaire. En effet, plusieurs de leurs thèses (que nous mobiliserons plus loin) lui sont consacrées. Leurs auteurs poursuivent par la suite des carrières académiques dans le champ de l'économie des sources d'énergie conventionnelles, sans jamais plus s'intéresser au solaire. Or, les travaux de Patrick Criqui, Jacques Percebois et Francis Perrin, par exemple, intégrèrent l'existence de la SOFRETES dans leurs analyses des stratégies des pouvoirs publics et des entreprises du secteur pétrolier et nucléaire[194]. Parmi

---

[190] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2020, p. 28. L'ouvrage en question est : Fondation énergies pour le monde (FONDEM), *Électrifier l'Afrique rurale*, Observ'ER, 2019. Préfacé par Jean-Louis Borloo, Président de la FONDEM. Comme expliqué précédemment Alain Liébard fut le président-fondateur de la FONDEM. http://www.energies-renouvelables.org/solaire_thermique.asp

[191] https://www.encyclopedie-energie.org

[192] JOLY, Jean-Pierre, « Solaire thermique – Les technologies et leurs trajectoires », 26 février 2019, https://www.encyclopedie-energie.org/solaire-thermique-les-technologies-et-leurs-trajectoires/ ;
JOLY, Jean-Pierre, « Solaire thermique et photovoltaïque : brève histoire », 22 février 2019, https://www.encyclopedie-energie.org/solaire-thermique-et-photovoltaique-une-breve-histoire/ et https://www.encyclopedie-energie.org/auteur/joly-jean-pierre/

[193] CEA Cadarache, *Solar Energy*, 2000-2001.

[194] CRIQUI, Patrick, « L'énergie solaire en France, approche socio-économique », thèse de 3e cycle, sous la direction de PERCEBOIS, Jacques, Université des sciences sociales de Grenoble, Institut économique et juridique de l'énergie, Grenoble, 1979 ; PERCEBOIS, Jacques, *L'Énergie solaire. Perspectives économiques*, Paris, CNRS, 1975 ; PERRIN, Francis, « La diversification énergétique des grandes

les auteurs significatifs de cet oubli, nous relevons également la présence de Thierry Alleau, ingénieur du CEA (comme Joly), qui participe au sein de ses laboratoires à la R&D d'un prototype de moteur solaire à palette pour la SOFRETES[195].

Autant d'acteurs qui, potentiellement, auraient accès à des éléments empiriques permettant d'activer une autre mémoire solaire que celle qui est communément construite. Étrangement, Yves Bouvier et Sophie Pehlivanian mentionnent dans leur texte introductif au numéro des *Annales historiques de l'électricité* consacré aux politiques publiques de l'énergie solaire, les études de Criqui et de Percebois, mais ils ne les exploitent pas. Aucune des contributions à ce numéro ne s'attache à rendre compte des actions publiques solaires qui sont menées par la France à l'étranger par le biais de PME, comme si le solaire n'était expérimenté qu'en métropole, et ce uniquement par des organismes publics et des firmes transnationales. Rien évidemment sur la SOFRETES, ni sur d'autres PME à l'export, qui réalisent pourtant bien des installations, tant photovoltaïques que thermodynamiques basse température. C'est d'autant plus surprenant, comme nous le verrons, que l'EDF participe à l'une de ces opérations de démonstration en Arabie Saoudite. Or, les *Annales historiques de l'électricité* sont la revue du Comité d'histoire de la Fondation EDF.

Nous retrouvons cet oubli dans des productions anglo-saxonnes sur les dispositifs *Organic Rankin Cycle* (ORC). Il s'agit de moteurs qui convertissent la chaleur, quelle que soit son origine (récupération d'un gradient naturel ou industriel, carburants fossiles), en mouvement mécanique, par l'intermédiaire d'un fluide gazeux liquéfiable à basse température. Nous reviendrons plus en détails sur cette solution technique qui est celle mise en œuvre par les dispositifs SOFRETES[196]. Cette absence peut paraître surprenante au premier abord, et si l'on ne prend pas garde de constater que l'auteur du chapitre en question est un concurrent de la SOFRETES en son temps (le fondateur de l'entreprise

compagnies pétrolières depuis la crise d'octobre 1973. Le cas de l'énergie solaire », Thèse de 3e cycle en Économie de l'énergie, sous la direction de MARTIN, Jean-Marie, Université des Sciences Sociales de Grenoble, Institut Économique et Juridique de l'Énergie, 1984.

[195] Entretiens avec Thierry Alleau, 2018. Alleau travailla au sein du CEA à l'amélioration des dispositifs de la SOFRETES.

[196] Là encore nous renvoyons à nos précédents travaux dans les *Cahiers d'histoire du Cnam*, déjà cités, dans lesquels le dispositif ORC de la SOFRTES est explicité : MOUTHON, Alexandre et MOUTHON Alexandre, CAILLE Frédéric, *op. cit*., 2020. Le dispositif est clairement présenté au chapitre 1 de cette thèse.

israélienne ORMAT), le lecteur non averti aurait tôt fait de prendre cet historique technique pour argent comptant[197].

Yves Bouvier, dont les travaux sur l'histoire des relations entre la CGE et l'État sont soutenus par l'EDF et la CGE, ne réserve que quelques mots à l'activité solaire de la SOFRETES. Il précise toutefois que la CGE lança plusieurs partenariats dans le solaire à partir de 1978, dont l'un avec la SOFRETES, tous les autres se concentrant sur la technologie photovoltaïque, avec des réalisations à l'international[198]. En effet, en 1979, deux filiales de la CGE entrent au capital de la SOFRETES. Malheureusement, Bouvier ne va plus loin. Pourtant c'est, comme nous le verrons, quelques années auparavant que la CGE fut en contact sur le terrain des expérimentations avec la PME. Et son entrée au capital fut décisive sur la suite de son existence.

Les difficultés rencontrées par les tentatives de Frédéric Caille (auxquelles nous avons participé) pour faire entrer une maquette d'une station de pompage solaire SOFRETES au Musée des Arts et Métiers de Paris sont emblématiques de la place inexistante qu'occupe cette proposition solaire dans la mémoire collective, comme Caille le démontre très bien dans son article « L'énergie solaire au Musée ? Éléments d'une lecture énergopolitique du projet muséal Sofretes »[199]. Une montée en généralité de la conclusion des travaux de Marrec y fait écho et nous semble particulièrement pertinente : « Cette mémoire collective constitue un élément d'inertie des systèmes techniques, en orientant l'imaginaire vers certaines solutions, et en verrouillant d'autres possibles »[200]. Nous regrettons cependant que l'auteure ne développe pas plus en détails cet aspect par des études de cas particuliers qui permettraient d'apporter des éléments empiriques afin d'éclaircir les « actions inhibitrices » ou « d'oubli » de filières du passé, bien qu'elle déclare que « quelques exemples issus de cette thèse montrent les mécanismes de construction de la mémoire et d'organisation de l'oubli, qui opèrent de manière souvent

[197] BRONICKI, L. Y., « History of Organic Rankine Cycle systems », *in* MACCHI E., ASTOLFI M., *Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems. Technologies and Applications*, Woodhead Publishing Series in Energy, n°107, Elsevier, 2017, pp. 25-66.
[198] BOUVIER, Yves, *Connexions électriques. Technologies, hommes et marché dans les relations entre la Compagnie générale d'électricité et l'État, 1898-1992*, Bruxelles, Peter Lang, 2014, pp. 541-543.
[199] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2020.
[200] MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, p. 707, pour la citation, et pp. 704-707 pour le passage sur « Une réflexion sur la mémoire et ses usages ».

inconsciente, mais aussi parfois consciente, dans un but économique ou politique »[201]. Le mystère reste entier.

Enfin, chez les récents vulgarisateurs de *Rétrofutur. Une contre-histoire des innovations énergétiques*, peut-être par un choix éditorial consensuel, comme les propos introductifs le laissent penser puisque l'ouvrage se refuse ouvertement à questionner les responsabilités des pouvoirs publics et des grands industriels dans le processus d'innovation[202], la SOFRETES se retrouve, malgré, là encore, les efforts de Frédéric Caille (qui participe à cet ouvrage collaboratif mais qui ne cautionne pas sa posture éditoriale[203]), parmi un éventaire de gentilles et amusantes inventions ratées et oubliées.

En conclusion, la place de la SOFRETES et de sa proposition sociotechnique dans l'historiographie de l'énergie solaire est très limitée, à la fois par l'absence de données empiriques mobilisées (aucune enquête n'a été menée) et par une interprétation des faits erronée.

Voilà pourquoi Frédéric Caille met en garde contre une histoire du solaire qui est un peu vite écrite à partir des traces les plus visibles et qu'il milite pour ouvrir de nouveaux chantiers de fouilles qui commencent à révéler que « les moteurs-pompes solaires de l'entreprise ne sont pas un rêve irréalisable, puisqu'ils ont existé, et qu'ils ont rempli leurs fonctions. Et de fait un certain nombre de citernes d'eau sans autre énergie que la chaleur de l'astre du jour. Ils ne sont pas arrêtés faute d'efficience technique, mais à la suite de décisions. C'est ce hiatus, et ses conséquences actuelles, qu'il nous faut désormais penser »[204]. En effet, les travaux de l'auteur, et notre enquête complémentaire à leur suite, tendent à rendre compte d'une permanence dans une généalogie d'expérimentations arrêtées par des décisions, depuis Mouchot (XIX^{e} siècle) jusqu'à la SOFRETES (1973-1983), et non pas à la suite de défaillances intrinsèques des machines solaires. Les arguments classiquement invoqués d'une insuffisance théorique et pratique des expérimentations et des performances des dispositifs, vont même parfois jusqu'à nier leur existence (ou à en minorer l'ampleur), alors que :

> En dehors de quelques éléments de vocabulaire (rayons obscurs, calorique), les physiciens du temps d'Augustin Mouchot disposent déjà, dès les années 1860, de la compréhension

[201] MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, p. 704.
[202] CARLES Cédric, ORTIZ Thomas, DUSSERT Eric, *Rétrofutur. Une contre-histoire des innovations énergétiques*, Paris, Buchet Chastel, 2018, pp. 8-9.
[203] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2023.
[204] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2020, p 37.

> de l'essentiel des processus nécessaires aux perfectionnements des dispositifs techniques de conversion thermique et thermodynamique. Avec le travail de Mouchot, qui sera rapidement reconnu internationalement comme tel, l'exposé et l'expérimentation systématiques des diverses applications pratiques de la chaleur solaire sont du point de vue épistémologique et théorique quasiment arrivés à leur terme. Jean-Pierre Girardier, docteur en physique de l'université de Dakar cent ans plus tard en 1962, puis expérimentateur et développeur de moteurs solaires thermodynamiques de conception simple et de petite capacité, fondateur de la société d'économie mixte Sofretes (Société Française d'études Thermiques et d'Energie Solaire) sur laquelle nous allons revenir, a ainsi logiquement toujours affirmé que l'histoire de son travail, ou même celle de l'entreprise qu'il dirigea, si elles étaient écrites un jour, devraient indiscutablement commencer par Augustin Mouchot[205].

Dans son ouvrage, *L'invention de l'énergie solaire : la véritable histoire d'Augustin Mouchot*, Caille démontre, après une étude minutieuse de documents d'archives, et à contre-courant de l'historiographie officielle, que ce dernier était parvenu, cent ans avant les tentatives commerciales de la SOFRETES, à stabiliser un dispositif thermodynamique fonctionnel, et que les pouvoirs publics, sous de nombreuses figures, services administratifs et structures gouvernementales, en sont parfaitement tenus informés, mais en sont également les thuriféraires. Les exemples exhumés par Caille sont très nombreux et sans ambiguïté, tel celui du polytechnicien et professeur au Collège de France, Joseph Bertrand, qui soutient la validité des réalisations de Mouchot, notamment dans une commission chargée d'examiner ses résultats et dans laquelle siège, rien de moins, que Hervé Mangon, polytechnicien et futur ministre de l'Agriculture et Président du Cnam[206]. Pourtant, aucun des plus brillants soutiens, ni des plus hautes instances décisionnelles, ne sont suffisants pour porter l'invention de Mouchot au stade de l'innovation, c'est-à-dire pour certains au marché, ou plus prosaïquement, du point de vue du citoyen, dans la vie quotidienne des populations. Dit autrement, la déconstruction des faits questionne les motivations, les responsables, la séquence d'action publique de la mise en œuvre du non-choix solaire. L'histoire semble se répéter avec l'existence de la SOFRETES.

Caille rappelle habilement que le célèbre économiste Stanley Jevons, contemporain de Mouchot, s'il n'est pas passé à la postérité pour son analyse du (déjà) non-choix solaire, ne s'est pas pour autant tu sur la question en 1865. L'auteur anglais explicite les raisons qui poussent le gouvernement britannique à user de son charbon pour

[205] *Ibid*., pp. 23-25.
[206] CAILLE, Frédéric, *op.cit*., 2023, p. 46, p. 78, p. 86.

asseoir sa suprématie industrielle, et qu'il est donc impossible d'espérer voir se développer les applications de la maîtrise de l'énergie solaire puisque celle-ci « conduirait à une universalisation de l'accessibilité énergétique préjudiciable au maintien des hiérarchies économiques établies »[207].

Toutes ces découvertes devraient nous amener à douter, et il nous est donc très difficile d'adhérer à la version consensuelle que véhiculent les récits historiques précédemment présentés, dépolitisant l'existence d'une entreprise solaire d'État soi-disant défectueuse.

7.2 Le solaire dans l'historiographie de l'énergie

Les trous de mémoires[208] qui viennent d'être évoqués contredisent quelque peu Marrec lorsqu'elle affirme que « l'histoire de l'énergie solaire a été particulièrement étudiée en France »[209]. Le récent sentier défriché par Caille le prouve en invalidant la certitude de « l'histoire bien connue du moteur solaire d'Augustin Mouchot à la fin du XIX^{e} siècle »[210]. Non seulement, l'histoire de l'énergie solaire est loin d'être écrite, mais celle de son existence politique remet en cause le processus et les motivations qui prévalent aux choix des techniques énergétiques.

Or, le discours historique dominant le récit des changements de techniques énergétiques est profondément apolitique. Il ne s'agit pas une histoire de l'action publique, de ses acteurs et des caractéristiques politiques des machines, mais de celle d'une chronologie des sources primaires d'énergie. Ce récit ordonne l'interprétation du passé autour de la notion de transition énergétique et de celle d'Anthropocène.

La première repose sur le paradigme téléologique d'une succession rationnelle, linéaire, évidente, (mesures de compétitivité économique, de puissances des moteurs, d'équivalence, d'intensité et de bilans énergétiques, de politique d'offre ou de demande, etc.) et surtout inéluctable, des sources d'énergies, de l'esclave au nucléaire (pas de

[207] *Ibid*, p. 21.
[208] Voir l'appel à contributions pour le numéro 42 de *Socio-anthropologie.* https://journals.openedition.org/socio-anthropologie/5041
[209] MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, p. 24.
[210] *Ibid*., p. 25.

l'esclavage et de la technopolitique du nucléaire, au sens de Hecht, précédemment explicité).

La seconde repose sur celui du réchauffement climatique et de la dégradation des milieux de vie comme étant une externalité de l'agir industriel collectif. Ce genre de récit annihile toutes velléités d'identifier des responsabilités : qui a choisi quoi, quand, et où, pourquoi et avec quelles conséquences ? Les choix et les actions des décideurs politiques et des leaders sectoriels sont dilués dans une responsabilité collective héritée.

Ce récit qui fait foi, nourri du matérialisme historique de Marx et du néo-évolutionnisme de Leslie White (leur penchant déterministe n'est pourtant pas à écarter totalement), balise les champs politiques et scientifiques de l'énergie, au risque de ressembler à une rétrologie. Il cherche à justifier le passage de témoin suivant, les modalités de la prochaine transition qui répondront au problème Anthropocène, comme cela fut le cas lors de l'étape précédente : le passage du tout pétrole, devenu trop cher et polluant, à l'électronucléaire permettant l'indépendance nationale des approvisionnements, le solaire n'étant pas une alternative viable, pêchant par son insuffisance technique (manque de maturité et de puissance) et économique (manque de rentabilité).

Marrec dresse une excellente synthèse de ce qu'elle nomme les « histoires des énergies classiques : approches évolutionnistes et économiques »[211]. Elle distingue « les grandes fresques de l'histoire des techniques », en présentant une lecture critique de Mumford, Daumas et Gilles (nous pourrions également citer un texte exemplaire de Cipolla en 1961 dans les *Annales*[212]), « qui décrivent l'histoire des techniques par grandes phases définies par des modes de production »[213], des approches économiques « centré(e)s sur des données quantitatives macroéconomiques et sur l'innovation au sein des entreprises »[214]. Dans cette seconde catégorie elle range les travaux de Caron et ceux soutenus par l'Association pour l'histoire de l'électricité de l'EDF depuis 1982 et ses avatars successifs, ainsi que les travaux du Comité pour l'histoire économique et financière de la France, que nous avons mentionnés plus haut.

---

[211] *Ibid*. pp. 18-22.
[212] CIPOLLA, M. Carlo, « Sources d'énergie et histoire de l'humanité », *Annales. Économies, sociétés, civilisations*, n°3, 1961, pp. 521-534.
[213] *Ibid.*, p. 18.
[214] *Ibid*., p. 20.

Ces études ne traitent pas du solaire et elles légitiment les choix sur lesquels reposent le système énergétique hégémonique.

Marrec accorde une place un peu particulière à l'ouvrage de Debeir, Deléage et Hémery, qui, selon elle, s'il se situe également dans « une approche économiste et systémique »[215] d'une histoire mondiale de l'énergie, aborde tout de même certains aspects politiques du système énergétique, mais n'intègre pas suffisamment l'histoire des énergies renouvelables : « Dans la dernière réédition de cette histoire de l'énergie, les travaux mondiaux, et plus spécifiquement français, sur les énergies renouvelables cités (et critiqués) sont ceux que déploient, depuis la fin des années 2000, les grandes entreprises historiques détentrices des filières énergétiques dominantes (EDF, Total, Areva) en tant qu'accessoires rentables »[216].

Il est instructif d'observer comment ces histoires classiques de l'énergie parviennent à sous-entendre que les alternatives techniques, solaires par exemple, n'ont pas réellement existé, et que les possibles ne furent pas si nombreux au moment de faire des choix. C'est par exemple le sens des propos d'un éminent historien de l'énergie et de l'électricité comme Alain Beltran, qui la considère comme un facteur d'évolution sociale *via* la contrainte que son abondance ou sa rareté impose :

> Marx qui est né il y a deux siècles reliait étroitement dans une vision hégélienne les grandes phases d'exploitation de l'homme à une source d'énergie, depuis l'esclavagisme antique jusqu'au chemin de fer en passant par le moulin. Il distinguait d'ailleurs les machines motrices (production d'énergie), les machines qui transmettent l'énergie et celles qui réalisent un travail. Leslie White (1900-1975) est un anthropologue américain. Il est resté dans les mémoires pour sa « loi » (1943) qui stipule que l'évolution culturelle est fonction de la quantité d'énergie annuellement disponible par tête d'habitant, ou, en d'autres termes, qu'augmenter l'efficacité de l'énergie au travail renforce les moyens culturels. White voyait l'histoire de l'humanité ponctuée en cinq étapes selon les sources d'énergie : l'énergie musculaire, l'énergie animale, la révolution agricole, les ressources fossiles, l'énergie nucléaire enfin. Les périodes les plus contemporaines, dites première et deuxième révolution industrielle, supposent un surcroît d'énergie pour faire avancer navires et chemins de fer, transformer les matières premières. L'accélération la plus récente, depuis 1945, est intimement liée aux capacités pétrolières. En un mot, il peut y avoir débat sur la place de l'énergie dans les transformations sociales, mais, sans cette énergie, trop ou pas assez abondante, les sociétés auraient eu et auront du mal à subsister, à évoluer[217].

Plus loin, l'auteur nuance le déterminisme qui faisait associer à Marx, le moulin, sa source d'énergie et son système de domination. Cependant, c'est pour mieux appuyer

[215] *Ibid*., p. 20.
[216] *Ibid*., p. 21.
[217] BELTRAN, Alain, *op. cit*., 2018.

son l'idée que le choix en matière d'énergie ne s'est peut-être pas vraiment posé en termes d'alternatives, ni techniques, ni politiques, car à chaque époque, les possibles auraient été relativement restreints :

> En réalité, il n'est pas inutile de hausser le niveau d'exigence et de passer d'une énergie à l'énergie et de s'attaquer à de nouvelles synthèses. L'énergie suppose malgré tout des énergies, donc a priori un choix. Mais les hommes depuis l'Antiquité, ont-ils eu vraiment le choix entre plusieurs énergies ? Pour Aristote, la question ne se posait pas : « le jour où les navettes voleront toutes seules et que les plectres joueront d'eux-mêmes, il n'y aura plus besoin d'esclaves » écrivait-il. Marx de son côté liait très étroitement source d'énergie et organisation sociale (en fait dans son esprit : un type d'exploitation) : « En acquérant de nouvelles forces productives, les hommes changent leur mode de production, et en changeant le mode de production, la manière de gagner leur vie, ils changent tous leurs rapports sociaux. Le moulin à bras vous donnera la société avec le suzerain ; le moulin à vapeur, la société avec le capitalisme industriel. » Nous nous permettrons de ne pas tomber dans un déterminisme trop strict et de chercher dans les sociétés humaines leurs capacités d'adaptation, leurs choix énergétiques même s'ils sont limités[218].

Au fur et à mesure de son développement, Alain Beltran tempère la vision linéaire du progrès en rappelant par exemple que la transition entre les différents modes de production s'effectue en fait en parallèle les uns des autres, qu'il n'y a pas de substitution parfaite, mais plutôt une sédimentation, une addition des techniques en usage. Cette interprétation fait aujourd'hui relativement consensus comme chez Edgerton[219], Bonneuil et Fressoz[220] ou Vaclav Smil[221]. Mais Beltran reste campé sur une comparaison des sources d'énergies selon des critères technoéconomiques et gestionnaires classiques, et non pas sur des facteurs sociotechniques ou technopolitiques. Il fait disparaître le tramway électrique car « il encombrait la circulation et était assez dangereux »[222] là où Timothy Mitchell et Jean-Baptiste Fressoz[223] font intervenir l'offensive des compagnies pétrolières et automobiles qui rachetèrent les lignes pour les fermer. Beltran rappelle les chantiers de recherche ouverts sur l'énergie, comme celui de « l'énergie, instrument de puissance »[224]. Mais ce dernier fait alors référence à la géopolitique du pétrole ou des réseaux gaziers européens pendant la Guerre froide, et non pas à l'instrumentalisation

---

[218] *Ibid*.
[219] EDGERTON David, PESTRE Dominique, « De l'innovation aux usages. Dix thèses éclectiques sur l'histoire des techniques », *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, n° 4-5, 1998, pp. 815-837 ; EDGERTON, David, *Quoi de neuf ? Du rôle des techniques dans l'histoire globale*, Paris, Seuil, 2013.
[220] BONNEUIL Christophe, FRESSOZ Jean-Baptiste, *op. cit*., 2016.
[221] SMIL, Vaclav, *Energy and Civilization : A History*, The MIT Press, 2017.
[222] BELTRAN, Alain, *op. cit*., 2018.
[223] FRESSOZ, Jean-Baptiste, « Pour une histoire désorientée de l'énergie », *in* THEVENOT Daniel, *25èmes Journées Scientifiques de l'Environnement - L'économie verte en question*, Créteil, 2014, pp. 6-8.
[224] BELTRAN, Alain, *op. cit*., 2018.

possible de la technique énergétique dans ses dimensions internationales pour gouverner les citoyens d'une démocratie de l'intérieur et de l'extérieur de ses frontières. Enfin, c'est peut-être sa proposition, « L'énergie depuis 1973, orientation bibliographique », qui rend le mieux compte de cette histoire évolutionniste, économique et sectorielle de l'énergie, en en répertoriant les grands textes, y compris dans sa sélection concernant lesdites énergies nouvelles [225].

Aux États-Unis, ces approches évolutionnistes et économiques de l'histoire de l'énergie sont également dominantes. Un ouvrage comme celui de Smil, *Power Density : A Key to Understand Energy Sources and Uses*, appréhende l'énergie solaire (applications photovoltaïques et centrales à concentration) uniquement par la mesure, quand son livre-fresque, *Energy and Civilization : A History*, ne fait aucune mention des alternatives solaires du passé. L'historien des multinationales américaines du pétrole, Daniel Yergin, publie en 1983 en France, une étude qu'il a mené avec Stobaugh à la Harvard Business School, sur un scénario presque prospectif de transition énergétique en pleine période de pétrole cher, qui serait fondé sur les économies d'énergie (conventionnelles), le recours à l'énergie solaire et une politique libérale d'incitations financières[226]. Leur étude des techniques énergétiques solaires s'avère extrêmement succincte (quelques pages)[227], leur analyse se déroulant principalement sous l'influence des modèles de prévisions économétriques et de l'histoire économique et sectorielle de la production et la consommation du charbon, du gaz, du pétrole et de l'électronucléaire, qu'ils ne remettent pas du tout en question : « Que faire ? Nous estimons qu'il faut s'en remettre aux forces du marché »[228]. La Harvard Business School prolonge cette lecture économique en publiant en 2012 une histoire commerciale de l'énergie solaire depuis le XIX^{e} siècle[229], alors qu'au MIT, Bradford envisage les transformations économiques du

[225] BELTRAN, Alain, "L'énergie depuis 1973, orientation bibliographique", *Bulletin de l'Institut d'Histoire du Temps Présent*, N° 45, septembre 1991, pp. 27-54 (et pp. 52-54 pour les énergies nouvelles).
[226] STOBAUGH Robert, YERGIN Daniel (dir.), *L'énergie du futur,* Rapport présenté par le groupe du « Projet Énergie » à la Harvard Business School, Paris, Economica, 1983.
[227] MAIDIQUE, Modesto A., « L'énergie solaire », *in* STOBAUGH Robert, YERGIN Daniel (dir.), *L'énergie du futur,* Rapport présenté par le groupe du « Projet Énergie » à la Harvard Business School, Paris, Economica, 1983, pp. 217-249.
[228] STOBAUGH Robert, YERGIN Daniel, *op. cit*., 1983, p. 275.
[229] JONES Geoffrey, BOUAMANE Loubna, *Power from Sunshine : A Business History of Solar Energy*, Harvard Business School, May 2012.

secteur industriel énergétique qu'occasionnerait la transition à un système technique photovoltaïque[230].

Néanmoins, certains cadrages qui sont proposés par ce courant historiographique, permettent d'éclairer des aspects du système énergétique comme le suggère l'analyse du Système national d'innovation (SNI) nucléaire français menée par Dominique Finon qui démontre que les changements techniques et organisationnels (institutionnels et industriels) s'entre-déterminent[231], et dont quatre conclusions méritent d'être pointées : premièrement, ce travail reconnaît que la technique a des caractéristiques politiques qu'une volonté gouvernementale peut activer ; deuxièmement il souligne que l'institutionnalisation est un instrument technopolitique qui peut servir à exprimer ces caractéristiques politiques dans une configuration adéquate ; troisièmement il suggère que les ressorts de cette codétermination du technique et de l'organisationnel d'un système national d'innovation peuvent être appliqués à n'importe quel choix technique ; enfin il admet, au moins à demi-mot, qu'il y a donc toujours d'autres choix possibles, et que le SNI solaire n'a aucune chance d'être acté dans les années 1970, eut égard aux déterminants du SNI nucléaire qui prévalent.

A contrario de ces histoires évolutionnistes et économiques, un courant moins légitimiste argue du nécessaire précepte de décentrage pour une relecture des événements qui n'élude pas la dimension politique de la technique.

C'est le cas des perspectives de Mitchell[232], de Malm[233], de Hecht[234], et de Boyer (voir plus loin) par exemple. Sans aller jusqu' à elles, et sans les intégrer à son développement d'ailleurs, Marrec présente, en reprenant le titre de l'article de Fressoz, « les propositions pour une histoire désorientée de l'énergie »[235] : privilégier celle des usages et des consommations afin de relativiser l'hégémonie des fossiles, ou encore écrire des histoires des contestations techniques et des convertisseurs oubliées[236]. Dans cette

[230] BRADFORD, Travis, *Solar Revolution : The Economic Transformation of the Global Energy Industry*, The MIT Press, 2006.
[231] FINON, Dominique, « Force et inertie de la politique nucléaire française, une co-évolution de la technologie et des institutions », *In* BELTRAN Alain, BOUNEAU Christophe, BOUVIER Yves, VARASCHIN Denis, WILLIOT Jean-Pierre (dir.), *État et énergie XIX^e^-XX^e^ siècle*, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Paris, IGPDE, 2009, pp. 187-215.
[232] MITCHELL, Timothy, *op. cit*., 1991, 2002, 2017, 2018.
[233] MALM, Andreas, *op. cit*., 2016, 2017.
[234] HECHT, Gabrielle, *op. cit*., 2004, 2016.
[235] MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, pp. 22 et FRESSOZ, Jean-Baptiste, *op. cit*., 2014.
[236] *Ibid*., pp. 22-23.

dernière catégorie, des initiatives de peu de bruit parsèment la littérature anglo-saxonne aux côtés de publications plus prestigieuses : la tentative de McVeigh en 1977[237], celle du Roumain Mihalcea en 2018[238], l'ouvrage très bien documenté de Kryza (2003) sur l'épopée du dispositif de Shuman, des États-Unis à l'Égypte au début du XX^{e} siècle[239], l'essai de chronologie des principaux expérimentateurs américains de Ragheb en 2014[240], ou encore l'histoire méconnue de Ovshinsky, grande figure du photovoltaïque, publiée aux *MIT Press* en 2018[241]. La liste est loin d'être exhaustive.

Selon les historiens qui militent pour « une histoire désorientée de l'énergie », les choix des techniques énergétiques dans l'histoire ne répondraient pas forcément à une suite logique d'arguments technico-économiques en faveur de telle ou telle source qui prendrait la place de la précédente :

> Désorienter l'histoire dénaturalise le présent ; désorienter l'histoire des techniques dénaturalise l'ordre énergétique actuel. Historiquement, les transitions/additions n'obéissent ni à une logique interne de progrès (les premières machines à vapeur étaient très coûteuses et très inefficaces), ni à une logique de pénurie et de substitution (les États-Unis, qui possèdent d'immenses forêts, recourent massivement au charbon au XIX^{e} siècle) ni même à une logique qui serait simplement économique. Par contre, les logiques de pouvoir, les choix politiques, militaires et idéologique furent structurantes[242].

Des alternatives et des contestations, telles des propositions de convertisseurs solaires, auraient donc toujours été présentes dans les rapports de force inhérents aux choix énergétiques. Les motivations politiques associées à telle ou telle trajectoire énergétique doivent donc être envisagées comme déterminantes et réintégrées dans l'analyse avec leurs acteurs.

Face à l'enjeu de l'instrumentalisation d'une histoire de l'énergie et de la place qu'elle accorde à l'énergie solaire, les grands acteurs sectoriels s'impliquent pour

---

[237] MCVEIL, J. C., *Sun Power : An Introduction to the Applications of Solar Energy*, Pergamon Press, 1983 (1977).
[238] MIHALCEA, Dumitru, « Hot air engine, developed and patented by Traian Vuia, a Romanian performance for 21st Century », *Ro. J. Techn. Sci. − Appl. Mechanics*, Vol. 63, N° 3, 2018, pp. 253-275.
[239] KRYZA, Franck T., *The power of light ? The Epic Story of Man's Quest to Harness the Sun*, McGraw-Hill, 2003.
[240] RAGHEB, Magdi, « Solar Thermal Power and Energy Storage Historical Perspective », 9/10/2014, https://mragheb.com.
https://mragheb.com/NPRE%20498ES%20Energy%20Storage%20Systems/Solar%20Thermal%20Power%20and%20Energy%20Storage%20Historical%20Perspective.pdf
[241] HODDESON Lillian, GARETT Peter, *The Man Who Saw Tomorrow : The Life and Inventions of Stanford R. Ovshinsky*, The MIT Press, 2018.
[242] FRESSOZ, Jean-Baptiste, *op. cit*., 2014, p. 6.

promouvoir des travaux académiques d'histoire d'entreprises, d'institutions, de filières, de secteurs, de sources d'énergie, et d'histoire de l'énergie plus globale, plus systémique, afin de maintenir leur légitimité à exercer le pouvoir en choisissant les trajectoires techniques (et en les expertisant)[243].

Ce balisage discursif, par le propos scientifique, des grands domaines d'intervention de l'État, et de l'histoire des monopoles industriels, par lui-même et par les leaders sectoriels, est emblématique de leur domination dans les processus d'élaboration des représentations collectives associées, c'est-à-dire d'éléments du référentiel de la politique publique de l'énergie. États de faits, de pensées et de mots, qui ne peuvent que peser sur l'action publique, ici solaire.

Ni la déontologie, ni la solidité des travaux des chercheurs engagés avec de tels partenaires n'est ici remise en cause. C'est de ne pas incorporer cette donnée à notre analyse qui l'exposerait elle-même à de telles critiques. Les firmes transnationales françaises (la Compagnie Générale d'Électricité, Renault, etc.), les grandes entreprises publiques (l'Électricité De France), les ministères (Comité pour l'Histoire Économique et Financière de la France), le CNRS et le CEA, produisent l'histoire des changements techniques énergétiques dans leurs nombreux comités d'histoire (fondations, associations, revues, etc.)[244]. Or, nous menons ici l'étude d'une PME solaire d'économie mixte qui devient une entreprise majoritairement publique en partageant son actionnariat entre l'ANVAR (CNRS), la SOFINNOVA, le CEA, La Régie Renault, CFP-Total, et Alsthom-Atlantique (groupe CGE), et qui rencontre l'EDF dans certains de ses dossiers. Autant d'acteurs qui balisent derrière eux le chemin sur lequel il est bien difficile de faire l'école buissonnière :

> Si l'on se permet cette métaphore économique, le comité d'histoire tend à se développer par concentration verticale : de la production des sources à l'organisation des recherches et jusqu'à leur diffusion. Une telle concentration fait qu'il paraît bien difficile aujourd'hui de se lancer dans une recherche sur l'un des domaines couvert par le comité sans passer par

[243] Sur l'instrumentalisation de l'histoire par et pour l'entreprise ou l'administration, voir par exemple : BONIN, Hubert, « L'histoire comme outil de légitimation politique de l'entreprise pendant la Grande Crise de la fin du XX^e^ siècle (1974-1993) », *in* CRIVELLO Maryline, GARCIA Patrick & OFFENSTADT Nicolas, *Concurrence des passés. Usages politiques du passé dans la France contemporaine*, Université de Provence, 2006, pp.157-168 ; DUBOIS, Vincent, « Socio-histoire et usages sociaux de l'histoire dans l'analyse de l'action publique. Réflexion à partir de la politique culturelle en France », *in* DELOYE Y., VOUTAT B. (dir.), *Faire de la science politique. Pour une analyse socio-historique du politique*, Paris, Belin, 2002, pp. 155-166.

[244] BELTRAN, Alain, « Les comités d'histoire des ministères et des administrations », *Cahier de l'IHTP*, 21, Novembre 1992, pp. 103-107 ; « Les comité d'histoire », *ENA Mensuel*, 278, Janvier 1998.

> son intermédiaire. Si l'on ne serait dire que cette situation conduit forcément à la production d'une histoire officielle, elle présente néanmoins le risque de favoriser les travaux les plus facilement « entendables » - c'est-à-dire à la fois intelligibles et acceptables – selon les catégories de l'entendement des « témoins » et/ou de l'institution dont ils sont issus[245].

Par définition, le récit développé dans la présente thèse se situe en décalage avec les travaux soutenus par une institution, comme l'EDF sait le faire, *via* sa Fondation et son Comité d'histoire de l'électricité, avec des thèses, des colloques et leurs publications, sur l'histoire de l'énergie et de l'énergie solaire. En décembre 2018, cette même fondation lance par exemple la revue académique d'histoire de l'énergie, *JEHRHE*, partenaire du réseau *EOGAN* qui met à disposition des chercheurs des archives des compagnies pétrolières et gazières par elles-mêmes :

> La constitution et l'organisation de fonds d'archives par tels ou tels organismes rendent possible le contrôle de l'accès aux sources, voire celui de leur utilisation. La commande de recherche s'inscrivant, au moins au départ, dans des logiques d'institution – à chaque ministère son comité, ses problèmes et son histoire – elle présente aussi des risques d'imposer un découpage institutionnel des objets, au détriment d'approches transversales ou de constructions problématiques propres aux chercheurs[246].

Rappelons encore, comme nous l'avons analysé plus haut, que le seul ouvrage publié sur les politiques publiques de l'énergie solaire en France le fut justement par l'EDF *via* sa revue les *Annales historiques de l'électricité*.

Le récit normatif qui « encastre » l'énergie solaire dans l'histoire de l'énergie mérite donc d'être décrypté et enrichi d'une analyse de l'action publique plus « désorientée ». L'énergie ne peut être replacée dans l'histoire par une simple histoire gestionnaire des techniques pour la simple raison qu'une invention ne devient une innovation que si, et seulement si, elle est choisie par ceux qui exercent le pouvoir (nous y reviendrons). Là où des catalogues rétrospectifs égrainent avec fatalité une succession d'inventeurs et d'inventions ratés (comme autant d'alternatives manquées ?) sans chercher plus loin que leurs caractéristiques technicoéconomiques les causes de leur ignorance actuelle, il faut restituer une sociohistoire de l'action politique qui les a écartés : écrire l'histoire de la mise en œuvre du non-choix et *in fine* de l'irrécupérabilité des

[245] DUBOIS, Vincent, *op. cit*., pp. 164-165.
[246] *Ibid*.

techniques. Ce qu'une étude comme celle de Bruyerre sur les éoliennes, ou de Watts sur l'énergie houlomotrice, de manière malheureusement très isolée, se proposent de faire[247].

Ce type d'histoire des énergies reste donc en grande partie à écrire. Christophe Bonneuil et Jean-Baptiste Fressoz, dans *L'événement Anthropocène*, nous encouragent à le faire en proposant dès à présent d'ouvrir de nouveaux chantiers et écrire des histoires « discutables et polémiques »[248], « qui invitent à penser en termes politiques les métabolismes d'énergie et de matière commandés par des dispositifs – de production, d'échange et de consommation – qui ont été inventés et imposés par des groupes, des imaginaires, des institutions bien particuliers et dans des circonstances spécifiques »[249].

Caille identifie et s'inspire de trois grandes orientations de la sociocritique moderne des énergies : « l'empiro-criticisme argumenté des travaux de Benjamin Sovacool[250] par exemple, la déconstruction néo-foucaldienne des *energopolitics* de Dominic Boyer[251] et Laura Nader[252], et l'histoire sociale des énergies fossiles de Timothy Mitchell[253] et Andréa Malm[254]»[255]. Sa posture s'exprime en deux fondamentaux, déjà évoqués. Premièrement, en matière de technique énergétique, le choix de la trajectoire n'est pas intrinsèquement restreint, dit autrement, il y eut et il y a d'autres chemins. Secondement, la technique, ici solaire, a une existence politique, intrinsèque et extrinsèque. Il insiste pour que des enquêtes historiques sur les sentiers abandonnés du

---

[247] BRUYERRE, Philippe, *La puissance du vent. Des moulins à vent aux éoliennes modernes*, Toulouse, Presses Universitaires du Midi, 2020 ; WATTS, Laura, Energy at the End of The World. An Orkney Islands Saga, Boston, The MIT Press, 2019.
[248] BONNEUIL Christophe, FRESSOZ Jean-Baptiste, *op. cit*., 2016, p. 318.
[249] *Ibid*, p. 320.
[250] SOVACOLL Benjamin, Martina, DRUPADY, *Energy Access, Poverty, and Development, the governance of small-scale renewable energy in developing Asia*, Ashgate Publishing Ltd, 2012 ; ORTAR Nathalie, LOLOUM Tristan, *op. cit*., 2019.
[251] BOYER, Dominic, *Energopolitics: Wind and Power in the Anthropocene* (single authored volume of a collaborative duograph with Cymene Howe), Duke University Press, 2019 ; BOYER D., SEZMAN I., *Energy Humanities. An Anthology*, Johns Hopkins University Press, 2017 ; BOYER, Dominic, « Anthropology Electric », *Cultural Anthropology*, 2015, pp. 531-539 ; BOYER, Dominic, « Energopower: An Introduction », *Anthropological Quarterly*, Vol. 87, N°2, 2014, pp.309-334 ; BOYER, Dominic, « Energopolitics and Anthropology of energy », *Anthropology News*, May 2011, pp. 5-6 ; ORTAR Nathalie, LOLOUM Tristan, *op. cit*., 2019, paragraphe 15 ; BOUREL, Etienne, « Une contribution anthropologique aux théories critiques de l'énergie ? A propos de *Anthropological Quarterly*, vol. 87, 2014 », *Lectures anthropologiques*, n°5, 2019.
[252] NADER, Laura, *The Energy Reader*, Whiley-Blacwell, 2010 ; ORTAR Nathalie, LOLOUM Tristan, *op. cit*., 2019.
[253] MITCHELL, Timothy, *op. cit*. 1991, 2002, 2017, 2018.
[254] MALM, Andreas, *op. cit*., 2016, 2017.
[255] CAILLE, Frédéric, UCAD Dakar / FSJP / Master II Histoire du droit et des institutions, Séminaire Histoire des Énergies Renouvelables, 2019.

solaire soient ouverts afin de clarifier les raisons et les modalités de leur oubli et de leur dénégation : « c'est en continuant de travailler à comprendre comment et pourquoi elle a pu être délaissée et dénigrée, en particulier dans les pays d'Afrique les plus ensoleillés, que l'on pourra sans doute mieux déconstruire, analyser et hiérarchiser les grands agendas énergétiques étatiques et technoscientifiques des dernières décennies »[256].

Caille se réfère souvent à Edgerton pour qui « nous sommes libres de refuser les techniques », « nous avons la capacité technologique d'agir très différemment »[257]. Cette évidence à la vie dure tant les trajectoires dominantes crées de la dépendance, à la fois aux usages des convertisseurs, à leur source primaire et à leur propriétaire, ainsi qu'au mode de pensée de notre servitude volontaire et des orientations politiques qu'elle légitime :

> Les marges de liberté en matière de choix énergétiques ne sont pas aussi restreintes qu'on le laisse souvent entendre. Certes, on ne peut nier les interdépendances entre le type de croissance économique, la structure du système énergétique, les secteurs et les sources d'approvisionnement dominants. Cependant l'éventail des choix possibles dans chacun de ces domaines permet d'envisager, sinon une infinité, du moins un grand nombre de « futurs énergétiques ». Parmi ceux-ci, les perspectives énergétiques officielles ne retiennent souvent qu'une ou deux solutions. Elles sont donc bien l'expression d'un choix et non le résultat d'une fatalité »[258].

Afin de penser et d'analyser cette trajectoire solaire écartée en menant des enquêtes qui articulent les rapports entre les caractéristiques techniques et politiques des dispositifs, et les actions publiques qui les accompagnèrent, Caille suggère de se placer dans une posture qu'il qualifie d'inspiration foucaldienne[259], comme celle adoptée par Lopez dans son approche des réseaux électriques : « si la biopolitique correspond à la prise en compte progressive, par le pouvoir, de la vie de la population, alors l'appareil énergétique d'Etat est un dispositif de son contrôle »[260]. Nous avons précédemment clarifié notre vision de la relation de codétermination qui existe entre l'instrument technique et l'exercice du pouvoir, notamment en nous appuyant sur les travaux de Hecht et de Mitchell, et nous nous plaçons donc dans ce sillage.

---

[256] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2020, p. 47.
[257] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2020, p. 25.
[258] CAVARD Denise, CRIQUI Patrick, *op., cit*., 1979, p. 340.
[259] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2021, pp. 4-5 ; CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2020, pp. 22-26 et 46-49 ; BOSSY T., BRIATTE F, « Les formes contemporaines de la biopolitique », *Revue internationale de politique comparée*, Vol. 18(4), 2011, pp. 7-12 ; FOUCAULT, Michel, *Naissance de la biopolitique. Cours au Collège de France (1978-1979)*, EHESS-Paris, Gallimard-Le Seuil, 2004.
[260] LOPEZ, Fanny, *op. cit*., 2014, p 75.

Au total, si la place réservée à la SOFRETES dans le champ de l'historiographie solaire nous apparaît être un reflet très déformé de ce qu'elle fut réellement, elle correspond cependant assez bien à celle qu'il est possible d'attendre d'une histoire de techniques solaires apolitiques, de manière très homologue en cela à la façon dont l'énergie solaire en elle-même est marginalisée par les histoires apolitiques des énergies.

PARTIE I Du soleil au service de l'homme au soleil au service du rayonnement de la France

Introduction de la partie I

La première étape de cette thèse a pour objectif d'expliciter comment la proposition sociotechnique de la SOFRETES prolonge avec singularité la tentative humaniste de développer une solution solaire, en contexte, au service des besoins fondamentaux des hommes, tout en étant capturée dès sa genèse par l'État, qui va progressivement lui imposer de servir son rayonnement.

Cette première partie procède à une analyse très chronologique pour mettre en évidence le fait que la SOFRETES et son moteur s'insèrent dans la continuité d'une trajectoire technique ancienne, mais aussi d'une question solaire, relayées par une communauté savante internationale. La forme sous laquelle l'État est présent aux côtés des expérimentations en terrain colonial se pose avec acuité, tout comme celle des réponses qu'il apporte à la mobilisation scientifique d'experts qui militent, par la diffusion de leurs travaux, pour une alternative de politique publique de l'énergie dans les pays du tiers-monde. De profondes lignes de fractures entre « possibles » et « impossibles » solaires se mettent en place, alors que des événements et des circonstances particulières orientent de façon imprévisible la carrière politique du moteur solaire et de la SOFRETES.

Le premier chapitre s'attache à présenter le moteur solaire dans son histoire technique et politique, notamment en s'intéressant à la spécificité des origines africaines et françaises de la SOFRETES et de sa machine. Quelles sont les prémices industrielles de la SOFRETES ? Comment une PMI familiale métropolitaine d'un secteur traditionnel devient-elle un outil au service d'une solution technique nouvelle par et pour l'Afrique ? Le projet de son fondateur Jean-Pierre Girardier est rattaché à la généalogie des convertisseurs en force motrice des faibles gradients de températures naturelles ou industrielles par une mise en perspective historique, technique et politique du système d'acteurs, d'idées et d'intérêts qui prolonge cette trajectoire et ses relations avec les pouvoirs publics depuis le XIX^{e} siècle. Sur quelles réalités expérimentales et sur quelles représentations reposent les possibles et les impossibles solaires ? Avec quelles conséquences sur la carrière politique de la machine et son image ? Enfin, la première opération de démonstration du prototype de pompe solaire installée dans le désert du

Sahara est déconstruite pour questionner la relation technopolitique à la machine en train de s'établir.

La singularité de l'objet technique solaire mise au point par Masson-Girardier vient d'abord du fait qu'il est conçu par et pour l'Afrique des marges territoriales. C'est de cet espace dominé que la pompe solaire de l'oasis mauritanienne de Chinguetti émerge des sables dans des circonstances qui lui sont au départ étrangères, mais qui lui font fortuitement rencontrer des préoccupations politiques. C'est de ce moment au cours de l'année 1973 que se saisit le chapitre 2. Comment la pompe solaire de Chinguetti passe-t-elle de l'agenda médiatique à l'agenda politique du gouvernement mexicain avant la crise pétrolière d'octobre 1973 ? Quelle place occupe le solaire dans les dossiers du ministère de l'Industrie français à cette date ? Comment l'État accompagne-t-il la création de la SOFRETES et apporte-t-il sa réponse à la commande mexicaine ? Ce deuxième chapitre permet de comprendre les modalités de l'action publique solaire qui font passer la mise en administration du moteur solaire des instruments de la politique coloniale et de la Recherche nationale, à ceux de la politique d'aide à l'innovation, puis à ceux de la politique étrangère.

Chapitre 1 Un moteur solaire en Afrique

Introduction chapitre 1

Irriguer le désert avec le soleil : telle est la proposition sociotechnique qui est présentée dans ce premier chapitre. Il s'agit de caractériser l'existence historique, technique et politique de la pompe solaire thermodynamique basse température que le professeur Henri Masson (1906-1972) et l'ingénieur-entrepreneur Jean-Pierre Girardier (1934-2017) fabriquent en Afrique au moyen de prototypes successifs du début des années 1960 au début des années 1970[261]. Nous nous proposons de suivre quatre entrées :
- l'objet : comment comprendre la machine dont il est question ? Comment l'évaluer ? L'analyse de sa conception, de ses éléments et de ses mécanismes permet-elle d'identifier une codétermination entre des choix techniques et des objectifs sociaux ? Est-elle orpheline de toute généalogie sociotechnique (l'inscription dans une trajectoire) ? Est-elle isolée dans l'espace mondial, circonscrite à ses lieux d'invention, de fabrication, d'expérimentation et d'usage ? Est-elle isolée du système industriel de son époque ? Les pouvoirs publics sont-ils impliqués dans son existence ?
- les acteurs (agents et institutions) : qui sont les promoteurs de cet objet technique ? Quel est l'itinéraire de l'ingénieur-entrepreneur Girardier ? Quelles sont les caractéristiques de son outil de production, la PMI les Etablissements Pierre Mengin ? Quelle place occupe le chercheur universitaire Masson dans l'histoire des expérimentations solaires et dans la communauté scientifique solaire internationale ? En quoi est-il une figure tutélaire pour la proposition sociotechnique de Girardier ? Quelle forme prennent leurs relations avec les pouvoirs publics ? Quelles sont les institutions impliquées et par l'entremise de quels agents ? Les recherches et les prototypes solaires dont il est question font-ils l'objet d'une forme de mise en administration ?
- les idées : préexiste-il des évaluations et des représentations de cette machine ? Qui sont leurs agents ? Peut-on identifier une « solarité »[262] sur laquelle repose peut-être

[261] Les itinéraires professionnels de Henri Masson et de Jean-Pierre Girardier sont progressivement reconstitués dans les pages qui suivent afin de mettre en valeur toute l'importance que nous accordons à certains de leurs éléments sociologiques et historiques, ainsi qu'au hasard de leur rencontre, dans la genèse de leur proposition sociotechnique solaire.

[262] Le terme désigne ici l'ensemble des représentations de l'énergie solaire et de ses applications (usages) comme solution à un problème de l'énergie (des possibles et des impossibles) ainsi que l'ensemble des relations sociales par et dans ces usages. Cette solarité est une construction sociohistorique qui impacte fortement l'action publique, « *the career of solar as a powerful ideological form has an extended history* » (« la carrière du solaire en tant que puissante forme idéologique a une longue histoire). Lire SZEMAN Imre, BARNEY Darin, « From Solar to Solarity », *The South Atlantic Quarterly*, « Solarity », Volume 120,

l'existence politique de cette proposition sociotechnique ? Avons-nous accès à des éléments de son histoire ?

- le potentiel politique de la machine : est-il identifiable et identifié, voire revendiqué par ses promoteurs et/ou explicitement relevé par ses détracteurs (ou bien totalement absent ?) ? La solution proposée est-elle cohérente par rapport au problème public de l'accès à l'eau et à l'énergie des populations des périphéries dominées ? La définition de la solution est-elle co-déterminée par celle du problème ? Quelles relations technopolitiques lient la machine aux pouvoirs publics ?

Nous procéderons en quatre étapes.

Premièrement, il est nécessaire d'identifier les caractéristiques socio-industrielles des Établissements Pierre Mengin, la PMI dont Jean-Pierre Girardier prend la direction et qui devient l'outil industriel avec lequel il développe sa proposition sociotechnique solaire dès le départ dans les années 1960, puis sous la forme d'une filiale spécialisée au début des années 1970, la SOFRETES. Notre hypothèse est que pour l'ingénieur-entrepreneur, les moyens de production personnels dont il dispose ont une influence sur son projet d'invention en lui permettant de construire sa machine par lui-même (ce qui est une singularité de Girardier dans l'histoire des expérimentations solaires), mais également peut-être en en orientant certains aspects sociotechniques comme le choix de la fabrication d'un type de moteur (turbine ou moteur à piston ?) pour lequel son outil industriel est adapté, ou encore en privilégiant certains partenariats industriels en fonction des relations déjà établies dans un secteur particulier (ici un secteur traditionnel) avant la diversification dans le solaire. Dans le cas de la PMI Mengin, l'activité traditionnelle permet le financement de la diversification et l'expérience acquise à l'export sert le projet de commercialisation solaire à l'étranger. De plus, cette proposition sociotechnique, industrielle et commerciale, est avant tout issue d'une collaboration entre un laboratoire universitaire africain au moment des Indépendances, et une société française familiale d'un secteur traditionnel. Cet ensemble de relations originales entre les promoteurs d'une solution technique à un problème public (accès à l'eau pour les populations pauvres), et l'instrument industriel à leur disposition pour réaliser leur machine, questionne les différentes formes que peuvent revêtir le processus d'invention et de diversification

Issue 1, January, Duke University, 2021, pp. 1-11 (p. 2 pour la citation). Nous y reviendrons tout au long du chapitre.

industrielle, notamment les possibles éléments de blocage (leurs origines, leurs formes et leurs effets à court et à long terme) dont nous avons dit en introduction générale qu'ils composaient justement un de nos objectifs finaux, à savoir identifier les étapes et les formes que revêt le processus que nous appellerons peu à peu dans ce travail « l'irrécupérabilité de la chaleur solaire ».

Dans une deuxième étape, nous analyserons la place réservée aux petits moteurs solaires basse température dans les travaux et les rencontres de la communauté scientifique solaire internationale, ainsi que dans l'administration de la recherche.

Dans un troisième temps, nous détaillerons les étapes historiques du développement de la machine solaire au laboratoire africain du professeur Henri Masson (l'IPM de Dakar) et dans l'usine des Etablissements Pierre Mengin en France de 1962 à 1971-1973. Les différents prototypes sont replacés dans leur contexte expérimental, historique et géographique, dans leurs orientations technologiques et sociales, et dans les relations institutionnelles qui les accompagnent. Trois stades sont identifiés dans l'objectif poursuivi par Masson-Girardier d'atteindre la fabrication d'un objet technique viable pouvant servir une alternative de politique publique d'accès à l'eau par et pour l'Afrique. L'approche chronologique permet de montrer la montée en intensité des enjeux prototypiques, proto-industriels, commerciaux et politiques, auxquels les Etablissements Pierre Mengin doivent faire face en s'adaptant sans cesse à la complexification des commandes et à la nature de leurs commanditaires (CNRS, gouvernements africains, ministère français de la Coopération, multinationale minière d'origine coloniale). Ainsi, la sociohistoire de ces étapes de conception et de fabrication d'une machine à travers les relations entre les objets et leurs acteurs démontre progressivement la très forte cohérence et la codétermination de la solution technique proposée par rapport à la définition des problèmes sociaux à résoudre.

Enfin, nous aborderons dans une quatrième et dernière partie, l'analyse critique de l'opération Chinguetti, la première de cette envergure (la pompe est proposée intégrée à un bâtiment abritant une école) et de cette nature (une commande privée, donc peut-être de nature commerciale ?), permet de caractériser la relation qui lie la machine aux acteurs impliqués en fonction de leurs idées et de leurs intérêts. En 1970, la MIFERMA, une entreprise minière d'origine coloniale, commande aux Établissements Pierre Mengin une pompe solaire. Elle est mise en route en 1973 dans l'oasis mauritanienne de Chinguetti

en plein Sahara. S'agit-il d'une opération de démonstration d'une alternative au pompage fossile ?

1. Les Etablissements Pierre Mengin : une PMI d'un secteur traditionnel outil de diversification solaire

La singularité de l'initiative solaire de Jean-Pierre Girardier, qui mène à la création de la SOFRETES, réside dans le fait qu'une ingénieuse proposition sociotechnique aboutit rapidement à la réalisation matérielle de l'objet, à sa duplication et à une offre commerciale. En effet, Girardier dirige et possède une PMI, les Établissements Pierre Mengin, qui lui permet d'entreprendre une diversification solaire. Comparativement, des expérimentations solaires d'Augustin Mouchot (à partir de 1860)[263] et des dispositifs solaires inspirés par les technologies frigoristes de son contemporain Charles Louis Abel Tellier[264], jusqu'à la station de pompage de l'Américain Shuman en Égypte à la veille de la Première Guerre mondiale (*cf. infra*), il manque peut-être à ces pionniers du solaire[265] un outil de production industriel personnel suffisamment solide leur permettant de fabriquer directement leur invention pour la diffuser. Comme nous l'avons indiqué dans notre introduction générale, l'historiographie du solaire thermodynamique basse température dont nous disposons ne permet pas pour le moment de répondre complètement à cette question, puisqu'aucune étude académique approfondie ne formule cette hypothèse. Cependant, nous pensons qu'elle mérite d'être énoncée car Girardier, qui est un petit industriel, prolonge la trajectoire sociotechnique de Mouchot, Tellier et Shuman. En ce sens, il semble logique de se demander pourquoi Girardier réussit à produire un objet technique solaire là où ses prédécesseurs n'y parviennent pas, alors qu'il ne fait, comme nous allons le voir, que reprendre un concept qui lui préexiste. D'où la nécessité de mieux identifier son outil industriel afin d'en évaluer ensuite le rôle dans l'existence des installations solaires de la SOFRETES.

Par ailleurs, dans les années 1940-1960, d'autres expérimentateurs développent en France et dans les colonies des dispositifs solaires qui appartiennent à une autre trajectoire sociotechnique, celle des hautes températures, et qui ne connaissent pas non

[263] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2023.
[264] CAILLE Frédéric, MOUTHON Alexandre, *op. cit*., 2020.
[265] CAILLE, Frédéric, *op.cit*. 2017, 2018, 2020.

plus de débouchés industriels. En France, après la Seconde Guerre mondiale, la recherche publique (CNRS, universités, l'EDF) conduit certaines expérimentations sur la chaleur solaire. Félix Trombe au CNRS en Métropole et Marcel Perrot à l'université en Algérie (puis à Marseille) sont des chercheurs, ils ne possèdent pas d'usine[266]. Trombe travaille principalement sur des dispositifs gigantesques servant à générer de très hautes températures pouvant intéresser les domaines de l'aéronautique, de l'aérospatiale et de la Défense, à travers leurs potentiels de transformation des solides (métaux rares, réfractaires, etc.)[267]. Trombe développe des applications de la transformation de la chaleur solaire destinées à satisfaire certains besoins quotidiens des populations, tel le chauffage des locaux et la réfrigération, mais de façon marginale, c'est-à-dire comme des « à côté » aux objectifs pour lesquels il bénéficie des fonds de la recherche publique du CNRS. Trombe n'est pas en mesure de lancer par lui-même une production industrielle, ni même de l'initier, comme le prouve la postérité du « mur Trombe » en architecture, lequel ne dépasse guère le stade de l'installation de démonstration dans le périmètre d'un laboratoire[268]. Il en est de même pour Perrot. En Algérie, ses essais de dispositifs de four et de concentration solaire sont assignés à la production d'engrais. Mais là encore, Perrot ne possède pas ses propres moyens de production et aucune usine ne commercialise des engrais fabriqués grâce à de la chaleur solaire concentrée. L'exemple de Trombe et de Perrot rappelle cette donnée fondamentale dans l'histoire des expérimentations solaires de transformation de la chaleur : la plupart des pionniers du XIX^{e} siècle et leurs continuateurs du XX^{e} siècle ne sont que très rarement des industriels.

Les applications solaires issues de la recherche publique semblent donc dépendantes de la volonté et de la capacité des ministères et des administrations concernées (Enseignement supérieur, Recherche et Industrie par exemple) à les industrialiser en les transférant (par le biais d'exploitation de brevets par exemple ou de sociétés d'économie mixte) aux acteurs sectoriels, privés ou publics (de

[266] PEHLIVANIAN, Sophie, *op. cit*., 2014.
[267] *Ibid* ; TEISSIER, Pierre, « Fours et maisons solaires de Mont-Louis-Odeillo. Interstices, intersciences et internationalismes de la recherche contemporaine », *in* LE GARS Stéphane, BOISTEL Guy, *Dans le champ solaire. Cartographie d'un objet scientifique*, Paris, Éditions Hermann, 2015, pp. 181-219 ; TEISSIER, Pierre, *Une histoire de la chimie du solide. Synthèses, formes, identités*, Paris, Éditions Hermann, 2014 ; TEISSIER, Pierre, « Le solaire passif à l'ombre de la politique énergétique française, 1945-1986 », *Annales historiques de l'électricité*, Les politiques publiques de l'énergie solaire, n°11, 2013/1, pp. 11-25.
[268] Lire par exemple : CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op. cit*., 2012, « Les pionniers de l'architecture solaire en France », pp. 66-115.

l'électromécanique par exemple). Inversement, certains expérimentateurs solaires tels Ericsson[269] aux États-Unis ou George Claude en France (voir ci-après) sont, comme Girardier, des ingénieurs et des entrepreneurs qui peuvent se saisir de leur outil industriel pour diffuser leur invention, en l'occurrence ici celle d'un convertisseur thermodynamique solaire à basse température (un moteur solaire) et non pas un convertisseur de hautes températures comme un four à concentration. Quant à tous les autres inventeurs, ingénieurs-artisans très entrepreneurs, dont les travaux ne sont pas soutenus par une recherche publique et qui ne bénéficient pas d'une renommée industrielle antérieure, nous en ignorons l'histoire réelle, comme celle de l'entreprise italienne SOMOR (dans les années 1930-1960) sur laquelle nous reviendrons. Il est intéressant de relever quelques similitudes entre la proposition sociotechnique de Claude et celle de Girardier, car comme nous le verrons plus en détails, elles appartiennent à la même trajectoire technique et des acteurs leurs sont communs. Ce rapprochement établit également une certaine continuité dans notre réflexion initiale sur l'importance ou non à accorder aux moyens à la disposition d'un promoteur d'une solution solaire dans l'analyse d'un processus d'innovation, notamment dans l'identification des obstacles et de la responsabilité des pouvoirs publics.

Dans l'Entre-deux-guerres, George Claude est un riche industriel, le fondateur-administrateur d'Air liquide[270]. Sa fortune, ses moyens, sa renommée, son réseau de relations, l'autorisent à fabriquer un prototype de centrale thermodynamique basse température qui convertit le différentiel thermique entre les eaux de surface et les eaux profondes des mers. Les points communs entre son projet et celui de Girardier sont surprenants : le même principe thermodynamique de la transformation d'un gradient naturel existant[271] ; des essais en zone tropicale (d'abord à Cuba dans les années 1930,

[269] John Ericsson (1803-1889) est un ingénieur américain d'origine suédoise. Les raisons pour lesquelles les activités solaires d'Ericsson restèrent en jachère ne sont pas clairement établies. Vraisemblablement, le célèbre ingénieur-entrepreneur se lança dans des conceptions solaires à la fin de sa vie dans l'intimité d'une méfiance grandissante. CAILLE, Frédéric, *op. cit*., à paraître. Pour découvrir l'intérêt renouvelé pour certains moteurs inventés par Ericsson lire : BONNET, Sébastien, « Moteurs thermiques à apport de chaleur externe : étude d'un moteur STRIRLING et d'un moteur ERICSSON », thèse de doctorat en énergétique, sous la direction de STOUFFS, Pascal, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2005.

[270] George Claude (1870-1960). BAILLOT, Rémi, *Georges Claude. Le génie foudroyé*, EDP Sciences, 2010.

[271] Comme nous l'avons signalé, les dispositifs techniques qui s'emparent de ce principe sont très nombreux depuis le XIX^{e} siècle. Dans les années 1940 par exemple, Barbey propose à l'administration vichyste, qui le soutient, un dispositif de conversion thermodynamique de la chaleur solaire (du gradient différentiel jour/nuit) à basse température, d'abord pour les colonies sahariennes, puis pour la Métropole, entre 1941 et

puis en Afrique de l'Ouest une décennie plus tard) ; une existence dans le temps court avec la création en 1948 d'une entreprise au capital mixte, L'Énergie des Mers, dont le Directeur Général, André Nizery (un agent de l'EDF, polytechnicien, membre du corps des Pont et Chaussées) soutient en parallèle les expérimentations solaires de Masson à Dakar en les intégrant à la R&D du projet de Claude ; enfin, des partenaires publics et privés de nature commune (Rateau, Escher-Wyss, la SACM d'Alsthom, EDF *via* l'IGUFE, l'administration centrale coloniale, les autorités coloniales de l'A.O.F, etc.). Nonobstant, le convertisseur proposé est un objet industriel de grande taille dont l'objectif est de servir les intérêts des colons, des industriels français, de l'État colonial, et c'est l'idée de « centrale » qui guide Claude (et L'EDF) et non pas celle de la réalisation de petites stations simples, robustes et appropriables. Là encore, il conviendrait de mener des études approfondies sur l'action publique et les relations de pouvoir qui accompagnèrent l'arrêt des tentatives de Claude, puis la liquidation de l'Énergie des Mers en 1958, pour mieux comprendre pourquoi un tel industriel (déjà âgé de 60 ans en 1930) ne fut pas en mesure de diffuser sa proposition technique[272]. Les projets thermodynamiques de Claude et de l'Énergie des Mers, non seulement se présentent comme de grands dispositifs nécessitant de gigantesques infrastructures de fonctionnement, mais ils sont également portés par la grande industrie, par des groupes industriels très capitalistiques, des leaders sectoriels semi-privés de l'électromécanique. Une telle configuration d'acteurs (qui est aussi celle de la SOFRETES) et autant de rapports de force, est-elle favorable au développement d'une sociotechnique alternative d'autant plus que, très concrètement, l'outil industriel de l'inventeur est bien disponible[273] ? Inversement, du moins au départ, Jean-Pierre Girardier possède une PMI, un moyen de production souffrant de moins d'inertie qu'une grande entreprise, qui peut lui obéir sans trop avoir à réguler des rapports de force en Conseil d'administration. L'outil industriel semble correspondre à la mesure de la proposition sociotechnique

1944 : production d'électricité, de glace et de force motrice pour le pompage par exemple. Marrec tente d'identifier quelques éléments de l'histoire de ce projet (MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, pp. 402-404) qui mériterait un traitement très approfondi.

[272] A notre connaissance peu de travaux académiques sont disponibles à part : BARBIER, Paul, « De d'Arsonval à l'OTEC (1881-1986) : un siècle de recherches sur l'énergie thermique des mers », *Bulletin d'histoire de l'électricité*, n°35, 2000, pp. 19–36 ; RAMUNNI, Girolamo, « Le problème de l'économie d'énergie et les grands projets techniques de l'entre-deux-guerres. L'utilisation de l'énergie des mers », *Bulletin d'histoire de l'électricité*, n° 5, 1985.

[273] Marrec écrit que Claude est progressivement « dépossédé » de son projet par les agents des grands corps et les industriels partenaires. MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, p. 399.

alternative. Autrement dit, les moyens facilitent peut-être la fin, alors que dans le cas de Claude et de l'Énergie des Mers, si les moyens mobilisables sont comparativement bien plus grands, que l'État est l'actionnaire décisionnel et que l'EDF pilote le projet (la R&D et son administration), ils ne semblent pas permettre d'atteindre la fin puisqu'elle ne se réalise pas. Nous sommes donc face à une question de fond qui traverse toute notre thèse : y-a-t-il réellement une volonté politique de convertir un faible gradient de température naturelle ou industrielle en force mécanique ?

Si, comme nous le montrerons plus loin, à partir de 1973, la création de la SOFRETES suit une logique d'économie mixte et qu'elle se retrouve elle aussi très rapidement investie par des intérêts favorables au *statu quo* fossile, et abandonnée par les pouvoirs publics, la première décennie des activités solaires (1960-1973) de Jean-Pierre Girardier mérite une attention particulière en ce qu'elle donne accès aux éléments initiaux sur lesquels repose l'entreprise solaire : la genèse de la machine, la collaboration université-industrie, des relations institutionnelles (agents et administrations) et des moyens de production industrielle. Les caractéristiques de l'outil industriel mis à la disposition de l'invention permettent de comprendre ce que l'ingénieur doit à l'entrepreneur, et *vice et versa*, puisque les deux acteurs sont ici réunis dans une même figure. L'objectif est d'apprécier la viabilité des Etablissements Pierre Mengin, la PMI familiale issue d'un secteur traditionnel dont Girardier prend la direction en lui impulsant un virage solaire, ainsi que la place qu'occupe déjà l'invention, la diversification et l'exportation dans son histoire[274]. Ce portrait sociohistorique de la maison mère de la future SOFRETES (les moyens) nous permet dans un second temps de replacer la rencontre entre l'ingénieur Girardier (tout juste entrepreneur) et le chercheur solaire Masson (bientôt administrateur de la PMI), en Afrique, dans le contexte des expérimentations solaires du début des années 1950, et d'approfondir l'identification de certains éléments de continuité avec celles de Claude sur l'Énergie des Mers. En effet, les convergences et les continuités sont fortes : le chercheur solaire Masson est intégré au projet de l'Énergie des Mers en Afrique par un agent de l'EDF, puis il intègre à son tour Girardier dans la trajectoire technique du solaire thermodynamique basse température,

[274] Il nous est possible de reconstituer l'histoire des Établissements Pierre Mengin grâce à l'étude de ses statuts et de leur évolution, de leur documentation administrative (compte-rendu du Conseil d'administration, comptabilité, etc.) et technico-commerciale (catalogues, prospectus, plans, photographies, etc.), ainsi que des archives personnelles de la famille Girardier.

avant que ce soit à Girardier d'intégrer Masson (et donc tout ce qu'il véhicule) aux Etablissements Pierre Mengin qui se diversifient en fabricant un objet solaire industrialisable.

En 1956, lorsque Jean-Pierre Girardier effectue, à l'âge de 21 ans, son premier stage dans l'usine Mengin, les Établissements Pierre Mengin sont une Société anonyme au capital de 24 160 000 Francs[275]. L'entreprise est connue à travers sa marque déposée « L'hydro-pompe Mengin ». Son activité industrielle se répartit sur quatre secteurs. Premièrement, l'hydraulique. Le catalogue propose des pompes pour puits profonds : hydro-pompe à commande hydraulique, pompes à pistons, pompes centrifuges et verticales, pompes à hélice, pompes dilacératrices, pompes d'épreuve, pompes à haute pression. Ces dispositifs, électriques ou Diésel, peuvent équiper des stations de pompage pour eaux propres et pour eaux d'égout. Deuxièmement, la mécanique générale. Troisièmement, le décolletage, notamment pour l'industrie aéronautique. Enfin, la chaudronnerie et la soudure appliquées à la fabrication de bâtis soudés et de réservoirs.

Les premiers documents que nous possédons sur Pierre (1874-1933) et Émile (né en 1907) Mengin, nous permettent d'identifier le premier atelier « Mengin frères » à Montargis à l'adresse du 220 Rue Paul-Doumer (qui porte désormais le nom d'Émile Mengin). Pierre Mengin est Administrateur de la Banque de France, Président du Conseil des Prud'hommes, et son père fut « ami de Gustave Eiffel, pour qui il fabriqua les pompes vérins d'équilibrage de la tour parisienne »[276]. Il dirige la société avec son frère Roger

[275] Nous sommes en mesure de reconstituer l'itinéraire professionnel de Jean-Pierre Girardier à travers ses témoignages, écrits (2010) et oraux (2015-2016), son livre-entretien *L'homme qui croyait au soleil* (avec Jean-Pierre Renau, journaliste à *La Vie catholique*) publié en 1979, et ses archives personnelles. Jean-Pierre Girardier naît le 14 février 1934 à Dole (Jura) dans une famille de notables (industriels par sa mère, notaires par son père). Comme le rappelle un article du *Progrès* de Lyon le 24 octobre 1999 à l'occasion de la fin du mandat de Jean-Pierre Girardier à la tête de l'Institut Claude-Nicolas Ledoux qui assure l'administration de la Saline Royale d'Arc et Senans : « Né à Dole le 14 février 1934, où son père et son grand-père étaient notaires, Jean-Pierre Girardier cultive de solides racines franc-comtoises. Adelaïde Girardier était la belle-sœur de Proudhon et Jean-Denis Girardier était représentant du Doubs à la Fête de la Fédération en 1793. Les premiers papiers de la famille, originaire d'Athose, dans le Doubs, remontent à 1510. Nous sommes des roturiers depuis toujours et fiers de l'être, un peu cabochards ». » Il suit ses études supérieures, d'abord à Besançon, au Lycée Victor Hugo, en classe préparatoire Mathématiques supérieures et Mathématiques spéciales, de 1953 à 1956, puis à l'École polytechnique de Zurich de 1956 à 1960, où il est assistant de mécanique pendant sa dernière année. Il effectue plusieurs stages en industrie à l'usine Mengin (1956-1957) et à Neyrpic Grenoble (en constructions mécaniques et hydrauliques en 1959).

[276] CAILLE, Frédéric, *op. cit.*, 2017 ; https://www.toureiffel.paris/fr/actualites/130-ans/la-tour-eiffel-est-elle-montee-sur-verins ; https://www.merveilles-du-monde.com/Tour-Eiffel/Construction-des-piliers-de-la-tour-Eiffel.php

jusque dans les années 1930. Les premiers brevets des frères Mengin datent de 1910-1920[277].

Sur une carte-postale de 1914 des « Ateliers Mengin pendant la Guerre », les réclames de la devanture indiquent : « Ingénieurs constructeurs – Acétylène, Électricité, Mécanique, Hydraulique, Chauffage central ». Au premier plan, les ouvriers sont assis sur des caisses en bois étiquetées « aviation militaire » qui renferment des tendeurs pour les avions de la Première Guerre mondiale.

Dans l'Entre-deux-guerres, Pierre Mengin développe l'entreprise familiale sous la forme d'une SA à partir du 29 juillet 1924, et ce pour 99 ans (l'entreprise, toujours active à l'heure où nous écrivons ces lignes, pourrait disparaître en 2023). La société a pour objet : « La fabrication, la vente, la réparation de matériel hydraulique, de pièces détachées d'avions et de bicyclettes, et de tous appareils se rattachant à l'Industrie Mécanique, et généralement toutes opérations commerciales, industrielles, mobilières, immobilières et financières se rattachant directement ou indirectement en totalité ou en partie à l'un quelconque des objets ci-dessus spécifiés ou tous objets similaires ou connexes »[278].

En 1932, la société, au capital de 500 000 Francs, propose un nouveau dispositif de commande à distance inventé par Pierre Mengin. Il s'agit de deux appareils dont l'utilisation peut être couplée pour une meilleure exploitation des installations hydrauliques. Le premier, le Dycomètre, permet de mesurer à distance les niveaux d'eau et de toutes variations dans les pressions des fluides[279]. L'objectif est de proposer sur le marché des indicateurs de niveau de réservoir, un instrument de construction extrêmement simple, ne nécessitant rigoureusement aucun entretien, peu coûteux et consommant une quantité « imperceptible » d'électricité. Le second appareillage est le Servo-contacteur. Il provoque à grande distance la mise en marche et l'arrêt de pompes de tous systèmes. Il s'agit donc d'un automatisme. Ces objets techniques et l'esprit d'invention qui les anime sont tout à fait semblables à ceux qui portent le projet solaire Mengin-SOFRETES au début des années 1970.

---

[277] Concernant les brevets des Établissements Pierre Mengin, voir notre catalogue de sources. En 1909, un certain Max Louis Antonin Mengin dépose une demande de brevet pour un générateur d'acétylène. Nous n'avons pas la certitude qu'il s'agisse d'un membre de la famille de Pierre et Roger Mengin. Le premier brevet qui porte la dénomination « Mengin Frères » est le brevet n°418938D, du 22 décembre 1910.
[278] *Status de la société*, p. 1., archives privées fonds usine Mengin.
[279] Brevet n°723974, 18 avril 1932.

Pendant la Seconde Guerre mondiale, Émile Mengin, qui, avant le conflit est « Administrateur Délégué des établissements Pierre Mengin, ingénieur chargé de la direction des études et des lancements de fabrication » (Émile est admis membre de la Société des ingénieurs civils de France en 1934), est affecté, comme lieutenant de réserve, au bon fonctionnement de l'entreprise sur la demande du Directeur général, M. Renaud[280], afin d'assurer « la mise en œuvre de nos fabrications de Guerre, pour l'aéronautique et l'armement »[281].

En effet, dans les années 1930, en parallèle à ses productions d'hydropompe pour l'adduction d'eau potable (individuelle ou collective, domestique ou industrielle) dans les communes et les villes de France (l'activité « assainissement » se développe progressivement pour devenir première après l'achèvement des réseaux d'eau potable dans les années 1960[282]), les Établissements Pierre Mengin fabriquent des moteurs d'avion à hélice (le turboréacteur est mis au point pendant la Seconde Guerre mondiale).

Le 3 septembre 1935, Camille Blaisot, Sous-Secrétaire d'État à la Présidence du Conseil (Affaires étrangères)[283], adresse une lettre à Madame Mengin. Ami de la famille, il intercède à sa demande auprès du Général Victor Denain[284], alors ministre de l'Air, en faveur des moteurs René Poinsard, usinés dans les Établissements Pierre Mengin. Il s'agit de moteurs conçus pour l'aviation légère[285]. En 1936, les usines Mengin proposent trois moteurs Poinsard à 4 temps, de 2 ou 3 cylindres, pour des puissances allant de 25 CV à 40 CV. Ces moteurs équipent les célèbres Pou-du-ciel de Henri Mignet (Mignet propose au plus grand nombre ses avions en auto-construction)[286]. Ils bénéficient également de la

[280] Renaud est embauché par la fille de Pierre Mengin en 1938. La mère de Jean-Pierre Girardier reste Présidente du Conseil d'administration jusque dans les années 1970. Renaud prend sa retraite en 1967, laissant ainsi sa place à Jean-Pierre Girardier.
[281] Formulaire administratif « État des officiers de réserve de l'Armée de terre, Affectation spéciale », archives personnelles de Jean-Pierre Girardier.
[282] Dans les années 1960, la Ville de Paris entreprend d'étendre son alimentation en eau potable aux Vals de Loire. Les Établissements Pierre Mengin sont choisis pour mettre au point un matériel spécifique (pompes à commandes hydrauliques Diesel sur chariot mobile avec treuil) que nécessitent les chantiers de forage des études préliminaires au futur réseau de captage. « Travaux d'épuisement des Vals de Loire », *Science et Industrie*, sans date, p. 256. Journal Officiel de la République française, Débats parlementaires, Sénat, 10 décembre 1960, pp. 2314-2326.
[283] Camille Blaisot est Sous-Secrétaire d'État à la Présidence du Conseil (Affaires étrangères) du 7 juin 1935 au 24 janvier 1936 dans le gouvernement Laval 4. Albert Lebrun est Chef d'État.
[284] Le Général Victor Denain est ministre de l'Air du 9 février 1934 au 24 janvier 1936.
[285] « Moteurs René Poinsard », *La Nature*, n°2968, 01 janvier 1936, p. 125.
[286] https://www.youtube.com/watch?v=x2wN_e_Ywb0 ; http://pouguide.org/index.html ; http://pouguide.org/moteur-poinsard.html

renommée du Capitaine Thoret (originaire de Dôle comme les Girardier), pionnier des vols en conditions extrêmes (vents rabattants)[287]. Enfin, au palmarès aéronautique venté par les brochures des moteurs Mengin s'ajoutent les performances des avions légers Taupin. La singularité de ces appareils est qu'ils sont construis à Hussein-Dey en Algérie à partir de 1938[288]. Cependant, la guerre affaiblit considérablement l'entreprise et sa diversification dans l'aéronautique se limite désormais aux petites pièces d'accessoires, sans pour autant que le savoir-faire et l'intérêt du motoriste ne se perde.

Au début des années 1950, les résultats de la société sont très favorables, les bilans sont solides[289]. De 1950 à 1951 par exemple, les marchés de pompes passés avec les administrations et les communes augmentent très fortement. Il en est de même pour la production de mécanique générale, de chaudronnerie, de décolletage (une commande des automobiles Panhard) et surtout pour les tendeurs d'avions. L'entreprise investit en contractant un emprunt à la Société Générale pour équiper l'usine de nouvelles machines-outils. La société emploie 64 ouvriers et employés à l'heure, et 22 employés au mois. L'activité de R&D s'oriente principalement vers les pompes d'assainissement, eut égard aux perspectives d'un marché national florissant.

Les deux décennies qui suivirent (1950-1960) sont marquées par un essor du secteur de l'assainissement, en France métropolitaine, dans les colonies et à l'étranger. L'étude de la comptabilité des Établissements Pierre Mengin nous permet de dresser une carte des exportations[290].

L'usine fabrique et fait acheminer ses pompes dans les colonies françaises d'Afrique du Nord, de l'A.O.F. et de l'A.E.F., puis dans les États nés des Indépendances. Leurs clients peuvent être des entreprises coloniales (compagnies agricoles et agro-industrielles comme Lesieur au Sénégal ou la Compagnie cotonnière équatoriale française à Fort-Lamy au Tchad) ou des administrations telle la base militaire d'essais atomiques de Reggane en Algérie. L'*US Army* commande du matériel pour ses

[287] PASTRE Lionel, *Thoret Tempête : Pionnier de l'air devenu artiste. Biographie de Joseph Thoret (1892-1971)*, Fos-sur-Mer, L. Pastre, 2014, 272 p.
[288] « Le premier avion construit à Alger a pris son vil hier à Hussein-Dey », *L'Écho d'Alger*, 05 juillet 1938 ; http://hussein-dey-forever.over-blog.com/2018/07/1938-l-avion-taupin-voit-le-jour-a-hussein-dey.html
[289] Les données qui suivent sont issues du compte-rendu du Conseil d'administration du 30 juin 1951, archives personnelles de Jean-Pierre Girardier.
[290] Livre des exportations des Établissements Pierre Mengin de 1959 à 1980, archives privées fonds usine Mengin.

installations en France (Orléans, Paris) et également pour l'État-Major des Forces Alliées Centre-Europe. La société de Montargis est également présente au Cambodge, à Téhéran (commande de l'Université), au Liban, en Israël, en Jordanie, en Turquie, au Portugal, en Belgique, en Hollande, etc.

Lorsque Jean-Pierre Girardier, ingénieur hydraulicien et mécanicien, alors âgé de 30 ans, prend ses fonctions de Directeur technique des Établissements Pierre Mengin en 1964 (il est Directeur général en 1967), l'entreprise est donc bien enracinée dans le secteur de la mécanique et de l'hydraulique, héritière des savoir-faire et de l'esprit pionnier d'invention de ses fondateurs et de leurs intérêts pour la diversification industrielle tournée vers les usages pour le plus grand nombre au moyen de dispositifs simples et robustes. L'usine est bien équipée, l'effectif des ouvriers et des employés est en croissance, tout comme le sont les commandes, le chiffre d'affaires, le capital et les bénéfices. Et pour compléter ce tableau d'un outil industriel clef-en-main pour l'ingénieur-entrepreneur solaire en devenir, en ce début des années 1960, les Établissements Pierre Mengin sont également une société à l'export, habituée à commercer avec l'Afrique et le Moyen-Orient.

2. Le solaire au laboratoire africain : convergences et divergences d'idées, d'institutions et d'intérêts

Quand Jean-Pierre Girardier rencontre à Dakar le professeur Henri Masson, il découvre par son intermédiaire les convertisseurs solaires et les possibles réalisations qu'une collaboration recherche-industrie peut permette en utilisant son usine en métropole[291]. Premièrement, comme nous allons le voir, les travaux et les connaissances

[291] En 1961, appelé sous les drapeaux, Girardier débute son service militaire en Algérie, pour le terminer au Sénégal comme professeur dans le secondaire, avec le grade de Lieutenant. Il enseigne d'abord les mathématiques au Collège de Saint-Louis du Sénégal d'octobre 1961 à février 1962, avant de rejoindre le lycée Van Vollenhoven de Dakar comme professeur de physique. Il rencontre au sein de la communauté des expatriés, le professeur Henri Masson, avec qui il entreprend sur son temps libre la conception et la fabrication d'une pompe solaire. En juin 1962, il obtient l'autorisation du ministère de l'Éducation nationale du Sénégal, sur recommandation du Doyen de la faculté des Sciences, Henri Masson, de travailler à l'IPM de Dakar pendant les congés d'été, à condition de réintégrer ses fonctions dans l'enseignement secondaire à la rentrée 1962. A son retour en Métropole quelques mois plus tard, l'entreprise suisse de turbines hydrauliques Escher Wyss l'embauche dans son centre de recherches du 15 novembre 1962 au 31 décembre 1963. C'est pendant cette période qu'il soutient sa thèse de doctorat en Physique à l'Université de Dakar. Nous développons dans les pages qui suivent la période de sa vie professionnelle qui débute en 1962 avec sa rencontre avec le professeur Henri Masson.

de Masson, continuateur des pionniers du XIX[e] siècle, permettent à Girardier d'accéder aux expérimentations solaires du passé et notamment à celles qui se déroulèrent sur le sol africain. Ainsi, ils prennent ensemble une trajectoire technique qui leurs préexiste de loin. Deuxièmement, la participation de Masson aux grandes rencontres scientifiques internationales de la communauté savante solaire, autorise, d'une part, la mobilisation des savoirs et des savoir-faire échangés, et d'autre part, une potentielle visibilité à leurs essais. Troisièmement, le réseau de relations de Masson raccroche Girardier aux institutions de la Recherche nationale et à l'administration de l'Outre-Mer. Quatrièmement, le laboratoire solaire de Masson, l'Institut de Physique Météorologique (IPM) de Dakar, offre un ancrage africain local fort à une proposition sociotechnique dont l'objectif est d'intégrer les populations à sa réalisation. Ainsi, la science et la technique ne sont pas absentes d'Afrique bien que les représentations diffusées par les organisations internationales qui accompagnent l'aide publique au développement en font un territoire a-technique, vierge de toutes dynamiques intrinsèques de progrès[292].

Dans les années 1950-1960, la figure solaire d'Henri Masson est un trait d'union entre le solaire en Afrique, le solaire à l'international et l'administration française des expérimentations des transformations de la chaleur solaire dans les colonies. Ses essais techniques, ses interventions dans les conférences scientifiques internationales et ses contributions écrites, renseignent la synergie d'idées, d'actions et d'acteurs, qui prolongent, jusqu'au projet industriel de Girardier, la trajectoire sociotechnique de l'accès à une capacité de transformation des gradients naturels de températures. La singularité de la très discrète et oubliée participation de Masson au *continuum* solaire (technique et politique) des dispositifs conçus et installés par Mouchot, Tellier, Shuman, et Claude (pour ne citer qu'eux), réside bien dans l'existence africaine de son laboratoire, qui ancre la proposition sociotechnique d'une conversion thermodynamique basse température dans la zone aride saharo-sahélienne. Elle n'y est pas exportée *ex nihilo* pour répondre à un désir de domination très colonial par l'exercice d'un pouvoir central.

La nécrologie d'Henri Masson (1906-1972), publiée dans le numéro d'avril 1973 de la *Revue internationale d'héliotechnique* de la Coopération méditerranéenne pour l'énergie solaire (COMPLES)[293] lui rend hommage au nom de la communauté

[292] HECHT, Gabrielle, *op. cit*., 2016 ; MENDE, Tibor, *op. cit*., 1975.
[293] Sur la COMPLES lire les éléments empiriques apportés par Pehlivanian et Marrec. PEHLIVANIAN, Sophie, 2014, *op. cit*., pp. 130-154 ; MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, pp. 506-510.

scientifique solaire internationale. Son rôle de pionnier en Afrique est reconnu tout comme sa renommée mondiale. Le texte insiste sur l'importance de ses dernières réalisations arrivées au stade industriel :

> Depuis plus de dix ans, il travaillait à la mise au point de moteurs solaires à collecteurs plans, dont il s'était fait l'ardent propagandiste : ces travaux ont porté leurs fruits puisque actuellement non seulement plusieurs prototypes ont été construits et expérimentés à Dakar et ailleurs, mais encore ces dispositifs ont reçu un commencement de développement industriel, et plusieurs installations de pompage mues par les procédés solaires étudiés par Masson, sont opérationnelles au Niger, en Haute-Volta ou en voie d'implantation en Mauritanie notamment[294].

Le rôle joué par Girardier est absent. Est-ce un oubli, par une communauté très académique d'un ingénieur-entrepreneur qui n'en fait pas partie ?

2.1 Des petits moteurs solaires pour les zones arides

Le professeur de physique de Lycée Henri Masson rejoint le Sénégal en 1942 comme prisonnier évadé pendant l'Occupation[295]. De Saint-Louis à Dakar, il entreprend, en parallèle à son service d'enseignement du secondaire, des recherches de doctorat sur les phénomènes atmosphériques, notamment météorologiques, telle la rosée, persuadé qu'il convient de mettre au point des appareils adaptés aux conditions environnementales et sociales des populations peuplant les zones arides, déshéritées et isolées, des pays dits du tiers-monde, afin de leur permettre d'accéder prioritairement à une eau sanitaire.

A la fin des années 1940 et au début des années 1950, il enseigne à l'Institut des Hautes Études de Dakar tout en poursuivant des recherches sur la distillation solaire. Cet objectif l'amène à considérer la captation rudimentaire à plat de la chaleur solaire comme le cœur du dispositif.

---

[294] "Nécrologie d'Henri Masson (1906-1972) », *Revue internationale d'héliotechnique* de la Coopération méditerranéenne pour l'énergie solaire (COMPLES), avril 1973, p. 64.

[295] « Né à Calais, le 23 mai 1906, il fut tout d'abord, après avoir été le plus jeune bachelier de France en 1921, Professeur au lycée de Metz jusqu'à la guerre de 1939 où, mobilisé, prisonnier, puis évadé, il rejoint Dakar. Professeur au Lycée Faidherbe dans cette ville, il entreprend des recherches, passe une Thèse de Doctorat de Sciences Physiques puis obtient un poste à l'Université de Dakar dont il devient le Doyen de la Faculté des Sciences en 1958. Il fonde successivement l'Institut de Physique Météorologique puis l'Institut Universitaire de Technologie qu'il dirige jusqu'en 1970, date à laquelle il est nommé Président de l'Université de Brazzaville et chargé de la constitution d'un ensemble universitaire du Centre-Afrique », *Ibid.*

A la même époque, Claude relance auprès du gouvernement de collaboration vichyste son projet de l'Entre-deux guerres de conversion thermodynamique de la différence naturelle de température entre les eaux chaudes de surface des mers et celles, plus froides, des profondeurs, afin de produire de la force mécanique qui est transformée à son tour en électricité, en eau douce puisée et en froid[296]. Comme nous l'avons déjà écrit, certains éléments de cette opération la rattachent à notre propre étude. Non seulement les principes physico-chimiques et technologiques sont les mêmes que ceux convoqués par Mouchot, Tellier, Shuman (etc.), Girardier puis la SOFRETES, mais c'est par le biais de ce projet que Masson est intégré au réseau de l'administration de la Recherche nationale solaire en Outre-Mer. Il est donc nécessaire d'en détailler certaines étapes et d'en identifier les acteurs et les dispositifs afin de clarifier la configuration d'idées, d'institutions et d'intérêts antérieure qui forme le *continuum* dans lequel Masson d'abord, puis Girardier, en arrivent à proposer un petit moteur solaire pour les zones arides.

En 1941, l'« Organisme d'étude d'une station d'énergie thermique des mers en Côte d'Ivoire » est créé « reprenant la réalisation des idées de d'Arsonval, de Boucherot et de George Claude après les tentatives sans lendemain de ce dernier en 1929 et 1934 »[297]. André Nizery (1907-1954), un polytechnicien-ingénieur des Ponts et Chaussées, dirige les recherches à partir de 1942, tout en s'engageant dans la Résistance[298]. Le projet évolue vite pour se voir également envisagé à Dakar (et partout ailleurs où les conditions de sa mise en œuvre sont réunies), où sont menées en parallèle des expérimentations sur le préchauffage solaire des eaux de surfaces au Centre d'essais industriels du Gouvernement général de l'A.O.F., selon un procédé inspiré par les essais de l'Entre-deux-guerres du médecin militaire Barjot, afin d'élever la température de la source chaude dans un dispositif de conversion thermodynamique d'un gradient de températures naturelles[299]. Il s'agit de permettre l'usage d'une telle installation (flottante

[296] Marrec écrit l'histoire de cet épisode de 1940 à 1958. MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, pp. 390-399.
[297] Nécrologie officielle d'André Nizery, Haut-fonctionnaire de l'État, p. 8. Ce document, publié à l'occasion de son décès, fut remis à Frédéric Caille par sa fille. S'exprimant sur les rapports que son père entretint avec EDF, elle mentionna le fait que cette dernière ne soutint pas complètement son père dans la réalisation du projet de station thermique des mers et qu'il dut faire face à bien des obstacles internes.
[298] *Ibid*., p. 8.
[299] Barjot travaille également sur la conversion thermodynamique des faibles gradients naturels. Sa proposition de 1928 d'appliquer ce principe aux latitudes polaires est emblématique de l'intérêt social de ce principe physique. Il permet de bien saisir que la question ne repose pas sur la chaleur au sens de la chaleur ressentie par le corps humain et perçue comme telle, mais bien par la chaleur comme écart entre

ou littorale) avec un meilleur rendement, mais surtout de l'envisager à de plus hautes latitudes. Dit autrement, cette technologie n'est pas contrainte et limitée, ni par fatalité, ni par nature, à n'être envisagée que pour les côtes africaines intertropicales. Le dispositif propose donc, selon le choix de son dimensionnement, un potentiel d'accès à une conversion énergétique plus déconcentrée, voir plus décentralisée et autonome, pour les populations des périphéries dominées tout comme pour celles des démocraties occidentales.

En 1948, la faisabilité technique, industrielle et économique du projet est actée par le ministère de la France d'Outre-Mer, le CNRS, des agents des grands corps de l'État, et les partenariats industriels impliqués. Alors que pendant la Libération Nizery occupe le poste de Secrétaire Général de l'Office de la Recherche Scientifique Outre-Mer, de Directeur Général de la Société Hydrotechnique de France, puis à partir de 1946, de Directeur du Service des études et recherches hydrauliques d'EDF à Chatou, en 1948, il est nommé Directeur Général de la société d'économie mixte, l'Énergie des Mers, censée mettre enfin en œuvre un projet à l'étude depuis sept ans, désormais contrôlé par l'EDF. En effet, en plus de l'agent Nizery, l'EDF dédouble sa position dans le dossier par l'intermédiaire de son Inspection Générale de l'Union Française et de l'Étranger (IGUFE[300]), qui, sur financement du ministère de la France d'Outre-Mer (enveloppe FIDES), prend une participation au capital mixte de la société[301].

Sur le plan technique, la proposition se positionne parfaitement dans la continuité des dispositifs précédemment conçus par les expérimentateurs solaires pour fonctionner

---

deux températures, quelles qu'elles soient, même négatives. C'est là que se loge le potentiel alternatif (voire subversif) d'un dispositif solaire de cette nature ; MARREC, Anaël, *op. cit*. 2018, pp. 158-159, p. 163-166, p. 175-177, pp. 190-194, p. 209, p. 370, pp. 397-411, p. 511 ; LECORNU Léon présente BARJOT Henri, « Une énergie naturelle utilisable », Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, 1928 ; LECORNU Léon présente BARJOT Henri, « L'utilisation rationnelle de la chaleur solaire », Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, 1932 ; BARJOT, Henri, « L'utilisation rationnelle de la chaleur solaire », *La Nature*, n°2999, mars 1933, pp. 213–218 ; Brevet industriel d'Henri-Marie-René BARJOT, « Cycle et installation thermodynamique permettant de produire de l'énergie mécanique dans les régions désertiques tropicales par l'utilisation de la chaleur solaire », 25 juillet 1942, n°979510

[300] BELTRAN Alain, COUVREUX Jean-Paul, *Électricité de France, Cinquante ans d'histoire(s) à l'international*, Paris, Le Cherche-Midi Éditeur, 1996, pp.11-43 ; VARASCHIN, Denis, « EDF et l'Outre-mer, de 1946 au début des années 1960 », *Outre-mers*, tome 89, n°334-335, 2002, pp. 387-408 ; BELTRAN Alain, BOUNEAU Christophe, BOUVIER Yves, VARASCHIN Denis, WILLIOT Jean-Pierre (dir.), *État et énergie XIX^e^-XX^e^ siècle*, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Paris, IGPDE, 2009, pp. 57-96 ; MEHYONG Stéphane William, NDONG Robert Edgard, « L'électrification de l'Afrique équatoriale française (AEF) dans la période de l'Après-Seconde guerre mondiale : aménagements hydroélectriques et rivalités interterritoriales, *Revue historique*, PUF, n°657, 2011/1, pp. 93-118.

[301] MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, p. 426.

à des températures et des pressions beaucoup plus basses que celles sur lesquelles reposent les cycles thermodynamiques des centrales conventionnelles (charbon, pétrole). Ici le différentiel peut se limiter à 20°C. Ce sont Alsthom et Rateau qui fabriquent les éléments électromécaniques (extraction des gaz dissous et turbo-alternateur). Deux grands industriels qui seront les partenaires de la SOFRETES. Si la machine a pour objectif premier de convertir la (faible) chaleur en électricité, son fonctionnement offre des « *sous-produits* », des internalités positives en quelques sortes (les déchets !), telles de l'eau potable et de l'eau froide de climatisation, qui peuvent entrer dans la composition d'un « prix de revient »[302].

Dans les années 1930, Nizery supervise l'équipement du port de Dakar. Lorsqu'une décennie plus tard, il initie dans cette même capitale de l'A.O.F. qu'il connaît bien, des recherches sur des méthodes de captation à plat de la chaleur solaire sur de grandes surfaces, dans l'espoir d'en faire bénéficier la station d'énergie thermique des mers, il se tourne vers Masson et l'intègre au projet[303]. Au début des années 1950, alors que Nizery est nommé Directeur-Adjoint des Études et Recherches d'Électricité de France, les travaux de Masson entrent donc par la grande porte dans la veille solaire de l'administration centrale, coloniale, de l'EDF et des électromécaniciens français. Masson n'est plus pour les leaders sectoriels un expérimentateur inconnu dans une zone aride isolée sans visibilité.

Une étape supplémentaire est franchie quand Nizery intègre l'Unesco en 1953 en tant que membre du Comité consultatif (de recherche) sur les zones arides. La thèse de Chloé Maurel, « L'UNESCO de 1945 à 1974 », présente succinctement le Programme de recherche sur les zones arides et semi-arides que l'organisation internationale promeut à partir de 1951[304]. L'auteure raccroche le Programme sur les zones arides de l'UNESCO à l'idée d'une préoccupation environnementale, « il s'agit à la fois de protéger la nature contre les atteintes de l'homme, et de protéger l'homme contre les rigueurs et les caprices de la nature »[305]. Un thème spécifique est développé chaque année. En 1953, l'année où

[302] Nécrologie officielle d'André Nizery, *op. cit*., p. 9.
[303] Masson publie deux articles qui rendent compte de ses travaux à cette époque : MASSON, Henri, « Contribution à l'étude du réchauffement de l'eau sous l'effet de la radiation solaire », *Bulletin de l'Institut français d'Afrique noire*, tome 14, n°2, 1952, pp.389-404 ; MASSON, Henri, « La radiation solaire à Dakar », *Bulletin et Mémoires de l'École Nationale de Médecine et de Pharmacie de Dakar*, tome I, 1954.
[304] MAUREL, Chloé, « L'UNESCO de 1945 à 1974 », thèse de doctorat en histoire, sous la direction d'ORY, Pascal, Université Paris Panthéon-Sorbonne, 2006, pp. 946-954, pp. 954-973.
[305] *Ibid*., p. 954.

siège Nizery, les études se concentrent sur « la mise en valeur des sources d'énergie disponibles dans la zone aride »[306]. Elles trouvent leur issue dans l'organisation de rencontres scientifiques internationales, dans la publication de leurs actes, ainsi que dans d'autres projets éditoriaux (supports de communication, manuels de sensibilisation) et des partenariats avec des instituts de recherches nationaux (IFAN de Théodore Monod à Dakar) servant ainsi de relais locaux[307]. Aucune expérimentation concrète d'envergure ne semble être piloté. En 1953, Maurel mentionne l'organisation en Israël (un des sept pays leaders du programme[308]) d'un « colloque sur la conquête du désert »[309], mais elle ne fait pas référence au colloque de New Dehli qui, en 1954, rend compte des résultats de l'année 1953, consacré aux applications des sources d'énergie alternatives en zones arides. Or, l'analyse de cet événement centré sur les énergies alternatives nous semble de toute première importance pour identifier le réseau d'acteurs de la recherche et leurs dispositifs expérimentaux proposés à cette époque. Si Nizery, décédé, ne peut pas y assister, c'est un certain Beau, qui, le remplaçant à la tête de l'Énergie des Mers, accompagne Masson et Trombe sur le banc français. Nizery permet donc à Masson d'intégrer le Programme sur les zones arides de l'UNESCO par le biais de sa thématique énergétique de 1953 qui leurs offre l'occasion d'une convergence et d'une synergie d'intérêts et d'acteurs. Un colloque sur les énergies éoliennes et solaires comme celui de New-Dehli peut-il s'apparenter à une forme d'administration de la visibilité des dispositifs solaires prototypiques ? Une telle rencontre peut-elle permettre, par le biais de l'UNESCO, d'identifier, de cartographier et d'évaluer les expérimentations solaires en cours, dans l'objectif de les observer, de les canaliser et d'en entendre les potentiels politiques de remise en question du système politico-énergétique ?

Lorsque Masson, « *Vice-chairman for the section on solar energy* »[310], présente ses travaux à New-Dehli, « Du moyen de capter la chaleur solaire », les 22-25 octobre 1954, il mobilise également ceux de Nizery en affichant clairement leur étroite collaboration sur laquelle Beau insiste lors de son hommage rendu aux travaux sur

[306] *Ibid*., p. 958.
[307] *Ibid*., pp. 957-960.
[308] TEISSIER, Pierre, *op. cit*., 2015, p. 198 « *Égypte, États-Unis, France, Inde, Israël, Mexique et Royaume-Uni* ».
[309] MAUREL, Chloé, *op. cit*., 2006, p. 958.
[310] UNESCO, *Énergie solaire et éolienne, recherches sur la zone aride*, Actes du colloque de New Delhi qui s'est tenu en octobre 1954, Paris, Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, 1956, p. 9.

l'énergie thermique des mers de Nizery[311]. Beau rappelle que les essais de Masson sur les bassins de chauffage solaire à Dakar, s'ils s'inscrivent, au départ, dans la recherche d'une complémentarité au convertisseur d'une centrale thermique des mers, sont ensuite perçus par Nizery comme dispositif pouvant se suffire à lui-même : « on pouvait, pensa-t-il, espérer une solution rentable en combinant l'énergie solaire avec l'énergie thermique des mers ou même, éventuellement, en faisant marcher directement des centrales à dépression, de type analogue, sur un écart de température qui serait uniquement dû au surchauffage solaire, ce qui conduisait pratiquement au problème de l'énergie solaire à l'état pur »[312]. Ainsi, Beau renvoie aux avancées de Masson quant à la captation de la chaleur solaire au moyen d'insolateurs plans.

A l'automne 1954, le laboratoire solaire de Masson à Dakar (futur Institut de Physique Météorologique, l'IPM, en 1955, deux ans avant la création de l'Université de Dakar en 1957[313]) est officiellement actif depuis huit mois mais « en réalité les expériences avaient commencé il y a deux ans sur l'initiative du regretté André Nizery, avec l'appui de la Société d'économie mixte Énergie des Mers et du gouvernement général de l'A. O. F. »[314]. Parmi les scientifiques africains de l'époque, Cheikh Anta Diop, dès 1955, appelle « les jeunes chercheurs du continent à travailler à toutes les potentialités énergétiques du soleil »[315]. Nous verrons un peu plus loin le rôle d'une autre figure africaine du solaire, le nigérien Abdou Moumouni Dioffo et ses relations avec le projet Masson-Girardier, ainsi qu'avec l'administration française. Le professeur Masson accueille justement dans son laboratoire des étudiants africains et bien qu'il fasse partie de la délégation française en Inde, c'est bien des besoins et des potentiels humains et techniques, par et pour l'Afrique aride, dont il se fait l'écho, et non pas de celui d'un projet colonial développementaliste.

---

[311] NIZERY, André, « Étude sur les possibilités d'utilisation de l'énergie des mers et de l'énergie solaire », *Bulletin de l'Institut océanographique de Monaco*, 1946, cité dans UNESCO, *Énergie solaire et éolienne, recherches sur la zone aride*, Actes du colloque de New Delhi qui s'est tenu en octobre 1954, Paris, Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, 1956, p. 187 et p. 228. PEHLIVANIAN relève également « l'impulsion » donné par Nizery, PEHLIVANIAN, Sophie, *op. cit*., 2014, p. 471.

[312] BEAU, « Note sur les études et travaux d'André Nizery concernant l'énergie thermique des mers, la production concomitante d'eau douce et l'utilisation éventuelle préalable de bassins de chauffage solaire », *in* UNESCO, *op. cit*., 1956, p. 228.

[313] DIEDHIOU, Salif, *op. cit*., 2016, p. 216.

[314] MASSON, Henri, « Du moyen de capter la chaleur solaire », *in* UNESCO, *op. cit*., 1956, p. 175.

[315] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2018, p. 70.

Dans ses bassins d'études, Masson essaye différents procédés afin d'élever la température de l'eau tout en limitant les pertes caloriques. Testant des pellicules de mazout et d'huile au contact de l'air, il établit la certitude qu'un châssis vitré isolant et qu'une surface noire de mazout permet d'obtenir les meilleurs résultats. Son exposé à New-Dehli est très théorique sur les valeurs limites de l'échauffement et du rendement obtenu, mais les résultats pratiques observés avec les dispositifs alors en cours d'expérimentation à Dakar « avec de l'eau protégée par une tôle et du verre » vérifient selon lui la modélisation, ce qui lui permet de définir clairement les variations de dimensionnement envisageables et leurs seuils au-delà desquels une augmentation des surfaces et des volumes sont contre-productives (éléments très importants dans des régions arides où l'espace disponible n'est pourtant pas compté)[316]. Masson termine sa présentation non pas sur des incertitudes techniques mais sur une considération très pragmatique, à savoir que la prochaine étape consiste à établir la configuration de variables qui permet d'obtenir le meilleur prix de revient par calorie possible. Car *in fine* il s'agit bien d'obtenir de l'eau chaude à moindre coût pour les populations locales.

L'objectif de tels capteurs n'est plus lié à celui d'un projet de centrale thermique des mers. D'ailleurs, la conversion thermodynamique de la chaleur solaire par des machines qui fonctionnent selon des cycles à basses températures (et pression) et à faibles gradients est fustigée à New-Dehli par les propos de Trombe, précédant ceux de Masson, et qui, à cette époque, ne travaille pas encore à de telles installations.

En effet, Trombe rejette, par principe, selon une analyse théorique, de tels usages de la chaleur solaire, et ce, déjà en 1947[317]. Il discrédite les « petits appareils moteurs » solaires pour leur mauvais rendement, « de 3 à 8 % »[318]. Mais il fait là référence au

[316] MASSON, Henri, *op. cit*., 1956, p. 183.

[317] En 1947, Trombe rejette la conversion thermodynamique à basse température de la chaleur solaire et déconsidère par la teneur de ses propos les réussites des expérimentations passées : « On a bien des fois suggéré (c'est nous qui soulignons), au cours du siècle dernier, d'utiliser l'énergie solaire en vue d'obtenir de la puissance. Des installations dans différentes parties du monde, notamment en Égypte, ont fonctionné pour fournir de la vapeur (…) Toutes les applications précédentes présentent certainement un grand intérêt pour la transformation de l'énergie solaire en énergie mécanique. Elles ont néanmoins un défaut capital, celui du faible rendement inhérent au cycle thermique qui caractérise une machine à vapeur, même à haute pression. » Cité dans PHARABOD, François, « Des miroirs ardents aux centrales solaires », *in* HERLEA Alexandre (dir.), *L'énergie solaire en France*, Paris, Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, 1995, pp. 52-53, d'après TROMBE F., FOEX M., HENRY LA BLANCHETAIS C., « Concentration d'énergie solaire pour la réalisation de très hautes températures », *Annales de Chimie*, tome 2, juillet-août 1947.

[318] TROMBE, Félix, « Structure des machines utilisant l'énergie solaire », *in* UNESCO, *op. cit*., 1956, p. 173.

rendement du cycle, non à celui de l'arbre moteur, ni à celui des capteurs (ou collecteurs). Trombe ajoute qu'ils sont également « beaucoup trop cher », mais sans préciser s'il fait référence à des prototypes ou à des tentatives commerciales, passées ou actuelles[319]. Il n'envisage la transformation en force mécanique et en électricité qu'avec des températures élevées et de forts différentiels. En 1954, il n'accorde à l'énergie solaire qu'« un seul rôle : celui de fournir des calories », sous-entendues, de hautes calories à utiliser telles quelles[320].

Mais à quels moteurs solaires Trombe fait-il référence ? Il existe donc en 1954 de telles machines, visiblement suffisamment connues de la communauté scientifique pour qu'il n'ait pas besoin de développer ses propos ?

Quelques mois plus tôt, en mai 1953, à Haïfa en Israël, Nathan Robinson présente son « Rapport sur la conception des diverses machines à énergie solaire » au colloque du Programme de la zone aride de l'UNESCO[321].

Robinson y établit justement un bref historique de l'état de l'art des principales machines solaires thermodynamiques connues. Les inventaires raisonnés comme celui-là se retrouvent dans toute la littérature solaire depuis le XIX^{e} siècle, sans pour autant faire aujourd'hui l'objet d'enquêtes socio-historiques académiques[322]. C'est notamment le cas de la recension historique de l'Australien L. C. Spencer qui, dans trois articles successifs, tente d'établir « *A comprehensive review of small solar-powered heat engines* »[323]. L'inventaire de Spencer est tellement vaste qu'il lui est impossible d'entrer dans des analyses détaillées des configurations d'idées, d'institutions et d'intérêts qui encadrent

[319] *Ibid*.
[320] *Ibid*.
[321] ROBINSON, Nathan, « Rapport sur la conception des diverses machines à énergie solaire », Paris UNESCO/NS/AZ/141, 10 septembre 1953. Nathan Robinson est alors Directeur du laboratoire d'étude du rayonnement solaire à l'Institut de technologie d'Israël.
[322] Mouchot, dans son ouvrage de 1869, livre déjà une historiographie conséquente. MOUCHOT, Augustin, *op. cit*., 1869. Les deux textes de Pope sont également très bien documentés : POPE, Charles Henry, *Solar Enginery*, Farmington, Main, USA, 1886 ; POPE, Charles Henry, *Solar Heat. Its Practical Applications*, Boston, 1903. L'exhaustivité est impossible mais nous pouvons faire remarquer par exemple que déjà en 1911 à l'Université de l'Illinois un étudiant soutenait son mémoire de recherche de fin d'études sur les petits moteurs solaires : McKINNIE, Earle Clarence, « Possibilities of the Solar Engin », College of Engineering, University of Illinois, 1911. Et la même année, dans une revue d'astronomie : RORDAME, Alfred, « Power from the sun », *Popular Astronomy*, Vol. 19., 1911, pp. 153-161.
[323] SPENCER, L.C., « A comprehensive review of small solar-powered heat engine: Part I. A history of solar-powered devices up to 1950 », *Solar Energy*, Volume 43, Issue 4, 1989, pp. 191-196 ; SPENCER, L.C., « A comprehensive review of small solar-powered heat engine: Part II. Research since 1950 – « conventional » engines up to 100 kW », *Solar Energy*, Volume 43, Issue 4, 1989, pp. 197-210 ; SPENCER, L.C., « A comprehensive review of small solar-powered heat engine: Part III. Research since 1950 – « unconventional » engines up to 100 kW », *Solar Energy*, Volume 43, Issue 4, 1989, pp. 211-225.

chaque opération de fabrication et d'expérimentation solaire. Cependant, il est très utile pour en mesurer la continuité technique, l'importance historique et la répartition géographique. Aussi, comment connaître le détail des véritables raisons qui, pour chacun de ces projets, entravent le processus d'innovation, empêchant tous ces prototypes de connaître une diffusion industrielle ? Dit autrement, comment savoir quels sont les déterminants et les modalités de l'action publique solaire dans tous ces cas de figures du passé, puisqu'aucune étude approfondie n'a encore été menée en ce sens ?

Nonobstant, les données relevées et analysées par Robinson en 1953 permettent d'identifier la trajectoire sociotechnique des installations solaires thermodynamiques basse température (les fameux petits moteurs décriés par Trombe) dans laquelle Masson (au départ conjointement avec Nizery), puis Girardier, positionnent leurs expérimentations.

Ces dispositifs, qui fonctionnent, sont reliés par des principes et des éléments techniques communs dont les caractéristiques sont en adéquation avec les conditions socio-environnementales des zones arides dans lesquelles leurs potentiels d'usages ne sont pas à écarter, car ni leur rendement, ni leurs coûts, ne sont alors des variables condamnant complétement leur évaluation. Il faut bien noter que les zones arides dont il est question désignent des régions majoritairement localisées dans des pays du tiers-monde, mais également aux États-Unis d'Amérique et en Israël par exemple. Les enjeux liés à l'industrialisation de telles applications dépassent donc très largement la question du revenu par habitant.

Robinson rappelle que toutes ces machines solaires fonctionnent selon un cycle thermodynamique comme n'importe quel moteur ou turbine à vapeur, c'est-à-dire comme tous les moteurs qui sont actionnés par l'effet d'une source de chaleur sur un fluide gazeux liquéfiable (eau ou autres) dont la pression après détente est transformée en force mécanique[324]. Ainsi, la spécificité dudit moteur solaire, réside plutôt dans les éléments qui permettent l'apport en combustible, ici, les collecteurs, qui concentrent et qui accumulent la chaleur du rayonnement solaire.

Les limites au rendement du cycle et de ses différentes sections (collecteur et moteur par exemple) ne diffèrent en rien de celles imposées par la deuxième loi de la

[324] Pour une approche généraliste des moteurs, voir : HERLEA, Alexandre, *Les moteurs*, PUF, 1985. D'autant plus pertinent que Herléa, ingénieur de recherche au Cnam, dirige les actes du congrès de 1993, « L'énergie solaire en France », que nous avons déjà mentionné à plusieurs reprises.

thermodynamique à n'importe quelle machine thermique qui convertit un différentiel de température.

N'en déplaise à Trombe, et Robinson reprend la présentation chronologique de certains des principaux expérimentateurs de moteurs solaires à basse température de la seconde moitié du XIX^{e} siècle jusqu'au début du XX^{e} siècle.

Il choisit de les distinguer en fonction du type de collecteurs utilisés : collecteur plan sans concentration ou collecteur avec concentration[325]. Mais dans tous les cas de figure, ces machines, conçues pour prodiguer, isolées, de petites puissances, fonctionnent en tant que prototypes de laboratoire pour certaines, mais également comme prototype commerciaux pour d'autres, c'est-à-dire qu'elles sont installées sur site en conditions réelles.

Les transferts de chaleur entre l'eau des collecteurs et le mécanisme moteur se fait généralement, soit au moyen de la vapeur d'eau dans le cas d'appareil à concentration, soit grâce à la vapeur d'un liquide à basse température d'ébullition tel l'éther, l'ammoniaque, l'acide sulfureux, le chlorure de méthyle, etc., qui est, après travail, condensé et réemployé, dans le cas d'appareil à capteurs plans[326].

Il s'agit alors d'un moteur fonctionnant selon un cycle de Rankine (*Organic Rankine Cycle* ou ORC)[327], c'est-à-dire d'un cycle thermodynamique dans lequel le fluide de travail est un fluide gazeux liquéfiable à basse température (issu de la chimie organique). En changeant successivement d'état, en fonction de la température et de la pression, dans un cycle domestiqué par une machine contrôlée par l'homme, certains

---

[325] Le collecteur est le nom donné au dispositif (« le capteur », « le panneau ») qui récupère la chaleur du rayonnement solaire en amont du moteur. Il en existe deux types, selon qu'il s'agit de capter la chaleur solaire diffuse (collecteur à plat), ou bien de la concentrer davantage afin d'en augmenter justement la température au moment de sa récupération. Dans ce dernier cas de figure, le « capteur » prend généralement une forme plutôt parabolique ou cylindro-parabolique.

[326] CAILLE Frédéric, MOUTHON Alexandre, « Du solaire par le froid et inversement. Techniques frigorifiques et énergie solaire, une continuité technologique oubliée », *Cahiers d'histoire du Cnam*, 2020, pp. 91-114.

[327] Sur *l'Organic Rankine Cycle* (ORC), son histoire et ses applications aux énergies renouvelables, voir le site web du Knowledge Center Organic Rankine Cycle [URL : http://www.kcorc.org/en/science-technology/history]. Voir également CAILLE Frédéric, MOUTHON Alexandre, *op. cit*., 2021 ; BRONICKI, L.Y., *op. cit*., 2017, pp. 25-66 ; INVERNIZZI, C. M., *Closed Power Cycles. Thermodynamic Fundamentals and Applications*, Springer, London, 2013 ; MACCHI E., ASTOLFI M., *Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems. Technologies and Applications*, Woodhead Publishing Series in Energy, Number 107, Elsevier, 2017 ; CURRAN, H.M., *The Use of Organic Working Fluids in Rankine Engines*, Prepared for U. S. Department of Energy, Hittman Associates, Inc., September 1979. Cette dernière référence établit clairement la parfaite connaissance des possibilités offertes par les ORC solaires par l'administration américaine en charge des évaluations des technologies de conversions énergétiques dans les années 1970 et précédentes.

corps – eau, ammoniaque, anhydride sulfureux, chlorure de méthyle, gaz carbonique ou de pétrole, puis les Fréons, etc. – génèrent, dans le milieu de la réaction, du froid – ils cèdent des frigories – ou du chaud – ils cèdent des calories –, et, si leur détente est canalisée, de la force motrice. Dans tous les cas, que l'objectif soit de produire l'un ou l'autre, la question d'alimenter la source chaude se pose comme une alternative : doit-on avoir recours à des combustibles (des *fuels* disent les anglo-saxons) fossiles ou non ? Ou doit-on récupérer de la chaleur, qu'elle soit d'origine naturelle (solaire, aérothermique, géothermique, thermique des mers) ou industrielle (résultant de refroidissement, de frottements) ? Se pose également la question de boucler le cycle de la source froide, laquelle guide la conception du moteur. Comme l'écrit Robert Lesage, son premier biographe, en 1928, à propos du raisonnement de Charles Tellier qui fut le principal expérimentateur français connu pour avoir détourné un cycle frigorifique au service de la conversion solaire thermodynamique, « il fit remarquer avec raison que la production de force motrice thermique et celle du froid étaient toutes deux le résultat de manifestation calorique ou, pour mieux le dire, d'absorption de chaleur »[328].

Dans son intervention à l'Unesco en 1953, Robinson débute d'ailleurs la continuité technologique de cette proposition sociotechnique par les travaux d'Augustin Mouchot[329], d'Abel Pifre et de Charles Tellier[330] en France, de John Ericsson, Ketehun, McHenry, Molera, Cebrian, Paine, Severy, Brown et Widen aux USA, de William Adams en Inde britannique, de Bergh et Schultz en Allemagne, de Bennet en Angleterre. Au début du XX^{e} siècle, Robinson mentionne les tentatives industrialo-commerciales des pompes solaires ORC de Willsie et Boyle aux USA, ainsi que celle de Shuman aux USA et en Égypte, qui est aujourd'hui la mieux documentée[331] (mais d'autres expérimentateurs moins connus sont également cités comme l'anglais Hadden qui réussit à convertir de

[328] LESAGE, Robert, *Charles Tellier. Le Père du froid*, Paris, Éditions A. Giraudon, 1928, p. 46.
[329] Sur les expérimentations de Mouchot voir CAILLE, Frédéric, *op. cit*., à paraître. Nous ne pouvons mentionner ici toutes nos références sur Mouchot car elles sont trop nombreuses, nous renvoyons à notre catalogue de sources et à notre catalogue de brevets industriels solaire.
[330] CAILLE Frédéric, MOUTHON Alexandre, *op. cit*., 2020.
[331] Voir par exemple : KRYZA, Franck T., *The power of light ? The Epic Story of Man's Quest to Harness the Sun*, McGraw-Hill, 2003 ; BUTTI Ken, PERLIN John, *A Golden Thread*, Cheshire Books, Palo Alto, U.S.A., Van Nostrand Reinhold Compagny, New York, U.S.A., 1980 ; SHUMAN, Frank, « Power From The Sun », *L'Engineer*, juin 1914, pp. 419-423 ; SHUMAN, Frank, *The Direct Acting Solar Engine*, *The Prime Mover of The Immediate Future*, Review Publishing & Printingq Company, Philadelphia 1907. Nous ne pouvons mentionner ici toutes nos références sur Shuman car elles sont trop nombreuses, nous renvoyons à notre catalogue de sources et également aux brevets de Shuman dans notre catalogue de brevets industriels solaires.

l'eau salée dont une partie est distillée, ou encore Fessenden et McHenry)[332]. Mouchot et Tellier sont en effet les précurseurs français du froid et de la force par le soleil. Il est donc utile ici de présenter certains aspects de leurs dispositifs moteurs et de leur portée sociohistorique.

Charles Abel Louis Tellier (1828-1913)[333] est l'auteur d'un ouvrage intitulé *L'ammoniaque dans l'industrie* qui paraît en 1866, ouvrage d'un « empirisme » suffisamment construit et réfléchi pour s'imposer comme le premier exposé systématique de « toutes les applications » qui « découlent des propriétés frigorifiques de ce corps »[334]. Tellier met en effet au point différentes machines frigorifiques – par absorption et par compression mécanique – mais il envisage également « l'ammoniaque force motrice »[335], laquelle occupe une large place dans ses expérimentations tant pour les transports terrestres et la navigation que pour élever de l'eau ou créer le vide d'un système de transmission pneumatique. Tellier publie ainsi de 1883 à 1889 quatre textes sur les usages de la thermodynamique pour la transformation en travail utile des gradients modérés de températures – naturelles et industrielles. Le titre de celui de 1889 est sans ambiguïté : *Élévation des eaux par la chaleur atmosphérique, utilisation des chaleurs perdues, forces motrices gratuites, éclairage gratuit, froid gratuit*. À Auteuil, au soleil de mars 1889, il fait ainsi fonctionner une pompe solaire à l'ammoniaque : « utiliser les rayons du soleil fut une autre de ses ambitions… pourquoi ne pas transformer en agents producteurs de forces les vastes surfaces, tels que les toits, qui reçoivent du soleil un

[332] ROBINSON, Nathan, *op. cit*., 1953, pp. 7-8. Les expérimentations relevées par Robinson ne sont évidemment pas exhaustives. Nous avons déjà mentionné dans notre introduction générale des ouvrages historiographiques qui mènent des recensions. Dans les années 1950, les initiatives américaines de Farrington Daniels et John A. Duffie, ainsi que celles de l'*Association for Applied Solar Energy* (AASE ou AFASE), aboutissent à la rédaction d'annuaires historiques des brevets solaires américains et européens, de la littérature solaire disponible et des recherches mondiales sur les applications passées et en cours. On peut se référer notamment à DANIELS Farrington, DUFFIE A. John (dir.), *Solar Energy Research*, University of Wisconsin Press, 1955, pp. 255-265 ; TELKES, Maria (dir.), *Applied Solar Energy research : A directory of world activity and bibliography of significant literature*, Stanford Research Institute and Association for Applied Solar Energy (AFASE), Phoenix, Arizona, 1955 ; SMITH JENSEN, Jean (dir.), *Applied Solar Energy research : A directory of world activity and bibliography of significant literature*, Stanford Research Institute and Association for Applied Solar Energy (AFASE), Phoenix, Arizona, 1959. Voir également notre inventaire de brevets industriels solaires. Chacune de ces inventions mériterait d'être l'objet d'une enquête sociohistorique poussée.

[333] Lesage recense les mémoires originaux et les notes présentées par Tellier à l'Académie des Sciences ainsi que ses principaux ouvrages. LESAGE, Robert, *op. cit*., 1928, pp. 191-193. Voir notre catalogue de brevets industriels solaires.

[334] LESAGE, Robert, *op. cit*., 1928, p. 41.

[335] LESAGE, Robert, *op. cit*., 1928, p. 37.

nombre considérable de calories ? »[336]. Le journal *Le Figaro* du 24 mars relaye le succès de l'opération : « une expérience très curieuse a été faite hier 23 mars […]. Un appareil puisant de l'eau dans un puits la faisait jaillir du sol en un courant continu d'environ 3000 litres par heure ; cet appareil était mû par le soleil, dont la faiblesse était cependant assez grande pendant cette journée. Il y a là une découverte considérable »[337]. En 1890, saisi par le potentiel que représente l'Afrique de l'Ouest où s'étend la présence française – « un immense centre de consommation »[338] en puissance, plus de 100 millions de consommateurs aptes à absorber la surproduction des premiers pays industrialisés –, Tellier se donne pour objectif *la conquête pacifique de l'Afrique occidentale par le soleil,* titre de l'opuscule qu'il fait paraître en cette même année. Se proposant d'utiliser non plus la vapeur d'eau – comme l'avait fait dix ans plus tôt Mouchot – mais l'ammoniaque, en tant que fluide calorique échangeur, il y envisage une démultiplication des performances des insolateurs et l'usage des toits comme capteur-plan solaires directement reliés à un moteur à piston. Il décrit en termes très didactiques cette première association du mécanisme frigorifique par absorption à celui du moteur à piston :

> En résumé, la chaleur solaire force le gaz ammoniac à sortir de sa dissolution et le fait travailler à produire de la force motrice ; l'eau froide extraite du sol, par l'absorption calorifique qu'elle exerce, permet, au contraire, la réintégration du gaz ammoniac dans ladite solution. […] La vapeur sous pression, ainsi générée, est dirigée vers un cylindre moteur analogue à tous les cylindres de machines à vapeur. Le piston de ce cylindre actionne une pompe à eau[339].

Tellier insiste sur l'usage possible de ce moteur solaire pour dessaler les eaux saumâtres une fois pompées, en prolongeant son travail à des appareils frigorifiques qui congèlent l'eau afin d'en faire précipiter les sels et de permettre ainsi tant la consommation que l'irrigation. Une sorte de boucle technique et pratique s'esquisse alors et se referme sur elle-même : du travail solaire initié par le froid au froid créé par le solaire. Tous les autres usages mécaniques – labourage, transports ferrés ou fluviaux – ou électriques – éclairage par piles thermosolaires – sont également mentionnés.

---

[336] *Ibid*. p. 50.
[337] CAILLE Frédéric, MOUTHON Alexandre, *op. cit*., 2020, p. 96. Nous reprenons ci-dessous directement les principaux éléments de cet article.
[338] TELLIER, Charles Louis Abel, *La conquête pacifique de l'Afrique occidentale par le soleil*, Paris, J. Michelet éditeur, 1890, p. 2.
[339] *Ibid*., pp. 73-74.

Si Tellier extrait de la réflexion sur le froid l'idée de faire travailler le soleil, Augustin Mouchot a fait dix ans avant lui le chemin inverse. Les deux hommes et les deux techniques, loin d'être conflictuels, démontrent l'inter-détermination de travaux et de préoccupations sociotechniques alors très convergents, et qui vont le rester sur le long terme. En effet, à l'Exposition Universelle de Paris de 1878, alors que Tellier fait visiter son navire Le Frigorifique[340], lequel a traversé deux ans plus tôt l'Atlantique avec, comme son nom l'indique, des cales isolées et réfrigérées, c'est surtout Mouchot qui tient en haleine le public avec ses appareils solaires. Après avoir cuit et distillé avec des appareils de diverses tailles, il fait fonctionner en septembre 1878 une machine à vapeur mue par la chaleur solaire concentrée. Il en profite pour élever de l'eau et pour produire de la glace en détournant une machine Carrée à ammoniac[341] : « hier, 29 septembre, le soleil s'étant dégagé des nuages vers 11h1/2, j'avais 75 litres d'eau en ébullition à midi – et la tension de la vapeur s'est élevée graduellement de un à sept atmosphères, limite du manomètre, dans l'intervalle de deux heures malgré l'interposition de quelques vapeurs passagères. J'ai pu recommencer l'expérience du 22 septembre puis diriger la vapeur dans un appareil Carré, ce qui m'a permis d'obtenir un bloc de glace. »[342] Mouchot obtient sept bars de pression, quand le 22 septembre plus de six bars se sont déjà affichés au compteur, et avec désormais 1800 litres d'eau à l'heure montés à deux mètres, et du vrai froid obtenu par le soleil, il pense légitimement avoir touché du doigt des avancées déterminantes. Malgré ses demandes, il n'obtient cependant jamais une évaluation sérieuse de ses procédés – notamment la production de glace par le soleil. Une commission établie à Montpellier et présidée par le professeur de physique André Crova se contente en mars 1882 d'un avis réservé sur le potentiel du solaire thermodynamique en France métropolitaine[343]. En 1883, quand Tellier commence à envisager de produire du solaire par le froid, Mouchot, lui, prend définitivement de la distance avec le soleil pour se consacrer à ses réflexions mathématiques.

[340] TELLIER, Charles Louis Abel, *Histoire d'une invention moderne, Le Frigorifique*, Paris, C. Delagrave éditeur, 1910.
[341] La machine des frères Carré est l'une des attractions de l'Exposition Universelle de 1862 à Londres où elle fabrique des glaçons en continu, et ce sont les mêmes fabricants que ceux du récepteur solaire, les associés Mignon et Rouard, qui en ont le brevet sur Paris. Basée sur le principe de la dissolution de l'ammoniaque dans l'eau, il s'agit de la première forme de réfrigération artificielle.
[342] Archives de l'Académie des Sciences, rapport manuscrit d'Augustin Mouchot, 29 septembre 1878.
[343] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., à paraître.

Tellier et Mouchot se retrouvent, se complètent, se prolongent. Mouchot concentre le rayonnement solaire – il utilisa son fameux concentrateur parabolique que transforme un peu Abel Pifre, et il s'appuie sur les changements d'état de l'eau – qui nécessitent beaucoup de calories –. Tellier capte quant à lui le soleil à plat (capteur-plan), et il transforme directement l'ammoniac qui nécessite moins de calories. Jean-Pierre Girardier (1935-2018) et la SOFRETES, cent ans plus tard, captent le soleil à plat, mais avec de l'eau, puis transfèrent sa chaleur à un fluide frigorifique et centrent leurs efforts sur la sortie mécanique du cycle organique de Rankine.

Ces divers chemins d'une même direction de trajectoire sociotechnique se retrouvent dans les propositions solaires de la première moitié du XX^{e} siècle. Ce que l'on peut dénommer « l'influence frigoriste » dans la conversion de l'énergie solaire a une longue filiation. En effet l'idée du syncrétisme technique qui capte les calories solaires à plat pour les transférer et les transformer grâce à deux fluides intermédiaires, dont un frigorifique, est appliquée aux États-Unis dès 1902. Alors qu'A.G. Eneas, comme Mouchot, concentre le rayonnement pour faire monter en pression de la vapeur d'eau, Willsie et Boyle optent pour des capteurs plans (en bois à cette époque), comme Tellier (puis Masson et Girardier), avec un dispositif d'inspiration frigoriste. Les faits nous sont relatés par Ackermann, dans son article de synthèse de 1915 : « *H. E. Willsie and John Boyle, started their work in America in 1902. The method they adopted was to let the solar radiation pass through glass and heat water, which in turn was used to vaporised some volatile fluid such as ammonium hydrate, ether, or sulphur dioxide, the vapour being used to drive an engine. Willsie thinks he was the first to propose this two–fluid method for the utilisation of solar energy, and so far as the author knows his claim is correct.* »[344]. En 1903-1904 les deux Américains fondent la Willsie Sun Power Company qui installe deux unités motrices, l'une à l'ammoniac et l'autre à l'anhydride sulfureux qui actionne une pompe et un compresseur : « *The engine operated a centrifugal pump,*

[344] ACKERMANN, A. S. E., « The utilisation of solar energy », Journal of the Royal Society of Arts, Vol 63, N° 3258, p. 553. "H. E. Willsie et John Boyle, ont commencé leur travail aux Etats-Unis en 1902. La méthode qu'ils ont adoptée consistait à laisser passer le rayonnement solaire à travers le verre et l'eau chaude, qui à son tour était utilisée pour vaporiser certains fluides volatils tels que l'hydrate d'ammonium, l'éther ou le dioxyde de soufre, la vapeur étant utilisée pour entraîner un moteur. Willsie pense qu'il a été le premier à proposer cette méthode à deux fluides pour l'utilisation de l'énergie solaire, et pour autant que l'auteur sache, son affirmation est correcte. »

lifting water from a well 43 ft. deep, and also a compressor, in addition to two circulating pumps »[345].

L'intérêt de relever ici l'inventaire que dresse Robinson au début des années 1950 et de l'avoir approfondi d'une mise en perspective historique « du froid par le soleil et inversement » grâce aux réalisations de Mouchot et de Tellier en France et de celles de Willsie et Boyle aux États-Unis est double. Premièrement, il nous permet d'affirmer qu'en 1953, le professeur Masson et la communauté savante solaire mondiale ont une très bonne connaissance des petits moteurs solaires et de leur histoire fort ancienne. En second lieu, il nous force à constater une continuité de préoccupations et de techniques, puisque ces dispositifs sont encore et toujours expérimentés.

Ce qui pose tout naturellement la question, à laquelle nous n'avons pas de réponse car les travaux académiques font défaut, de savoir pourquoi et comment ces premiers moteurs solaires ne sont jamais soutenus par les pouvoirs publics : ni au XIX^{e} siècle, malgré les réussites de Mouchot et de Tellier et leurs propositions d'applications destinées aux régions arides sahariennes, ni dans la première moitié du XX^{e} siècle, malgré les réussites de Shuman aux USA et en Égypte, et les avancées et certitudes de Nizery et de Masson en 1954.

Lors de sa présentation en 1953, Robinson s'attarde tout naturellement sur les expériences de Shuman puisqu'elles sont les mieux documentées (et non pas sur celles de Mouchot ou de Tellier).

En 1907, Shuman fait fonctionner près de Philadelphie, « même en hiver, lorsque le sol était recouvert de neige »[346], un convertisseur à collecteurs plans de 3,5 CV avec un ORC à l'éther (vaporisation directe) pour une température d'eau aux alentours des 96°C. Puis il cherche à augmenter la température de l'eau dans les capteurs pour n'utiliser que cette dernière à la fois comme liquide caloporteur et comme liquide de travail. Robinson présente un bref compte-rendu des performances de la nouvelle machine à vapeur de Shuman en 1910. Il permet de reformuler le problème du rendement des petits moteurs solaires écartés des usages par Trombe. Ainsi, pour Robinson, en termes de rendement réel, l'objectif est de se rapprocher de l'idéal, qui, pour tout cycle thermodynamique, est par définition faible. Dans ce cas, Robinson explique qu'il est de

[345] *Ibid*. « Le moteur actionnait une pompe centrifuge, soulevant l'eau d'un puits de 43 pieds de profondeur, ainsi qu'un compresseur, en plus de deux pompes de circulation. »
[346] ROBINSON, Nathan, *op. cit*., 1953, p. 9.

l'ordre de 16, 67 % pour le cycle de l'installation de Frank Shuman en 1910 près de Philadelphie (pas vraiment une zone aride…). Un assez bon rendement réel sera donc obtenu s'il atteint par exemple les 35 % de cet idéal, ce que la machine de Shuman permet puisque son rendement réel est de 5,5%. Robinson rejette donc la sanction d'un mauvais rendement qui hypothèquerait l'usage d'une telle installation. Il poursuit sa démonstration. En 1911, Shuman et Boys font évoluer le système et sa potentielle commercialisation puisqu'ils créent une entreprise à cet effet. Ils montent en série des collecteurs qui prennent progressivement la forme des capteurs cylindro-paraboliques orientables et les installent en Égypte en 1912. Leur rendement thermique est de 40 % et la vapeur à basse pression actionne un moteur capable de transmettre une force mécanique de 50 à 100 CV : « le rendement combiné du collecteur et de la machine thermique était de 4,32 %, cela à une époque où la meilleure machine thermique fonctionnant au charbon avait un rendement de 11,25%. Le faible rendement de la machine solaire était surtout imputable à la machine thermique et non au collecteur. L'installation coûta 3500 couronnes allemandes, et elle pouvait concurrencer les machines à charbon dans les lieux où la tonne de charbon revenait à 11 couronnes ; or, dans les régions tropicales, le charbon valait au moins le double. »[347] La destinée de la station égyptienne de Shuman se perd dans la Première Guerre mondiale. Son histoire académique n'est pas écrite.

Récupérer de la chaleur perdue pour en faire de la force, qu'elle vienne du soleil, de l'industrie, de la fabrication de froid par compression et liquéfaction de gaz, de la terre, de la mer, ou même de l'air ambiant, telle est donc est la ligne technique souterraine qui traverse l'histoire du solaire thermodynamique.

Émile Guarini, professeur honoraire de physique et d'électrotechnique de l'École des arts et métiers de Lima au Pérou en donne en 1927 l'une des expressions les plus précises et ambitieuses dans une communication au Congrès International du Froid de Rome sous le titre « L'utilisation de la chaleur ambiante comme force motrice au moyen de la machine frigorifique »[348]. Il s'agit non plus seulement de « récupération de chaleur » mais de créer un cycle à basse température basé sur le principe de « condenser une vapeur

[347] *Ibid*, p. 13.
[348] GUARINI, Émile, « Chaleur et énergie. L'utilisation de la chaleur ambiante comme force motrice au moyen de la machine frigorifique », Rapport pour le Vème Congrès International du Froid, à Rome, du 19 Septembre au 1er Octobre 1927, *La Houille blanche*, n° 3, mai-juin, 1927, pp. 73-77.

en absorbant la chaleur par la production d'un travail »[349]. L'auteur explicite clairement sa perspective et le retournement ou décentrement à la fois théorique et pratique qu'elle propose :

> Une machine frigorifique moderne, à compression de vapeurs facilement liquéfiables, n'est qu'une pompe à chaleur. Le compresseur-pompe aspire la chaleur contenue dans le corps qu'on veut refroidir et la jette à l'eau du condenseur, en y ajoutant, en pure perte, les calories de compression. Si on réfléchit que, pour produire de la force motrice, il faut absorber de la chaleur, on se demande pourquoi on ne produit pas du froid, en utilisant la chaleur soustraite aux corps refroidis pour produire de la force motrice[350].

Guarini propose d'utiliser l'acide carbonique « en attendant mieux » – les Fréons par exemple –, mais ce gaz a une température d'ébullition de –80 °C à pression atmosphérique. Il expérimente donc un principe de condenseur qui doit permettre d'atteindre les conditions nécessaires à sa liquéfaction, sachant qu'« il n'y a pas d'eau de réfrigération » ni « de machine frigorifique fonctionnant industriellement à une si basse température »[351]. La machine qu'il invente doit impérativement « consommer moins de force motrice que le moteur athermique en produit »[352]. L'élégante solution qu'il expérimente alors consiste à ne pas condenser toute la vapeur détendue dans le cylindre et d'utiliser le retour du piston pour effectuer un travail de compression sur le résiduel, « c'est le même piston qui est l'organe moteur et compresseur »[353]. Guarini pense avoir réussi mais il a parfaitement conscience que ce qui se passe dans le laboratoire n'en sort que si l'objet technique est promu pas les pouvoirs publics : « si la machine définitive n'est pas encore construite, le cycle est établi et il est basé sur des principes et des expériences indiscutables. Il s'agit de temps, de capitaux, d'opportunité, de moyens techniques, de patience, de persévérance, d'appuis officiels »[354]. Il cerne avec acuité les conséquences de la trajectoire sociotechnique qu'il prolonge car « non seulement est trouvé le cycle frigorifique qui remplace l'absurde cycle actuel, mais est aussi trouvé le moteur à froid définitif. La question des brevets et des pourparlers en cours m'empêchent d'en dire davantage »[355]. Ce technologue et expérimentateur oublié donne ainsi une

[349] *Ibid*., p. 75.
[350] *Ibid*., p. 73.
[351] *Ibid*., p. 75.
[352] *Ibid*.
[353] *Ibid*., p. 76.
[354] *Ibid*., p. 75.
[355] *Ibid*., p. 76.

expression fulgurante de l'inverse exact de cette « malédiction de la chaleur » dans laquelle le socio-anthropologue Alain Gras voit et résume souvent le fondement de la folle logique de la société thermo-industrielle moderne[356] :

> J'ai la conviction absolue qu'un jour arrivera où le « moteur froid » pourra être appliqué à l'automobilisme et à l'aviation. […] Le temps n'est pas loin où un « Ford » américain ou européen pourra lancer la voiturette, je ne dis pas sans moteur, mais la voiturette avec moteur sans combustible[357].

En conclusion de son article de 1953, Robinson tente d'établir des points de certitudes mais il constate plutôt leur caractère très relatif : l'optimum de fonctionnement des convertisseurs solaires thermodynamiques, en termes de rapport rendement réel/idéal et en termes de coûts, ne se trouve ni dans un dimensionnement maximum de la surface des collecteurs, ni dans une montée en température au-delà de 200 °C, bien au contraire. L'efficience de chaque dispositif est bornée par ses propres caractéristiques limites, éléments de construction plus que d'évaluation des possibles et des potentiels. Car en aucun cas ils n'empêchent la machine de fonctionner. Les pertes de chaleur étant croissante avec la taille (et plus onéreuses à isoler), il convient de privilégier les petites installations de quelques dizaines à quelques centaines de mètres carré, pour développer au maximum quelques dizaines de chevaux vapeurs. L'effort doit donc être portée, d'une part, sur l'amélioration des performances des capteurs, sans en augmenter trop la surface, et d'autre part, la question du moteur reste entière : faut-il concevoir des moteurs thermiques spécifiques ?

Quelques années plus tard, comme nous allons le voir, Masson et Girardier, faisant peu de cas des objections de Trombe, intègrent ces deux derniers paramètres à leur cahier des charges lorsqu'ils mènent leurs premiers essais de fabrication d'une pompe solaire au moyen d'appareils alors existants, notamment un modèle de la société italienne SOMOR.

Dans les années 1920-1930, dans la Lybie récemment conquise, des Italiens appliquent les mêmes principes à des pompes solaires destinées à l'irrigation des colonats. C'est le cas de l'artisan-mécanicien-frigoriste italien Daniele Gasparini (1895-1960) qui présente son prototype de moteur à la foire de Tripoli en juillet 1936. Après la Seconde Guerre mondiale, renforcé par sa collaboration avec l'ingénieur Ferrucio Grassi (1897-

[356] GRAS, Alain, *Le choix du feu*, Fayard, Paris, 2007, p. 11.
[357] GUARINI, Émile, *op. cit.*, 1927, p. 76.

1980), il met au point une première pompe solaire fonctionnelle[358]. Elle est commercialisée à partir de 1948 sous le nom de « SO. MO. R. » (*SOcietà MOtori Recupero del calore solare e del calore perduto*), un intitulé qui reprend l'objectif affiché par Charles Tellier près d'un demi-siècle plus tôt. Une nouvelle fois chaleur solaire et chaleur perdue sont envisagées comme une seule et même source d'énergie à convertir[359].

Robinson échange vraisemblablement avec SOMOR en 1951 à propos de son catalogue de petits moteurs solaires. Il précise qu'à cette date SOMOR propose un système thermodynamique composé d'un moteur monocylindre spécifique actionné par un ORC. Le fluide gazeux liquéfiable se vaporise directement dans le collecteur, il n'y a donc pas de fluide caloporteur intermédiaire comme l'eau. La machine SOMOR répond parfaitement aux critères de petit dimensionnement et de basse température, comme ses responsables l'écrivent à Robinson : « il faut, dans les régions chaudes, une surface collectrice d'environ 30 m^2 pour obtenir une puissance de 2 H.P., ce qui équivaut à un rendement de 6 % environ pour le collecteur et le moteur réunis. »[360]

Si ces machines (les petits appareils moteurs) sont particulièrement envisagées pour des installations dans les régions arides c'est parce que l'ensoleillement y est intense, que la période d'insolation y est plus longue, que l'humidité de l'air y est plus faible, que la mise en valeur des terres nécessite une abondante irrigation, que les points d'eau en surface y sont rares et très inégalement répartis, que le recourt aux sources primaires d'énergie conventionnelles fossiles et à leurs convertisseurs y coûte trop cher (accès, acheminement, entretien), que la dépendance à un approvisionnement en provenance de l'étranger y est ainsi réduite, et que la permanence de la ressource y est certaine.

En 1954, alors que Masson s'exprime à New Dehli sur l'avancée de ses recherches pour capter à plat la chaleur solaire à Dakar, et que la disparition de Nizery emporte avec elle les espoirs de réalisation d'une centrale de conversion de l'énergie thermique des mers, la trajectoire technique des petits moteurs à basse température repose depuis longtemps sur des expérimentations solides et doit faire face à l'opposition des tenants

[358] INVERNIZZI, C. M., *Closed Power Cycles. Thermodynamic Fundamentals and Applications*, Springer, London, 2013, p. 122-123. MACCHI E., ASTOLFI M., *Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems. Technologies and Applications*, Woodhead Publishing Series in Energy, Number 107, Elsevier, 2017, pp. 29-31.
[359] CAILLE Frédéric, MOUTHON Alexandre, *op. cit*., 2020.
[360] ROBINSON, Nathan, *op. cit*., 1953, p. 11.

des hautes températures, solaires (Trombe au CNRS, le laboratoire solaire de Perrot à l'Université d'Alger) et, comme nous allons le voir, conventionnelles (l'EDF).

2.2 Des petits moteurs solaires controversés

Aux États-Unis d'Amérique, Farrington Daniels, un des leaders de l'opposition solaire au nucléaire, et figure incontournable de la communauté savante solaire internationale, qui participe avec Masson à la rencontre de New Dehli[361], organise une conférence à l'Université de Madison dans le Wisconsin en 1956 avec des constructeurs de petits moteurs thermiques à basse température d'environ 1 CV afin de discuter des raisons qui expliquent leur prix élevé comparativement aux moteurs à combustion interne de même catégorie de puissance.

Si leur potentiel d'applications solaires est reconnu pour les villageois isolés des régions arides, « *small units of about 1 horsepower could be used for irrigation pumping, electric lights, village industry in isolated areas where electricity is unavailable or very expensive* »[362], leur faible rendement l'est également.

Cependant, leurs caractéristiques techniques sont totalement écartées des raisons qui expliquent leurs prix trop élevés au profit d'explications purement commerciales : « *it was generally agreed that the price is high, not because of inherent technical reasons, but because the demande is small. The belief was expressed that if a mass market should be developed for small steam engines, they could be produced as cheaply as small internal combustion engines*. »[363] Il s'agit donc pour ces acteurs sectoriels de l'époque

[361] DANIELS, Farrington, « Utilization of solar energy », *in* UNESCO, *op. cit*., 1956, pp. 129-135. Daniels insiste sur l'importance primordiale de construire pour les régions arides des petits moteurs rudimentaires et robustes ne nécessitant pas de réparation, leur faible rendement étant alors tout à fait secondaire, encore plus au regard de la quantité de chaleur solaire disponible (paragraphe « *Solar engines* », p. 130). Gerald Wendt reprendra les arguments de Daniels dans le Courrier de l'Unesco en 1955. WENDT, Gerald, « L'homme a domestiqué…L'énergie solaire », *Courrier de l'UNESCO*, 1955, n°8 et 9, numéro spécial, p. 22.

[362] « De petites unités d'environ 1 cheval-vapeur pourraient être utilisées pour le pompage de l'irrigation, les lumières électriques, l'industrie villageoise dans les zones isolées où l'électricité n'est pas disponible ou très chère ». DANIELS, Farrington, « Introduction. Solar Energy Research 1959 », *in* SMITH JENSEN, Jean (dir.), *op. cit*., 1959, p. xvi.

[363] « Il a été généralement admis que le prix est élevé, non pas pour des raisons techniques inhérentes, mais parce que la demande est faible. On a exprimé la conviction que si un marché de masse devait être développé pour les petites machines à vapeur, elles pourraient être produites aussi bon marché que les petits moteurs à combustion interne ». *Ibid*.

d'enclencher une politique commerciale de création d'un marché pour une technique mature en attente d'industrialisation, et non pas uniquement de soutenir des programmes de R&D.

En 1950, Daniels, qui participe au projet *Manhattan* pendant la Seconde Guerre mondiale, conclut son article « Atomic and Solar Energy » (au ton volontiers provocateur) en s'adressant aux pouvoirs publics américains :

> Atomic energy for military purposes was developed with the aid of two billion dollars in three war years under conditions of centralized authority and secrecy. It would be interesting to see what might be done with two million dollars in three years for the greater utilization of solar energy for peaceful purposes under conditions of decentralization and independent initiative, aided by rapid publication of results[364].

En 1953, Daniels et Duffie organisent la rencontre de trente et un scientifiques, dont Trombe, pour échanger sur leurs recherches d'applications de l'énergie solaire à l'Université du Wisconsin de Madison avec le soutien de la *National Science Foundation*. La section IV du compte-rendu du symposium, « *Solar Power* », aborde la faisabilité de la conversion thermodynamique au moyen de petit moteur à basse température : « *in view of the availability of sunshine in underdeveloped or arid regions, a low efficiency can be tolerated provided a simple engine can be devised with sufficiently low capital investment* »[365].

Le 17 mars 1954, comme le mentionnent tous les travaux récents en histoire de l'énergie solaire (Teissier, Pehlivanian, Marrec en France et Laird aux USA), des acteurs de la recherche solaire étatsunienne institutionnalisent leurs intérêts dans *l'Association for Applied Solar Energy* (AASE ou AFASE) sous l'impulsion d'agents des services publics de l'État d'Arizona, d'hommes d'affaires locaux et du *Stanford Research Institute of Menlo Park* en Californie[366]. L'AFASE mobilise la communauté solaire internationale

---

[364] « L'énergie atomique à des fins militaires a été développée avec l'aide de deux milliards de dollars en trois années de guerre dans des conditions d'autorité centralisée et de secret. Il serait intéressant de voir ce qui pourrait être fait avec deux millions de dollars en trois ans pour une plus grande utilisation de l'énergie solaire à des fins pacifiques dans des conditions de décentralisation et d'initiative indépendante, avec l'aide d'une publication rapide des résultats ». DANIELS, Farrington, « Atomic and Solar Energy », *American Scientist*, Vol. 38, N°4, October, 1950, p. 548.

[365] « Compte tenu de la disponibilité de l'ensoleillement dans les régions sous-développées ou arides, un faible rendement peut être toléré à condition qu'un moteur simple puisse être conçu avec un investissement en capital suffisamment faible ». DANIELS Farington, DUFFIE John A., *op. cit*., 1955, p. 80 pour la citation, et pp. 80-103 pour la section IV.

[366] Arizona State University, Catalogue des archives de l'International Solar Energy Society (ISES) Collection, Collection MSMSS19, Records 1954-1974.

dès les rencontres de 1955 à Phoenix et à Tucson où Masson donne une conférence sur « les insolateurs à bas potentiel »[367]. Elle se dote d'instruments de diffusion de la connaissance avec la publication en 1956 d'une revue de vulgarisation, *Sun at work*, et en 1957 d'une revue scientifique, le *Journal of Solar Energy Science and Engineering*. Cette dernière publie en supplément deux annuaires, en 1955 et en 1959, qui recensent toutes les activités de recherche solaire dans le monde, et qui dressent la liste des brevets et de la littérature disponible sur le sujet depuis le XIX^{e} siècle. L'AFASE n'est pas soutenu par les pouvoirs publics fédéraux et elle souffre tout au long des années 1950-1960 de difficultés financières.

En 1955, à l'exposition des dispositifs solaires qui accompagne le *World Symposium* de l'AFASE à Phoenix, la société italienne SOMOR présente sa pompe solaire basse température ORC (petit moteur à vapeur à piston) qu'elle tente de commercialiser depuis les premiers prototypes des années 1930, alors présentés aux colons italiens en Lybie[368]. Cette même pompe dont Robinson se fait le rapporteur à New Dehli et dont Masson se procure des exemplaires à Dakar.

Cette tentative industrielle et commerciale n'est pas issue de la recherche nationale italienne mais d'une initiative privée, celle d'un artisan frigoriste. Cependant, dans les années 1920 et 1930, les recherches italiennes plus académiques ne sont pas en reste, comme l'attestent les travaux de Romagnoli, de D'Amelio, et de Dorning, notamment sur la conversion thermodynamique, qui sont parfaitement connus de la communauté solaire réunie aux USA en 1955[369]. L'AFASE conserve la pompe solaire

---

[367] MASSON, Henri, « Les insolateurs à bas potentiel », Transcription de la conférence à Tucson, « Use of solar energy », 1955, Vol. 3, pp. 47-66. En 1955-1956, Masson publie également : MASSON, Henri, « L'utilisation de l'énergie solaire dans les régions arides », *Industrie et Travaux d'Outre-Mer*, N°17, avril, 1955, pp. 226-232 ; MASSON, Henri, « Les insolateurs à bas potentiel », *Journal de la Physique et le Radium*, tome 17, supplément n°6, 1956, pp. 108-110 ; MASSON, Henri, « Les insolateurs à bas potentiel », *Chaleur et Industrie : revue mensuelle des industries du feu*, vol. 32, n°369, 1956, pp. 83-106.

[368] La pompe solaire SOMOR qui est présentée à Phoenix en 1955 correspond au modèle inventé par Ferrucio Grassi (et Gasperini) en 1948 (breveté en 1951) d'après *The Italian National Solar Energy History Project*, établit en 2006 par *l'Italian Ministry for Cultural Heritage and Activities* (http://www.gses.it/conases) ; HEYWOOD, Harold, « The use of solar energy », *Nature*, January 21, 1956, N° 4499, Vol 177, pp. 110-112 ; SOMOR Ltd, « Technical description of motor pumps powered by sun heat », 1955, *in* AFASE, *op. cit*., 1959, p. 181 ; AMERIO, A. « L'utilizzazione del calore solare e l'autarchia nazionale », *Sci. e Tech*., 1938, pp. 3-13. Dans cet article l'auteur présente la pompe solaire comme une proposition sociotechnique au service de la mise en valeur de la Lybie italienne.

[369] Tito Romagnoli dépose trois brevets industriels (deux en Angleterre et un aux USA). ROMAGNOLI, Tito, « An engine using SO_2 and used for raising water », British Patent, N°205504, 12 octobre 1922 (modifié le 11 décembre 1922, N°208171). Puis un brevet pour un moteur au « CH_3CL or other liquid », British Patent, N°290981, 21 mai 1927. Aux USA, « Sun heat motor », US Patent, N°1785651, 16 décembre 1930. ROMAGNOLI, Tito, « L'utilizzazione industriale del calore solare », *L'Elettrotechnica*,

SOMOR et en informe le *U.S. Department of Interior* en 1958 à l'occasion d'une consultation fédérale des organismes de recherches lors de l'établissement du *Saline Water Program*. La pompe SOMOR est alors présentée aux autorités comme potentiellement utile dans un dispositif de pompage et de distillation des eaux salées par compression, au regard des installation par évaporation directe déjà existantes[370].

Les expériences que Masson mène avec cette machine lui font publier un article à Dakar en 1957 dans une revue au faible rayonnement qui est pourtant intégrée à l'annuaire bibliographique de l'AFASE, « *the construction of a solar motor is described, and its efficiency studied* »[371].

Cette même année 1957, le successeur de Nizery, Gaston Réméniéras, qui fut son adjoint au sein du Service des Études et Recherches Hydrauliques de l'EDF[372], publie un article sur « L'étude de l'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie électrique » dans la *Revue Générale de l'Électricité*, dont la postérité (et donc l'impact) s'étend jusqu'aux récents travaux en histoire de l'énergie solaire[373].

Réméniéras, devenu Chef du Service des Études et Recherches Hydraulique de l'EDF en 1954, s'attache à entretenir les contacts avec la communauté scientifique solaire internationale et les expérimentateurs français. Nizery disparu, il devient l'interlocuteur de Masson. C'est pourquoi, l'évaluation par l'agent EDF des dispositifs de conversion de la chaleur solaire à basse température nous intéresse particulièrement.

Réméniéras débute sa synthèse en repoussant dans un avenir industriel incertain les applications dont les recherches sont selon lui en cours d'avancement, à savoir, l'eau

---

1923, pp. 2-10 ; D'AMELIO, Luigi, *L'impiego di vapori ad alto peso moleculare in piccole turbine a l'utilizzazione des calore solare per energia motrice*, Industria Napoletana Arti Grafiche, Naples 1935 ; D'AMELIO, Luigi, « A Steam engine using a mixture of vapors from non-miscible fluids as a solar engine with flate-plate collectors », *in Transactions of the Conference on the Use of Solar Energy – The Scientific Basis*, *Tucson*, Vol. 2, pp. 239-252. D'Amelio fait fonctionner une pompe solaire ORC en 1935, puis une usine géothermique dans les années 1940-1950 sur le même principe, voir BRONICKI, L.Y., *op. cit*., 2017, p. 31-32 ; DORNIG, Mario, « L'Energia solare », *L'Ingegnere*, 15 janvier 1939, pp. 11-18 ; 15 août 1939, pp. 681-686 ; mai 1940, pp. 341-345.

[370] U.S. Department of Interior, Office of Saline Water, "Legislative History Saline Water Conservation Act", Volume III, Part 1, 85th Congress, 1958, pp. 293-294.

[371] « La construction d'un moteur solaire est décrite et son efficacité étudiée ». MASSON, Henri, « Le moteur solaire dans les régions arides, *Bulletin et Mémoires de l'École Nationale de Médecine et de Pharmacie de Dakar*, tome V., 1957, pp. 298-302. Article cité et commenté dans AFASE, *op. cit*., 1959, p. 182.

[372] NIZERY, REMENIERAS, BEAUJOINT, « Étude sur modèle des contraintes dans les barrages », *Annales des Ponts et Chaussées*, juillet-octobre 1953.

[373] REMENIERA, Gaston, « Étude de l'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie électrique », *Revue Générale de l'Électricité*, décembre 1957, pp. 593-626.

chaude sanitaire, le chauffage des locaux, la climatisation et les fours à hautes températures.

La sentence est posée d'emblée, sans aucune réflexivité historique, comme si « les importantes recherches en cours » sont trop récentes pour avoir déjà suffisamment porté leurs fruits. Le doute n'est pas non plus permis en ce qui concerne des « usines génératrices électriques solaires de quelque importance »[374]. La formulation très vague de cette « importance » est habile car elle laisse entendre que convertir de la chaleur en électricité ne peut se faire que sous la forme d'une centrale « usine » de grande taille afin d'être rentable face aux générateurs électriques conventionnels. Or, selon l'auteur, ceci est impossible car le prix des collecteurs solaires augmente avec leur taille puisqu'ils ne peuvent capter qu'une chaleur diffuse et intermittente, mesurée au maximum en « moyenne annuelle : 0,1 à 0,2 kW/m^2 »[375].

Il s'agit là d'une moyenne abstraite complètement déterritorialisée (latitude ? régions arides ? jour et nuit ? etc.) et désocialisée (quels besoins ? où ? pour qui ? pour quoi ? comment ? etc.).

Pour conclure ses propos introductifs, Réméniéras concède que la conversion électrique de la chaleur solaire concurrencera la calorie fossile lorsque sa puissance sera réduite. Il s'agit bien là, sans les dénommer, de la place réservée aux petits moteurs solaires à basse température (à piston et à turbine vapeur, et à air chaud).

La première partie de l'article permet à Réméniéras de démontrer, par le calcul mathématique, la très faible quantité et qualité de la chaleur solaire finalement disponible à la conversion mécanique, au mètre carré de surface, par heure, par jour, par année, dans une démarche d'uniformisation (de lissage d'une courbe) spatiale et temporelle de la capacité d'accès à cette source de chaleur à basse température : « en définitive, la puissance brute moyenne annuelle du rayonnement solaire est comprise, sur une large partie de la Terre, entre 0,1 et 0,2 kW par mètre carré de surface horizontale, soit 1/5 à 1/10 de sa valeur de pointe de 1 kW par mètre carré ; l'énergie correspondante ressortie à 2,4 à 4,8 kWh par mètre carré et par jour. »[376]

La deuxième partie de l'article propose une analyse critique des dispositifs existant de conversion solaire thermodynamique en électricité.

---

[374] *Ibid*. p. 593.
[375] *Ibid*.
[376] *Ibid*. p. 603.

Sa synthèse des procédés de conversion indirecte à basse température (à bas potentiel) au moyen de capteurs plans est remarquable en ce qu'elle dresse un état de l'art à cette époque permettant une évaluation des procédés et des appareils plus ambiguë que ne le laisse volontiers entendre les propos introductifs.

Dans sa présentation des différents types de collecteurs plats, Réméniéras mentionne les expérimentations de capteurs de Masson à la suite de ses travaux avec Nizery pour l'exploitation de l'énergie thermique des mers à partir du procédé de Claude et Boucherot. L'auteur évoque ensuite les modalités du fonctionnement des collecteurs plans et les perfectionnements qui leurs sont apportés. Cette section est cruciale.

Il s'agit de caractériser la nature des différentes pertes thermiques[377] au niveau des collecteurs ainsi que de leur associer des solutions techniques qui améliorent leur rendement thermique : « le collecteur plan est un appareil très simple mais l'analyse de son fonctionnement est délicate et souvent mal comprise. »[378] En effet, et ces considérations sont intégrées par tous ceux qui travailleront à concevoir des dispositifs solaires basse température à plat, comme Masson, puis Girardier, mais elles seront bien souvent omises par leurs évaluateurs-détracteurs. Nous ne relevons ici que certains aspects qui vont s'avérer importants pour la suite de notre développement.

Premièrement, pour limiter les pertes par réflexion et par absorption, d'abord de la surface vitrée, puis par la plaque noircie au fond du capteur (l'absorbeur), il convient de choisir une orientation optimale par rapport à l'horizon (plutôt une faible inclinaison) en fonction de la latitude, ainsi que des verres aux coefficients spéciaux et à l'épaisseur dédiée. L'auteur ajoute que les caractéristiques géo-météorologiques des lieux (poussière et humidité) impactent fortement ces deux paramètres. Il omet cependant de préciser que, justement, un tel dispositif fonctionne malgré la poussière, omniprésente en zone sahélo-saharienne.

Deuxièmement, pour limiter les pertes par rayonnement de l'absorbeur, l'effet de serre doit être renforcé grâce au châssis vitré. La température limite théorique atteignable serait de 150°C. Il s'agit donc de s'approcher au maximum de cette limite supérieure.

[377] Il y en a quatre : « pertes par réflexion et absorption de la lumière incidente par la surface transparente, pertes par rayonnement, pertes par conduction et par convection entre l'absorbeur et la surface transparente), pertes par convection et par conduction entre l'ensemble du collecteur et le milieu environnant. » *Ibid*. pp. 606-607.
[378] *Ibid*. p. 606.

Réméniéras mentionne des améliorations qui sont apportées à l'absorbeur en ayant recourt à une plaque « en aluminium poli par exemple, recouverte superficiellement d'une mince couche d'un semi-conducteur. Ces derniers corps ont la propriété d'être transparents, donc non émissifs aux grandes longueurs d'ondes du rayonnement calorifique et absorbants aux longueurs d'ondes plus courtes. »[379] Dans les années 1950, les semi-conducteurs sont privilégiés dans l'élaboration des dispositifs électroniques, notamment pour les éléments intervenants dans la composition des machines informatiques (l'épopée du transistor), et, par dérivation, selon la qualité du raffinage du silicium par exemple, pour les cellules photovoltaïques. Réméniéras crédite ces recherches, sur des matériaux que nous pouvons nommer « sélectifs », puisqu'ils sélectionnent les longueurs d'ondes les plus efficientes au fonctionnement optimal des capteurs, les expérimentations de l'israélien Harry Tabor[380] et du français Pierre Aigrain. Nous relevons ces informations car elles sont pour notre propos particulièrement pertinentes. D'abord, car, comme nous allons le voir, Masson et Girardier échangent avec Harry Tabor, qui, de son côté, développe un dispositif solaire à vapeur concurrent du leur dans les années 1960-1980. Quant à Pierre Aigrain, spécialiste de la conversion thermoélectrique, il joue un rôle important au sein du gouvernement de la recherche en France, et ce jusque dans les années 1980. Enfin, car des capteurs sélectifs sont mis au point pour la SOFRETES par le CEA au début des années 1970.

Troisièmement, l'isolation du châssis est évidemment fondamentale pour limiter les pertes par échanges avec le milieu environnant (conduction et convection). Un double vitrage est nécessaire. Cependant, un optimum existe qui limite la montée en température car les pertes lui sont proportionnelles et fonction de l'aérologie. Il ne sert donc à rien, au-delà d'un seuil à déterminer, de trop vouloir isoler.

---

[379] *Ibid*. p. 607.

[380] En 1956, Tabor, dans un article de synthèse du *Scientific American*, présente l'intérêt de ses capteurs sélectifs lorsqu'ils sont couplés à un petit moteur à vapeur basse température. Tabor mentionne également les travaux de Nizery et de Masson ainsi que ceux de l'israélien Rudolph Bloch en Mer morte qui procèdent des mêmes motivations. Ses conclusions d'ordre général sont très proches de celles de Réméniéras. Pour lui, l'argument du coût trop élevé des installations solaires par rapport au faible prix des carburants fossiles est toujours celui qui est invoqué pour en écarter la faisabilité économique. En revanche, l'argument d'une impossibilité technique est irrecevable. Il mentionne les motopompes solaires SOMOR comme étant une tentative commerciale adaptée aux seules circonstances dans lesquelles, à cette époque, la conversion thermodynamique basse température est économiquement recevable : les régions arides reculées. TABOR, Harry, « Progress in Solar Power », *Scientific American*, July 1956, pp. 97-108.

Un des enseignements à tirer de ce qui précède est résumé dans la section terminale de cette seconde partie de l'article qui aborde la question de l'évaluation du rendement d'un tel capteur.

Le rendement d'un collecteur solaire est le résultat d'un équilibre entre la vitesse à laquelle l'eau circule à l'intérieur (l'eau est généralement le liquide caloporteur) et les propriétés thermiques du capteur. C'est-à-dire qu'un « bon » rendement est celui qui s'approche de l'optimum, ce dernier ne pouvant théoriquement pas dépasser les 50 %. Réméniéras utilise la formule « il est difficile d'espérer un rendement supérieur à 50 % »[381]. Mais c'est là un rendement énorme, d'autant plus lorsqu'il s'agit de capter une chaleur existante naturellement. Sa caractéristique la plus importante est que ce rendement « est indépendant de la puissance incidente »[382].

En d'autres termes, un collecteur solaire conçu et dimensionné en fonction de ses optimums est utilisable au même rendement n'importe où, quelle que soit l'intensité de la radiation.

L'évaluation sociotechnique d'une telle machine est alors potentiellement très différente d'une évaluation technicoéconomique déterritorialisante et désocialisante.

Ainsi, si nous disposons d'un moteur fonctionnant à basse température entraîné par une boucle thermodynamique fonctionnant sur un faible gradient de température, l'ensemble de la machine est donc capable de convertir une chaleur solaire à bas potentiel (et à bas coût) en force mécanique puis en électricité.

Comme nous l'avons déjà écrit, mais il convient d'insister, il ne faut pas confondre dans une évaluation, le rendement des capteurs, celui dudit moteur, et celui de la boucle thermodynamique globale. C'est d'ailleurs tout naturellement que Réméniéras considère ensuite dans son évaluation « les moteurs thermiques des usines génératrice solaires »[383].

Avec des collecteurs plats, la température de la source chaude étant basse, seul un petit moteur solaire à vapeur est envisageable. Réméniéras rappelle les limites inhérentes au cycle théorique de Carnot qui imposent un rendement indépassable à toute machine thermodynamique, et oriente plutôt l'évaluation des rendements réels à partir du cycle de Rankine (le cycle ORC type frigorifique), « plus voisin du cycle pratique réalisable »[384].

---

[381] *Ibid*. p. 610.
[382] *Ibid*.
[383] *Ibid*. p. 616.
[384] *Ibid*.

Dans ce dernier, l'usage possible du Fréon 113 comme liquide de travail est mentionné par l'auteur comme étant une réponse adaptée à la nécessité d'obtenir plus de pression à plus basse température, « cet artifice n'améliore en rien le rendement du cycle mais permet de réduire les dimensions et le prix des moteurs. »[385] Nous aimerions formuler une autre conclusion : il permet surtout d'envisager la conversion de très faible gradient à basse température. Les composés organiques artificiels de la famille des chlorofluorocarbures (des fluides gazeux liquéfiables donc) sont utilisés par la SOFRETES.

Réméniéras écrit alors que des turbines à vapeur actionnées par ces liquides « plus volatil(s) que l'eau »[386] peuvent fonctionner sur des différentiels de 20°C (il fait explicitement référence à Claude et Boucherot) pour des puissances qui dépasseraient 100 kW. Il sous-entend donc que pour des petites puissances de l'ordre du kW ou de quelques dizaines de kW, le moteur à piston est privilégié. Réméniéras prend l'exemple de la pompe d'irrigation solaire commercialisée par SOMOR (sans préciser qu'elle est à piston) qui fonctionne à l'anhydride sulfureux ou au fréon, ainsi que celle que d'Amelio (déjà mentionnée) teste en Lybie. Il conclut que tous ces convertisseurs ont un rendement très faible autour des 2 ou 3 %.

Ce qui est très surprenant ici, c'est l'amalgame réalisé par Réméniéras entre ce rendement global du cycle thermodynamique et celui du moteur (qui peut atteindre 50 %). Comme nous l'avons explicité en introduction générale, c'est là un artifice rhétorique classique de la dévaluation du rendement des petits moteurs solaires, qui vont progressivement gagner en efficacité à l'arbre moteur, mais cela, sans remettre en question le faible rendement global théorique du cycle, qui ne peut pas, par définition, être élevé. Au demeurant, ce constat n'empêche en rien de comprendre, à la lecture de Réméniéras, qu'en 1958, il confirme la conversion possible et existante (pompe SOMOR par exemple) d'un faible gradient de température en force mécanique (et donc potentiellement en électricité).

Sa remarque conclusive est encore plus pertinente pour notre thèse lorsqu'il insiste sur l'effet contraire que provoque la recherche effrénée, dans un tel dispositif, d'une augmentation de température de la source chaude à l'entrée du moteur, avec l'espoir d'en

[385] *Ibid.*
[386] *Ibid.*

augmenter le rendement, alors que dans le même temps, une telle élévation de la température dans les capteurs en limite le rendement.

Ainsi, ce qui fait l'intérêt de ces convertisseurs, c'est bien l'inutilité d'en augmenter les coûts pour atteindre de hautes températures, néfastes à leur fonctionnement et à leurs objectifs sociotechniques, mais bien plutôt le possible optimum à atteindre simplement à basse température, dans les limites intrinsèques indépassables d'un cycle thermodynamique de Rankine, en transformant un faible gradient existant, par l'intermédiaire d'un fluide volatil détendu dans un petit moteur à piston de conception simple et robuste, et ce, quelle que soit l'intensité du rayonnement incident. C'est-à-dire partout. Aucune impossibilité technique n'est donc constatée pour pomper de l'eau avec le soleil, ni pour produire de l'électricité. D'ailleurs, un peu plus loin, Réméniéras nuance la validité d'un raisonnement uniquement basé sur le calcul d'un rendement théorique sans fondement social. Il s'agit alors de bien distinguer le rendement mathématique en soi de la valeur du rendement, qui est relative aux coûts et aux prix des convertisseurs concurrents, c'est-à-dire au prix de la puissance installée. Encore faudrait-il se mettre d'accord sur les critères de concurrence. Faut-il mesurer le prix de la puissance installée en une unité monétaire, en prix de revient, en prix de vente, en parité du pouvoir d'achat, en valeur d'échange, en valeur d'usage, en service rendu en termes d'égalité d'accès à l'eau potable, d'irrigation, d'éclairage, de réfrigération, en termes de souveraineté énergétique et alimentaire, etc. ?

Justement, Réméniéras, très habilement, restreint les installations de très faible puissance uniquement au rôle d'alternative à la force animale, et non pas aux groupes Diesel. Cependant, il leur associe des caractéristiques de conception qui justifient leurs avantages par rapport aux convertisseurs conventionnels (Tabor le démontre en 1956, comme nous l'avons spécifié plus haut), ce que nous retrouvons dans la proposition sociotechnique de Masson-Girardier quelques années plus tard :

> Il faut bien noter d'ailleurs que pour des installations de très faible puissance qui pourraient rendre de réels services dans des régions arides et sous-développées, la valeur du rendement ne présente d'intérêt que dans la mesure où elle permet de réduire notablement le prix de la puissance installée ; le moteur solaire doit ici remplacer le cheval ou le chameau et son prix modique, sa robustesse, son entretien simple, et sa réparation facile sont en pratique les conditions *sine qua non* de son emploi[387].

[387] *Ibid.* p. 618.

La troisième et dernière partie de l'article de Réméniéras s'attache justement au « problème économique »[388]. L'ordre des déterminants du choix est ici clairement énoncé : « les éléments économiques qui conditionnent la mise en œuvre des diverses techniques »[389]. Une parfaite illustration de la posture technico-économique dominante de l'évaluation des techniques énergétiques qui permet (et permet toujours) de discréditer les convertisseurs solaires.

Pourtant, une fois encore, l'auteur se défausse partiellement, écartant ainsi de possibles critiques sur son objectivité, tout en en appelant à l'histoire des échecs solaires (même pas présumés) pour légitimer ces impossibles techniques : « mais, aucun des nombreux procédés étudiés n'a fait l'objet d'applications industrielles de quelques importances, et rares sont ceux qui ont dépassé le stade du laboratoire. L'examen objectif de la rentabilité des diverses applications de l'énergie solaire est de ce fait particulièrement délicat »[390]. Nonobstant cette affirmation, la certitude de Réméniéras semble à la fois éloignée des réalités historiques des expérimentations solaires depuis le XIX^{e} siècle, tout en étant contradictoire.

Premièrement, car aucune étude sérieuse, ni à l'époque, ni aujourd'hui (sauf celle de Caille), n'a mis en lumière les rapports de force qui écartèrent les tentatives solaires passées comme celles de Mouchot ou celles de Shuman (et de toutes les autres), cette dernière ayant été pour Réméniéras, « abandonnée en 1914, son exploitation étant jugée moins économique que celle d'une station d'irrigation à moteurs classiques »[391]. L'argument est ici sentencieux, sans aucun fondement historique, ni étayé d'aucune référence, ni d'aucune preuve empirique.

D'ailleurs, que penser des pompes SOMOR alors en cours de commercialisation ? Certes, il s'agit là encore d'une tentative d'une PME isolée, et non pas de celle d'un champion national comme l'EDF qui monopolise un secteur avec une solution technique unique, ici les hautes températures fossiles, et bientôt leur récupération à la sortie des chaudières nucléaires. Souvenons-nous du point de départ de notre raisonnement : l'expérimentateur solaire possède-t-il son propre outil de production ou non ?

---

[388] *Ibid*. p. 623.
[389] *Ibid*.
[390] *Ibid*.
[391] *Ibid*.

En 1958, la société d'économie mixte l'Énergie des Mers dont nous avons vu qu'elle propose une solution parfaitement envisageable d'après Nizery, est dissoute, sans avoir été en mesure de convertir des calories en valeur de rendement. Là encore, aucune étude socio-historique approfondie et indépendante n'a été diligentée pour établir l'ordre des facteurs qui détermine le choix d'abandonner la conversion de ce faible gradient naturel à l'étude depuis l'Entre-deux-guerres. Réméniéras, qui est aux premières loges depuis sa position à l'EDF, n'en touche pas un mot.

Deuxièmement, pour qu'une solution technique soit rentable, au sens où il l'entend, il faut justement qu'elle bénéficie d'une production en série. Or, pour cela, la condition préalable n'est pas d'ordre économique, puisqu'aucune solution technique ne l'est par définition, avant de l'avoir été par induction, c'est-à-dire par industrie. Une fois la solution engagée dans un processus d'industrialisation, il devient possible d'en évaluer les coûts économiques et sociaux. Puis la question continue d'être politique : après avoir pris la décision d'en expérimenter la validité sociotechnique, ses coûts et ses prix sont déterminés. Seulement, la priorité d'un mode de conversion énergétique sur un autre est décidée avant l'invention de son marché. En ce qui concerne les dispositifs fonctionnant avec des capteurs à plats, les économies d'échelles peuvent reposer sur l'effet de série mais pas sur l'effet de taille comme nous l'avons déjà relevé dans les propos de Réméniéras. En effet, les coûts de production augmentent avec la surface du capteur. En revanche, rien n'empêche de multiplier le nombre de capteurs, convenablement dimensionnés par rapport à leur optimum thermique.

Réméniéras discrédite ensuite l'avis de « journalistes techniques…trop optimistes »[392], en dénonçant leur incompétence. Puis, c'est le tour des chercheurs, qui, ne pouvant être incriminés pour leurs manquements scientifiques sur les questions techniques, le sont sur leur ignorance « des réalités industrielles »[393].

D'ailleurs, Réméniéras oublie de fustiger un dernier acteur de cette proposition sociotechnique. Ou bien est-ce de ne pas le mentionner qui ne lui donne même pas le droit d'exister ?

Nous pouvons imaginer la ligne manquante concernant les pompes SOMOR en particulier, et les entrepreneurs solaires indépendants en général : ceux-là n'ont pas la

[392] *Ibid*.
[393] *Ibid*.

crédibilité de la science et de ses plus prestigieuses institutions et grand corps techniques d'État, ni celle des leaders sectoriels industriels. Mais il est gênant de nuancer la pertinence de cette crédibilité d'appareil par le pragmatisme technique artisanal de ces acteurs, d'autant plus s'ils se doublent d'une capacité de production industrielle minimale (un atelier, une petite usine, un embryon de réseau commercial, etc.). Il faut donc comprendre que parmi toute la communauté scientifique solaire internationale (Daniels, Tabor, Masson, etc.), que parmi tous les commentateurs du commun (journalistes et consommateurs-citoyens), que parmi tous les techniciens-entrepreneurs, seule l'évaluation de l'agent EDF est parfaitement éclairée sur la question. Même si des voix dissonantes comme celle de Nizery sont difficiles à écarter. Mais Nizery est mort.

Pour clore sa liste des avertissements préalables à ses conclusions sur la faisabilité d'ordre économique de convertir la chaleur solaire basse température en électricité, Réméniéras déclare qu'il retire de son analyse les « méthodes directes », c'est-à-dire ici les convertisseurs photovoltaïques, « unanimement jugées trop coûteuses »[394]. L'auteur assoie sa décision sur un calcul de prix de revient du kWh photovoltaïque en 1958 alors qu'il n'existe que des prototypes à usages terrestres très spécifiques (télécommunication). Réméniéras écarte les convertisseurs solaires thermodynamiques basse température des possibles pour les mêmes raisons qu'il refuse les cellules photovoltaïques : il ne souhaite pas les penser comme industrialisables, il ne raisonne que sur des prototypes. Les deux types de convertisseurs possèdent chacun leurs intérêts d'application mais ils sont ici hors de propos puisque l'évaluateur se focalise uniquement sur le prix de revient du kWh (en comparaison aux unités fossiles), qui est en fait d'abord fonction de la décision d'industrialiser la fabrication et la commercialisation. On ne peut comparer un prototype à un objet industriel existant. Cela n'a aucun sens.

En guise de bilan, Réméniéras se montre encore une fois habile à écarter la chaleur à basse température tout en reléguant son potentiel électrique à l'ailleurs et à plus tard.

Premièrement, il reconnaît l'intérêt du différentiel inverse d'avec une centrale conventionnelle entre les frais d'investissement et les frais d'exploitation. Mais l'intermittence journalière et saisonnière du rayonnement et « la quasi-impossibilité économique (c'est nous qui soulignons) d'emmagasiner l'énergie en vue de régulariser sa production » disqualifie d'emblée la centrale solaire ne serait-ce que par rapport à une

[394] *Ibid*.

centrale au fil de l'eau[395]. Nous verrons que cette régularisation est en fait techniquement possible, ce qu'il laisse simplement entendre. Malgré ces inconvénients, cette conversion en courant électrique est uniquement envisageable sur les lieux de ses usages permettant ainsi de pallier les pertes et les charges liées à l'acheminement du courant ou du combustible. De ce fait, seules les populations des régions situées loin du centre, et aux faibles besoins, sont susceptibles d'être économiquement intéressées par des installations de petites puissances.

Deuxièmement, il propose de confirmer cette relégation des dispositifs basse température à capteurs plans aux espaces périphériques dominés par un calcul de leur rentabilité par rapport aux centrales classiques. Sans surprise, les résultats présentent un convertisseur solaire au très mauvais rendement, très peu puissant et aux collecteurs très chers (prototypiques). La question du possible bon rendement mécanique des petits moteurs n'est pas abordée. Pour l'évaluateur, seules des installations de grande taille à concentration et à vapeur d'eau (les centrales à tour) peuvent espérer concurrencer la chaudière à fuel. La complémentarité n'est pas envisagée.

Finalement, dans son ultime conclusion, Réméniéras fait tout bonnement disparaître la conversion thermodynamique à bas potentiel des applications possiblement rentables. Seules subsistent, pour un avenir proche, « l'alimentation d'installations isolées de chauffage domestique de l'eau et des habitations, de climatisation des locaux, de distillation des eaux saumâtres »[396]. L'article de Réméniéras est immédiatement suivi d'une courte note sur « la première usine génératrice nucléaire de grande puissance…mise en service en octobre 1956 à Calder Hall dans le nord de l'Angleterre »[397]. Le texte présente le dispositif de 100 MW qui, grâce à la conversion thermodynamique d'une chaleur à 350°C, fournit, en plus du plutonium, un kWh à 1 penny, c'est-à-dire à seulement 0,3 centimes de penny de plus que le kWh fossile.

Si nous présentons avec autant d'insistance les termes de l'évaluation de Réméniéras (et le prolongement de ses conclusions), c'est qu'ils composent un ensemble de représentations très normatives qui entrent dans la fabrication d'une solarité qui ne change pas, ou seulement à la marge, jusque dans les années 1980. Cette expertise des impossibles technico-économiques et son auteur jouent un rôle dans la position des

[395] *Ibid*.
[396] *Ibid*.
[397] *Ibid*. p. 626.

pouvoirs publics vis-à-vis du solaire basse température et de ses acteurs, notamment de Masson et de sa proposition par et pour l'Afrique. Les convertisseurs thermodynamiques de la chaleur solaire à bas potentiel sont marginalisés par l'action publique pour toutes les raisons technico-économiques énoncées par l'agent de l'EDF, dans la revue de l'EDF, à l'époque où les gouvernements de la IV^{e}, puis ceux de la V^{e} République, envisagent le programme électronucléaire français, parachèvent la mise en valeur hydroélectrique du territoire ainsi que la substitution des centrales à charbon par des centrales au fuel. A l'étranger, l'IGUFE de l'EDF s'attèle à prolonger les deux derniers objectifs par le biais de sociétés à économie mixte, mais uniquement pour le profit des centres urbains coloniaux, de leurs activités portuaires, de l'exploitations des matières premières, ainsi que pour satisfaire leur clientèle parmi les élites africaines[398]. Dans ces années 1950 finissantes, l'EDF ne soutient aucun projet solaire, ni dans les colonies, ni en métropole. Plus précisément, aucun projet de conversion des basses températures naturelles n'est envisagé, même pas géothermiques (nous y reviendrons). Un non-choix solaire parfaitement légitimé par les termes de l'évaluation de Réméniéras mais qui divergent profondément des conclusions de la communauté scientifique solaire internationale et des résultats obtenus par ses expérimentateurs.

2.3 L'administration de la chaleur à bas potentiel

Depuis 1954, l'administration de la Recherche nationale est animée par de nouvelles institutions du gouvernement de la recherche qui doivent notamment coordonner des études sur la chaleur à bas potentiel[399]. Cette année-là, Pierre Mendès France crée le Conseil Supérieur de la Recherche Scientifique et du Progrès Technique (CSRSPT), « un type d'organisation tout à fait inédite ne relevant pas seulement de l'instance consultative, mais aussi de l'administration de mission chargée d'objectifs

[398] BELTRAN, Alain, *op. cit*., 1996.
[399] CHATRIOT Alain et *al*., *Le gouvernement de la recherche*, La Découverte, 2006. Marrec mentionne la présence de Réméniéras dans ces nouvelles institutions de la recherche nationale. MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, pp. 421-426.

nationaux »[400]. Réméniéras participe à certaines des cinquante-cinq commissions et groupes de travail qu'il coordonne[401]. Il intègre les groupes « énergie solaire à bas potentiel », « pluie artificielle » et « stockage de l'énergie »[402]. La conversion de l'énergie solaire à basse température est donc une orientation prise en considération par la Recherche nationale.

La question de son stockage est d'ailleurs centrale. C'est la principale difficulté à surmonter pour proposer un dispositif qui fonctionne constamment alors que la ressource est par nature intermittente. Il faut bien comprendre que le soi-disant verrou technologique de l'impossible stockage de la chaleur solaire à bas potentiel participe à écarter la trajectoire solaire. Ainsi, le choix de l'agent EDF Réméniéras comme représentant des recherches sur la chaleur solaire à bas potentiel et sur son stockage interroge. D'autant plus après la lecture approfondie de sa synthèse publiée à la fin de l'année 1958 qui déconsidère les potentiels théoriques et pratiques de cette technique.

Si Réméniéras est l'agent EDF en charge de veiller les expérimentations solaires en France et à l'étranger (il fait partie de l'AFASE et de AFEDES), et que Marrec précise qu'il est en contact direct avec Trombe (hautes températures solaires), Aigrain (thermoélectricité) et Masson (basses températures en Afrique)[403], il n'est pas, comme eux, un chercheur et un expérimentateur solaire.

Sa position d'évaluateur de la chaleur solaire à bas potentiel dans ces nouvelles institutions de la Recherche nationale confère à l'EDF une influence importante sur les orientations des choix de trajectoires à soutenir. Marrec donne des exemples de projets solaires pour lesquels Réméniéras est consulté dans les années 1950-1960 mais qu'il rejette[404].

L'EDF est d'ailleurs représenté au sommet du CSRSPT par Pierre Ailleret qui est, en 1954, Directeur des études et des recherches de l'entreprise nationale d'électricité[405]. Nizery est alors son adjoint. Ailleret, qui n'ignore donc rien des possibles sociotechniques

---

[400] DUCLERT, Vincent, « Pierre Mendès France et la recherche. L'avenir d'une politique », *Matériaux pour l'histoire de notre temps,* n°63-64, 2001. Pierre Mendès France et la Modernité - Actes du colloque - Assemblée nationale - 15 juin 2001. pp. 119-131 et p. 122 pour la citation.
[401] BIDAULT, Ghislaine, « Le Conseil supérieur de la recherche scientifique et du progrès technique », *in* CHATRIOT Alain et *al*., *Le gouvernement de la recherche*, La Découverte, 2006, pp. 76-77.
[402] Sur Réméniéras lire MARREC, Anaël, *op. cit*., pp. 421-426
[403] *Ibid*.
[404] *Ibid*.
[405] Conseil supérieur de la recherche scientifique et du progrès technique (*Journal officiel*, 3 décembre 1954, p. 11279), *in* CHATRIOT Alain et *al*., *op. cit*., 2006, p. 320.

de la chaleur solaire à bas potentiel pour la zone aride, participe avec Masson à la Conférence des Nations-Unies sur les énergies nouvelles à Rome en 1961 (voir plus loin).

De 1955 à 1959, quatre grands colloques sur la Recherche nationale sont organisés sous l'égide du CSRSPT et de Mendès France (qui n'est plus à Matignon) « en associant aux politiques, comme il l'avait fait au gouvernement, les savants et les administrateurs », c'est-à-dire « des trois groupes par lesquels s'élabore en démocratie une politique scientifique »[406] (les usagers sont donc absents)[407]. Le dernier, qui se déroule à Dakar-Abidjan en décembre 1959, porte sur « La recherche scientifique et le développement économique et social des pays africains »[408]. La conversion de la chaleur solaire à bas potentiel, reléguée aux régions arides en retard de développement, trouve sa place dans cet événement. Masson y participe avec quatre communications qui portent sur les différents potentiels de conversion des faibles gradients de températures naturelles et notamment la conversion thermodynamique au moyen de petits moteurs solaires à capteurs plans : « La rentabilité de l'énergie solaire », « La production d'eau distillée grâce à la chaleur solaire », « La réfrigération solaire », « La production de la force motrice à partir du soleil »[409]. Les travaux de Masson ne sont pas ignorés des sachants et des gouvernants, tout en étant tenus à l'écart des possibles par les énoncés solaires de l'agent EDF Réméniéras.

En décembre 1959, alors que le CSRSPT a disparu sous sa forme initiale depuis l'automne 1958, De Gaulle crée le Comité Interministériel de la Recherche Scientifique et Technique (CIRST), le Comité Consultatif de la Recherche Scientifique et Technique (CCRST)[410], le fameux « Conseil des douze sages »[411], qui est « le prolongement opérationnel du Conseil supérieur » de Mendès France[412], et la Délégation Générale à la

[406] DUCLERT, Vincent, *op. cit*., 2001, p. 122.
[407] Pour Laura Nader, l'acteur légitime du choix d'un convertisseur ne peut être que l'utilisateur. Or, le processus décisionnel en matière de politique énergétique dans les démocraties occidentales l'écarte. NADER, Laura, « The Politics of Energy : Toward a Bottom-Up Approach », *in* NADER, Laura (dir.), *The Energy Reader*, Whiley-Blackwell, 2010, pp. 313-317.
[408] *Ibid*.
[409] MASSON, Henri, « La rentabilité de l'énergie solaire », « La production d'eau distillée grâce à la chaleur solaire », « La réfrigération solaire », « La production de la force motrice à partir du soleil », Communications au Colloque de la Recherche scientifique Abidjan-Dakar, décembre 1959.
[410] Décret n° 58-1144 du 28 novembre 1958 concernant la recherche scientifique et technique *(Journal officiel*, 30 novembre 1958, p. 10750), *in* CHATRIOT Alain et *al*., *op. cit*., 2006, p. 327.
[411] TEISSIER, Pierre, *op. cit*., 2015, p. 210.
[412] DUCLERT, Vincent, *op. cit*., 2001, p. 122.

Recherche Scientifique et Technique (DGRST) : « fin 1958 s'organise donc une structure tripartite : le CCRST conseille, le CIRST décide et la DGRST exécute »[413].

Trombe et Aigrain[414] font partie du premier CCRST, de 1958 à 1960[415]. Les applications de l'énergie solaire sont donc considérées comme stratégiques (une question ? un problème ? des enjeux ?). Mais dans quel sens ? Celui d'une volonté politique de développement rapide d'alternatives ou bien de simple concertation autour d'une alternative à circonscrire et à contrôler rapidement ?

L'analyse du choix de ces deux figures solaires peut nous aider à apprécier quelles applications de l'énergie solaire entrent au CCRST. Car certaines restent dehors.

En effet, l'énergie solaire n'est prise en considération qu'aux travers de deux types d'applications : la conversion des hautes températures par concentration pour des applications industrialo-militaires (Trombe et son four), et les convertisseurs thermoélectriques de très faible puissance, réservés à des dispositifs de haute-technologie, là encore plutôt militaro-industriels (télécommunication, fond marin, espace, etc.). La chaleur solaire à bas potentiel est absente de cette représentation, et de ce fait totalement écartée des possibles.

Réméniéras fait toujours partie de la nouvelle organisation institutionnelle en siégeant dans un de ses neuf comités d'études, le « Comité de conversion des énergies » avec Trombe et Aigrain[416]. Réméniéras est chargé des études sur « l'accumulation de l'énergie »[417] en continuité de ses travaux pour l'EDF[418]. En 1961, Trombe, Aigrain et Réméniéras, accueillent Marcel Perrot qui mène ses recherches en Algérie sur la

---

[413] SIMONCINI, Nicolas, « Histoire de la recherche sur les piles à combustible en France des années soixante aux années quatre-vingt », thèse de doctorat d'histoire, sous la direction de BELOT, Robert, Université de Bourgogne Franche-Comté, 2018, pp. 65-66. Nous n'entrons pas ici dans les détails de la création de la DGRST qui fut d'abord celle d'un Délégué avant de se muer en une Délégation.

[414] « Pierre Aigrain joue un rôle important dans la politique de la science en France de la fin des années cinquante à la fin des années soixante-dix : après avoir créé le Laboratoire de physique des solides de l'ENS en 1950, il est notamment directeur scientifique des Recherches et Moyens d'essais du ministère des Armées de 1961 à 1965, directeur des Enseignements supérieurs de 1965 à 1967, délégué général de la DGRST de 1968 à 1973 et secrétaire d'État à la Recherche de 1978 à 1981. Source : BARUCH, Pierre, BANTIGNY, Ludivine, « Pierre Aigrain et le Laboratoire de physique des solides de l'École normale supérieure Genèse et développements des semi-conducteurs : 1948-1965 », in Bulletin de la Société Française de Physique, 136, 2002, p. 3. », SIMONCINI, Nicolas, *op. cit.* 2018, p. 66.

[415] Décret du 29 novembre 1958 portant nomination des membres du Comité consultatif de la recherche scientifique et technique (*Journal officiel*, 30 novembre 1958, p. 10751), *in* CHATRIOT Alain et *al*., *op. cit*., 2006, p. 329.

[416] Institution de comités d'études (*Journal officiel*, 15 décembre 1959, p. 11931-11932) *in* CHATRIOT Alain et *al*., *op. cit*., 2006, p. 333 ; SIMONCINI, Nicolas, *op. cit*., 2018, pp. 132-133.

[417] SIMONCINI, Nicolas, *op. cit*., 2018, p. 104.

[418] SIMONCINI, Nicolas, *op. cit*., 2018, p. 106.

concentration solaire (hautes températures et applications agro-industrielles coloniales)[419].

L'organisation institutionnelle tripartite centrale de la Recherche nationale, censée la coordonner, reconnaît donc dans les potentielles applications de la conversion de la chaleur solaire : l'existence des hautes températures et des hautes technologies solaires, les expérimentations menées à la faculté des sciences d'Alger pour la mise en valeur coloniale du Sahara français, ainsi que les éléments de la solarité dominante présentés par Réméniéras (ses possibles et ses impossibles). Mais en aucun cas, ni la conversion thermodynamique basse température, ni le solaire par et pour l'Afrique francophone postcoloniale : Masson, l'Université de Dakar, l'Afrique de l'Ouest des indépendances et les applications solaires destinées à satisfaire les besoins quotidiens élémentaires des villageois des zones arides rurales isolées, ne sont pas intégrés par le pouvoir central au solaire officiel. Ce faisant, ce solaire-là est à nouveau écarté, nié et ignoré.

A partir de décembre 1962, plus aucun représentant du solaire français, ni métropolitain et encore moins d'Algérie ou du Sénégal, est représenté dans le CCRST. Seul Aigrain poursuit une carrière dans la haute administration de la recherche[420].

Cependant, comme nous le verrons, la DGRST, le CNRS, et le ministère de la Coopération suivent toujours les expérimentations de Masson au début des années 1960.

2.4 Vers une solarité divergente

Si Masson et le solaire d'Afrique de l'Ouest francophone, issu désormais d'un laboratoire sénégalais et non plus de celui d'une colonie, sont marginalisés dans et par les institutions de la Recherche nationale en 1960, leur crédibilité et leur rayonnement scientifique et technique se maintiennent.

Masson publie deux séries de deux articles de synthèse (1960 et 1962) dans les très prestigieuses *Annales des Mines*, la revue du corps des Mines. Il participe également

[419] Mise en œuvre des actions concertées financées par le fonds de développement de la recherche scientifique et technique *(Journal officiel*, 10 mars 1961, p. 2483-2484-2485), *in* CHATRIOT Alain et *al*., *op. cit*., 2006, pp. 336-341 ; SIMONCINI, Nicolas, *op. cit*., 2018, p. 116.

[420] Décret du 14 décembre 1962 modifiant la composition du Comité consultatif de la recherche scientifique et technique *(Journal officiel*, 16 décembre 1962, p. 12267), *in* CHATRIOT Alain et *al*., *op. cit*., 2006, pp. 349-351.

à la Conférence des Nations-Unies de Rome en 1961 sur les sources nouvelles d'énergie. Masson y défend évidemment l'intérêt et la faisabilité de la conversion de la chaleur solaire à basse température en de faibles puissances d'abord utiles pour les besoins des populations pauvres des régions arides et isolées.

Sa première série de deux articles, publiée aux mois de mars et d'avril 1960, dresse un état de l'art très complet des dispositifs existants, les mêmes que ceux évalués par Réméniéras, mais l'analyse y est (évidemment ?) plus complaisante à l'égard des appareils à insolateurs plans, dont il vante les mérites sociotechniques en adéquation avec les caractéristiques des populations et des régions cibles :

> Certaines applications de l'énergie solaire ne demandent pas de températures supérieures à 100°C. Dans ces conditions, on peut capter la chaleur grâce à des insolateurs à bas potentiels qui ont l'avantage d'être moins onéreux et de ne demander aucun entretien. De plus, la température étant moins élevée, les pertes sont plus faibles et le rendement meilleur. Enfin, l'absence de concentration permet d'utiliser la radiation diffuse particulièrement abondante par temps nuageux[421].

La production de force motrice à partir de chaleur à bas potentiel est pour lui d'autant plus pertinente que « le problème théorique ne présente aucune difficulté. Il suffit de trouver un fluide adapté aux températures des sources »[422], sous-entendu des sources froides et chaudes dont l'écart peut être très faible comme nous l'avons déjà explicité (20°C dans le cas de l'énergie thermique des mers par exemple). C'est d'ailleurs sur ce point précis, qu'à la même époque en Israël, Tabor et Bronicki mènent des expérimentations sérielles sur tous les fluides gazeux liquéfiables disponibles et utilisables dans des petits moteurs solaires ORC[423]. Ils présentent leurs résultats en présence de Masson à la Conférence de Rome en 1961[424].

Masson propose de s'intéresser aux nouveaux fluides synthétiques tels les fréons qui se vaporisent à basse température. Sa lecture de l'amélioration du rendement de

---

[421] MASSON, Henri, « L'Énergie solaire et ses applications », *Annales des Mines*, mars 1960, p. 24.
[422] MASSON, Henri, « L'Énergie solaire et ses applications », *Annales des Mines*, avril 1960, p. 159.
[423] BRONICKI, L.Y., *op. cit*., 2017 ; EINAV, Amnon, « Solar Ernergy Research and Development Achievements in Israël and Their Practical Significance », *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 126, 2004, pp. 921-928.
[424] DANIELS, Farington, *Direct use of the Sun*, 1964, p. 268 ; TABOR Harry, BRONICKI L. Y., « Petite turbine pour centrale autonome à énergie solaire », *in* ONU, *Actes officiels de la Conférence des Nations Unies sur les sources nouvelles d'énergie. Énergie solaire, énergie éolienne et énergie géothermique, Rome, 21-31 août 1961*, Nations Unis, New York, volume 4, Energie solaire I, 1963, S/54, pp. 68-81.

l'installation d'après le second principe de la thermodynamique lui fait interpréter les choses un peu différemment de Réméniéras.

Il suggère de diminuer la température de la source froide plutôt que d'augmenter celle de la source chaude puisqu'une telle action est contre-productive en augmentant les pertes thermiques : « étant donné le caractère intermittent de l'énergie solaire, on aurait par conséquent intérêt à stocker le froid nocturne qui serait utilisé durant le jour. L'idéal serait évidemment d'utiliser un changement de phase associé à une absorption ou une libération de chaleur. »[425] Les fluides gazeux liquéfiables frigorifiques à basses températures sont donc particulièrement adaptés puisqu'ils cèdent des calories lorsqu'ils se liquéfient par compression et/ou par refroidissement (génèrent du chaud) et qu'ils absorbent des calories lorsqu'ils se vaporisent au contact de la source chaude (génèrent du froid).

A propos des différents types de petits moteurs disponibles pour ainsi convertir la chaleur solaire à bas potentiel, Masson mentionne les expérimentations sur moteurs à air chaud (cycle ouvert d'Ericson ou fermé de Striling)[426] de la société Philips et des Indiens Ghai et Khanna. Mais ils nécessitent des températures moyennes, c'est-à-dire supérieures à 100°C-150°C, atteintes avec des capteurs à concentration.

Pour Masson, la mise au point d'une turbine à gaz apparait comme un des meilleurs objectifs pour convertir une chaleur solaire concentrée au-delà des 150°C dans des installations de moyennes puissances, c'est-à-dire de l'ordre d'une dizaine de kW et plus, alors qu'il faut plutôt envisager des machines de 1 kW à piston pour les basses températures.

Lorsqu'il écrit ces lignes au début des années 1960, Tabor est en train de travailler à un tel moteur tournant : « nous travaillons maintenant à une petite turbine fonctionnant à 150°C, non pas à la vapeur, mais avec un liquide épais, de poids moléculaire élevé, a ajouté M. Tabor. L'Institut du Negev cherche maintenant à réaliser un groupe moteur de

[425] MASSON, Henri, *op. cit*., avril 1960, p. 159.

[426] Dans un moteur dit à air chaud et à cycle ouvert, la source chaude est fournie par une source externe au dispositif (moteur à énergie externe ou à combustion externe). Cela signifie que le moteur peut théoriquement être alimenté par n'importe quelle source, telles la chaleur solaire ou bien une combustion. BONNET, Sébastien, « Moteurs thermiques à apport de chaleur externe : étude d'un moteur STRIRLING et d'un moteur ERICSSON », thèse de doctorat en énergétique, sous la direction de STOUFFS, Pascal, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2005.

10 CV, qui, selon M. Tabor, pourrait rivaliser avec les groupes Diesel, surtout en ce qui concerne les frais d'entretien. »[427]

En guise d'évaluation des possibles, Masson suggère de rendre compte du fonctionnement, non pas de prototypes qu'il ne possèdent pas, mais plutôt d'« une des seules réalisations industrielles existant actuellement »[428], dont il dispose d'un exemplaire à l'IPM de Dakar : la fameuse pompe solaire de l'Italien SOMOR.

Les essais sont menés au fil du soleil avec un différentiel de 30°C pour des moyennes de source chaude à 60°C et de source froide à 30°C. Masson remarque qu'il faut bien prendre en considération que les températures des deux sources augmentent simultanément au cours de la journée : « un tel ensemble a fonctionné à Dakar pendant plus de 6 mois sans autre intervention que celle de l'opérateur chargé d'orienter l'insolateur et d'effectuer les opérations élémentaires de graissage. Une caractéristique de l'appareil est que le système d'aspiration breveté permet de puiser l'eau à des profondeurs allant jusqu'à 100 mètres. »[429] Il annonce de nouvelles expérimentations à venir avec un autre exemplaire de pompe SOMOR de cylindrée supérieure (2 CV).

Masson consacre la dernière partie de sa synthèse aux « considérations financières »[430].

Après avoir une énième fois insisté sur la question à résoudre du stockage de cette chaleur à bas potentiel pour en faire une alternative industrielle comparable aux convertisseurs fossiles qui peuvent fonctionner jour et nuit, sept jours sur sept et en toutes saisons, il propose néanmoins de retenir pour évaluation un critère qui les différencie absolument.

Si le convertisseur conventionnel de chaleur fossile en force mécanique trouve l'essence même de son usage dans le fait que la machine peut être localisée n'importe où, puisqu'il s'agit alors d'y acheminer le combustible, dont le prix est la variable d'ajustement, la rentabilité du convertisseur solaire se doit de lui être comparée uniquement en fonction des caractéristiques du lieu pour lequel il est envisagé.

Dit autrement, il faut choisir une solution technique, soit comme une réponse unique à imposer à des situations socio-spatiales variées, soit comme une réponse variant

[427] *Le Courrier de l'Unesco*, septembre 1958, p. 11.
[428] MASSON, Henri, *op. cit*., avril 1960, p. 160.
[429] *Ibid*. p. 160.
[430] *Ibid*. p. 173.

selon les besoins locaux des périphéries à l'aune de leurs propres paramètres et non pas à ceux du centre. On est alors face à un choix sociotechnique.

Dans un souci d'illustrer ses propos de façon très pédagogique, Masson décrit les installations de pompage et d'irrigation que les congressistes ont pu observer en Inde, en marge du congrès de l'Unesco de 1954 : « de telles considérations montrent que l'énergie solaire peut entrer en compétition avec l'énergie humaine ou animale dans les pays où les autres énergies ne peuvent être obtenues qu'à des prix trop élevés »[431]. Bien entendu, Masson n'est pas dupe de ces bonnes intentions car le coût d'une pompe solaire, même si celui de son exploitation est faible et si sa durée d'amortissement est longue, reste à cette époque « dix fois plus chère qu'une pompe à essence ou qu'une pompe électrique »[432]. Mais encore faut-il que ces dernières puissent recevoir le carburant ou être raccordées au réseau, l'énergie solaire pouvant « être utilisée là où elle est produite »[433].

Afin d'appuyer encore plus ses propos, Masson mobilise une étude menée par le *Stanford Research Institute* aux USA qui établit un « indice de l'utilité de l'énergie solaire en un lieu donné »[434]. L'étude porte sur un espace géoéconomique au spectre large, intégrant les USA, des villes et des régions arides des pays du tiers-monde. L'indice est construit à partir de différentes variables tels le prix de vente des différents carburants et de l'électricité (lumière, etc.), de la main d'œuvre et « du matériel nécessaire pour construire les appareils »[435] (c'est-à-dire la machine, le convertisseurs).

Les résultats sont particulièrement éloquents car ils démontrent surtout que l'utilité de l'énergie solaire dépend avant tout de critères sociaux et non pas uniquement de l'intensité de la radiation solaire, comme l'atteste la reproduction du graphique ci-dessous[436].

[431] *Ibid*. p. 174.
[432] *Ibid*. p. 174.
[433] *Ibid*. p. 174.
[434] *Ibid*. p. 174.
[435] *Ibid*. p. 174.
[436] *Ibid*. p. 175.

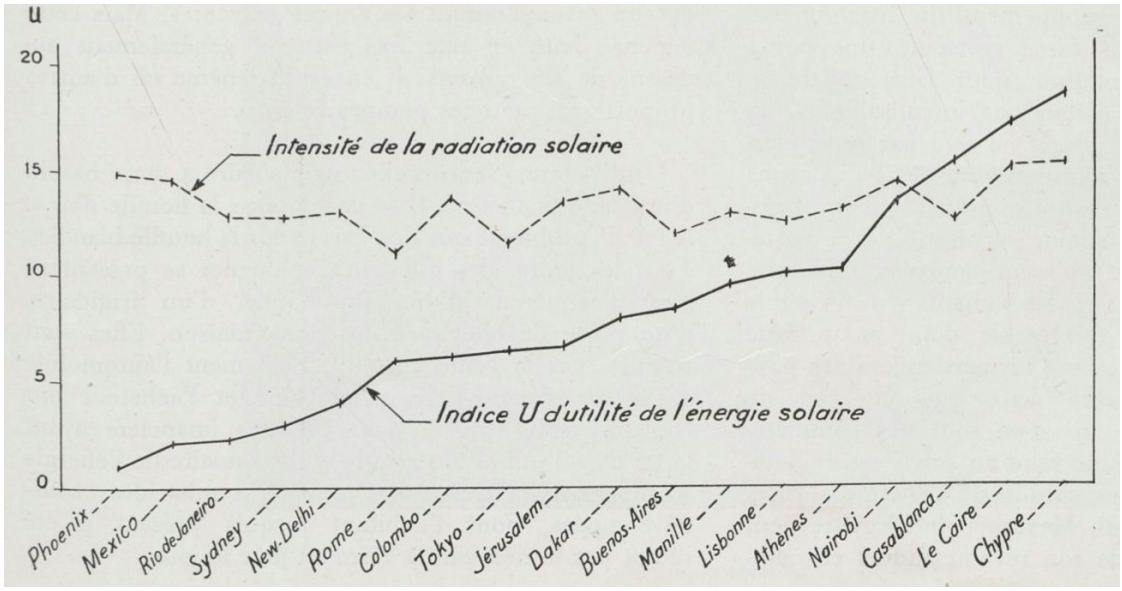


Figure 1 : indice d'utilité de l'énergie solaire. MASSON, Henri, *op. cit*., avril 1960, p. 175.

Bien que les solarités défendues par Masson et Réméniéras diffèrent dans leurs approches des critères d'évaluation de la machine solaire, ils s'entendent néanmoins pour réserver l'usage du convertisseur solaire thermodynamique basse température aux périphéries ultra-dominées, c'est-à-dire aux zones arides isolées des pays pauvres (que faire du désert israélien ou américain ?). « On peut se demander pourquoi dans ces conditions, le moteur solaire n'a pas eu l'essor auquel on aurait pu s'attendre »[437]. En effet, puisqu'il n'y a ni obstacle technique (rien d'infaisable), ni économique (selon des critères de rentabilité géo-socio-localisés) pour envisager l'équipement de ces communautés villageoises. Alors pourquoi ?

La réponse est peut-être justement à aller chercher du côté de ceux qui en ont besoin. C'est ce que tente Masson en conclusion : « l'énergie solaire intéresse donc en priorité les petits exploitants ou même les particuliers des pays sous-développés, c'est-à-dire ceux qui ont peu de moyens financiers quand ils n'en sont pas complètement dépourvus… L'utilisateur éventuel d'énergie solaire a donc besoin d'une aide financière. »[438]

La rhétorique technicoéconomique que supporte mal le petit moteur solaire s'évanouit alors face à la variable réellement déterminante de son existence sociale : la décision politique. « Supposons que nous soyons sortis de ce cercle vicieux et essayons

[437] *Ibid*. p. 159.
[438] *Ibid*. p. 176.

d'appliquer les considérations précédentes à l'Afrique de l'Ouest pour en tirer quelques conclusions…Où en est sur ce point l'Afrique de l'Ouest si riche en énergie solaire ? »[439]

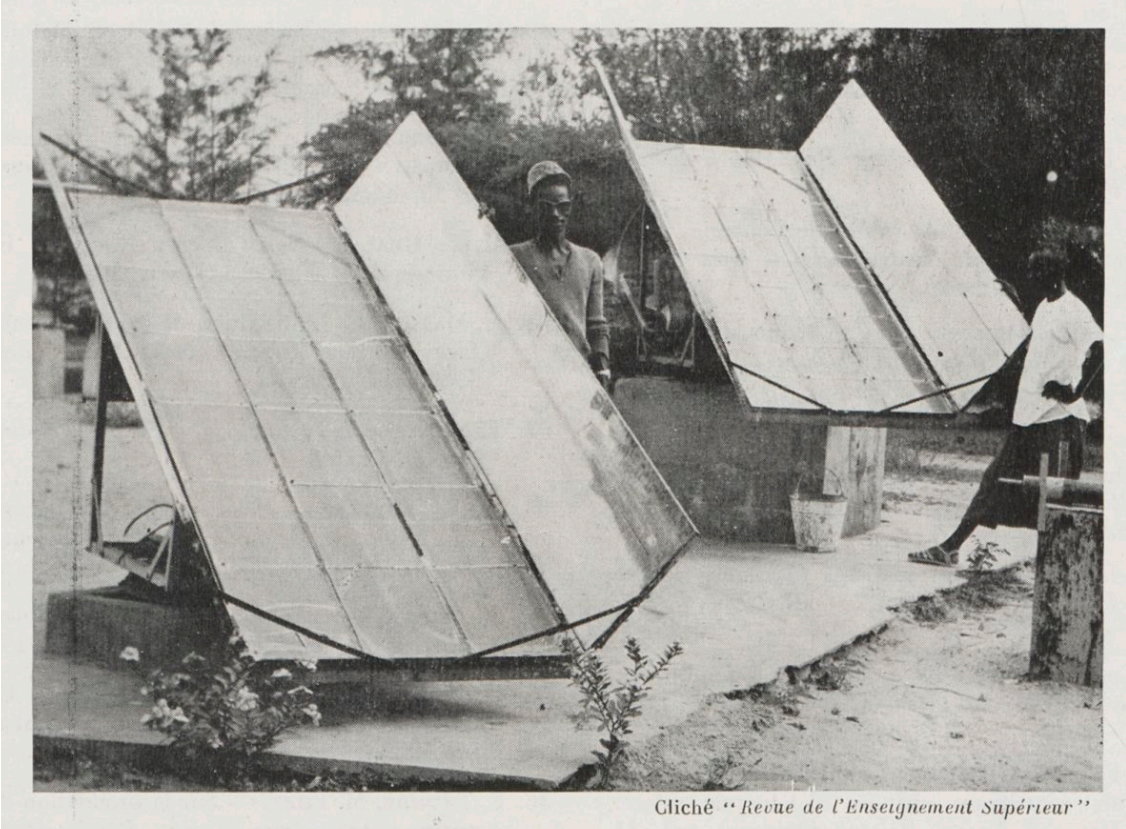


Figure 2 : Les pompes SOMOR utilisées par Masson dans la cour de l'IPM de Dakar. MASSON, Henri, *op. cit.*, avril 1960, p. 177.

Tabor, qui œuvre dans la même direction que Masson, relève trois difficultés qui altèrent la volonté politique de développement des applications solaires.

Premièrement, les expérimentations sont menées par des occidentaux pour des usages éloignés de leurs propres sociétés, « nous sommes ainsi conduits à demander à des savants et à des techniciens de se lancer dans des recherches qui les concernent fort peu, et cela au moment où l'énergie nucléaire et l'exploration spatiale ont un immense attrait intellectuel »[440]. Il suggère donc d'améliorer les capacités scientifiques et techniques des chercheurs du tiers-monde, « d'encourager les scientifiques qui peuvent exister dans les régions sous-développées… Où les scientifiques vivent au milieu des difficultés

[439] *Ibid*. p. 177.
[440] TABOR, Harry, « L'énergie solaire », Colloque général sur les problèmes de la zone aride, Paris, 11-18 mai 1960, Unesco, 1960, p. 17.

ambiantes et où ils seront enclins à trouver des solutions aux problèmes de leur propre région »[441]. Les travaux de Masson à l'IPM de Dakar et quelques années plus tard de Moumouni à l'ONERSOL de Niamey, sont une réponse concrète à cette préoccupation.

Deuxièmement, comme Masson, Tabor s'inquiète des conséquences politiques de la cherté des installations solaires. En effet, les communautés villageoises concernées n'ont pas les capitaux suffisants à l'investissement initial « et un financement national ou international risque d'être nécessaire »[442]. Ces populations pauvres ne peuvent pas accéder à leur autonomie décisionnelle en matière de choix solaire, « de sorte qu'un moteur bon marché brûlant de l'essence coûteuse sera peut-être acheté plus facilement qu'un moteur plus coûteux n'ayant pas besoin de combustible »[443]. Elles sont profondément dépendantes et dominées, suspendues à une décision lointaine d'États nouvellement indépendants d'Afrique, ou de bailleurs internationaux, anciennes puissances coloniales ou nouveaux partenaires dans la Guerre froide. Pour actionner ce levier financier à l'échelle nationale, Tabor se rend parfaitement compte qu'il faut « faire comprendre aux leaders politiques des régions en cause l'intérêt d'investissements judicieux »[444]. Mais il n'est pas ignorant des freins qu'il nomme pudiquement « psychologiques », là où il s'agit bien plus de préoccupations politiciennes d'élites clientélistes, « une difficulté psychologique est néanmoins à signaler : il est plus aisé de financer un grand programme hydroélectrique que 20 000 stations génératrices ou installations frigorifiques pour petits villages »[445].

Troisièmement, l'introduction d'équipements solaires dans la vie quotidienne des villageois déstabilise forcément les habitudes et les relations sociales, impliquant des changements de comportements et d'organisation qui peuvent engendrer des réticences et des tensions.

Masson et Tabor soulèvent des difficultés liées au caractère profondément social de la technique.

Bien qu'ils soient avant tout des physiciens expérimentateurs, ils concluent toujours leurs argumentaires en relevant les difficultés politiques qu'entrainent un tel

[441] *Ibid*., p. 18.
[442] *Ibid*., p. 12.
[443] *Ibid*., p. 17.
[444] *Ibid*., p. 18.
[445] *Ibid*., p. 18.

changement de paradigme énergétique. A leur manière, ils questionnent la validité des déterminants du choix, en partant d'une analyse de la faisabilité technique, pour ensuite relativiser l'analyse comparative économique et ainsi conclure sur la place centrale de la volonté politique.

D'ailleurs, lors du dernier grand colloque international des années 1950 sur les nouvelles sources d'énergies et leurs applications aux régions arides du tiers-monde, qui se tient à Rome en 1961 sous l'égide des Nations-Unies et sur proposition du gouvernement français, la teneur des communications, dans leur grande majorité, ne déroge pas à ce ton. Nous ne pouvons pas proposer ici une lecture critique de toutes ces contributions (trois volumes rien que sur l'énergie solaire)[446]. Cependant, nous souhaitons revenir sur certaines d'entre elles pour ce qu'elles sont symptomatiques des confrontations entre les interprétations sociales des solutions techniques énergétiques et celles purement technico-économiques et montrer que la présence, une fois de plus, de Masson et de Tabor, prolonge l'importance de leurs expérimentations et de leurs évaluations en tant que figures majeures du champ solaire international.

Dans les « Séances générales », deux communications qui se suivent directement nous interpellent.

Abdel-Rahman, Directeur de l'Institut du Planning national Égyptien, s'exprime sur « Les aspects sociaux des sources d'énergie (Vue à long terme) »[447].

Si, pour l'auteur, les critères technicoéconomiques quantitatifs sont classiquement au cœur des évaluations des techniques énergétiques, « une analyse des rapports sociaux et des valeurs qui interviennent dans la production et l'utilisation de l'énergie aiderait à définir le rôle des nouvelles sources dans la configuration énergétique d'ensemble »[448]. Une attitude plus réservée vis-à-vis des comparaisons quantitatives censées rendre compte des réalités historiques des modalités de production et d'usage de l'énergie lui semble plus propice à l'examen « du complexe énergie-structure sociale »[449], puisque « la

[446] ONU, *Actes officiels de la Conférence des Nations Unies sur les sources nouvelles d'énergie. Énergie solaire, énergie éolienne et énergie géothermique, Rome, 21-31 août 1961*, Nations Unis, New York, 1963.
[447] ABDEL-RAHMAN, I. H., « Les aspects sociaux des sources d'énergie (Vue à long terme) », *in* ONU, *Actes officiels de la Conférence des Nations Unies sur les sources nouvelles d'énergie. Énergie solaire, énergie éolienne et énergie géothermique, Rome, 21-31 août 1961*, Nations Unis, New York, volume 1, 1963, GEN/11, p. 22.
[448] *Ibid*.
[449] *Ibid*., p. 23.

question de savoir comment on la produit, et pourquoi, n'a nullement reçu de réponse définitive »[450].

Ce relativisme technique, audacieux pour l'époque, d'un représentant de l'administration d'un nouvel État, leader des non-alignés du tiers-monde, est immédiatement contrebalancé par l'intervention du Directeur général adjoint de l'EDF, Pierre Ailleret (nous avons rappelé plus haut que Nizery fut son adjoint aux Études et Recherches de l'EDF).

Le leader sectoriel de l'électricité française est donc présent à cet événement, non pas en la personne de Réméniéras, mais par le biais d'un bien plus haut responsable. Ailleret (X-Ponts, 1900-1996) est un des principaux artisans du choix technique de l'électronucléaire et du rôle de l'EDF :

> Personne ne fit ne serait-ce que mention de la question de la possibilité de l'extraction d'électricité de G1 avant que sa conception ne soit presque intégralement parachevée. C'est alors que Pierre Ailleret, à la tête de la division de la recherche d'EDF et membre du comité d'organisation du CEA depuis 1950, suggéra d'annexer à G1 une centrale de 5 mégawatts. La question de savoir laquelle des institutions fournirait à la France son énergie nucléaire avait déjà été soulevée. Serait-ce EDF, fournisseur d'électricité en titre de la nation, ou le CEA, gardien officiel de tout ce qui était nucléaire ? Pour Ailleret, G1 était l'opportunité rêvée pour entraîner l'équipe d'EDF dans l'aventure nucléaire[451].

Sa brève communication, intitulée « L'abondance des flux naturels d'énergie et le choix entre les moyens de les capter », prononcée lors de la séance générale « les sources d'énergie dans le cadre du développement économique », considère la question des voies techniques possibles dans une vision à court terme, en contre-point de celle d'Abdel-Rahman. Il prône le choix d'une solution unique à grande échelle en écartant la dimension vernaculaire de l'évaluation des besoins et des moyens de les satisfaire : « du point de vue des utilisateurs, un tel embarras du choix est prometteur mais chacun de ceux qui poussent une voie déterminée de recherche peut s'inquiéter de ce que chaque voie n'a pas une probabilité élevée de surclasser toutes les voies concurrentes et de déboucher sur des réalisations industrielles à grande échelle. »[452]

---

[450] *Ibid*., p. 22.

[451] HECHT, Gabrielle, *op. cit*., 2004, p. 38. Le rôle ambiguë ou paradoxale de Pierre Ailleret au sein de l'EDF dans les recherches sur les éoliennes ainsi que de « promoteur convaincu de l'énergie atomique » est abordé par Bruyerre dans BRUYERRE, Philippe, *op. cit*., 2020, p. 143 pour la citation et aussi p. 26, pp. 212-214 et pp. 140-144.

[452] AILLERET, Pierre, « L'abondance des flux naturels d'énergie et le choix entre les moyens de les capter », *in* ONU, *op. cit*., 1963, volume 1, GEN/12, p. 29.

Il s'attaque ensuite à démentir l'argument, qu'il considère fallacieux, du surcoût des prix de l'acheminement des combustibles pétroliers dans les lieux reculés des zones arides du tiers-monde : « il ne faut pas commettre l'erreur de surestimer le coût des produits pétroliers dans les endroits mal approvisionnés : les progrès dans les transports de produits pétroliers sont tels que les prix du pétrole tendent à avoir entre les différents points du monde des écarts bien trop faibles pour pouvoir rendre localement concurrentiels des procédés économiquement médiocres. »[453]

Enfin, Ailleret met en garde contre un enthousiasme trop prononcé pour des techniques qui selon lui n'assurent ni la fiabilité requise dans le temps court, ni la rentabilité économique immédiate, pour porter le développement économique des pays pauvres :

> Aucun « destin » n'assure à une découverte de physique qu'elle débouchera un jour dans le domaine de l'économie ; il ne faut pas provoquer à la légère des espoirs, qui feraient en particulier le plus grand tort aux pays dont le développement exige des moyens rapides et sûrs d'approvisionnement en énergie et qu'il ne faut pas s'engager dans des voies, peut-être valables scientifiquement, mais dont l'utilisation prématurée aurait le caractère d'aventure[454].

Ce faisant, il coupe court à toute velléité d'industrialisation et de commercialisation, voire même à tout programme de R&D, « l'intérêt de cette conférence sera d'aider à distinguer ce qui peut être déjà assez mûr de ce qui est seulement l'annonce d'un espoir de fruits »[455].

Alors qu'Ailleret préside la séance technique sur « l'emploi combiné de diverses sources d'énergie ; problèmes d'emmagasinage de l'énergie », Masson préside la séance sur « l'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie mécanique et d'électricité ». Tabor se charge du rapport général qui fait le point sur l'usage solaire « de moteurs alternatifs et de turbines »[456]. Avec Bronicki, ils présentent leur invention d'une « petite turbine pour centrale autonome à énergie solaire »[457] qui leur permettra de passer au stade industriel en 1965 avec la formation de leur société commerciale ORMAT (nous y reviendrons).

---

[453] *Ibid*., p. 30.
[454] *Ibid*., p. 30-31.
[455] *Ibid*., p. 31.
[456] TABOR Harry, « Utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie mécanique et d'électricité au moyen de moteurs alternatifs et de turbines », *in* ONU, *op. cit*., 1963, volume 4, GR/9, pp. 9-16.
[457] BRONICKI L.Y., TABOR Harry, *op. cit*., 1963.

Le rapport général établi par Tabor ne s'attache pas à démontrer la faisabilité technique de la question puisque celle-ci est, comme nous l'avons suffisamment fait comprendre jusqu'ici, parfaitement certaine et connue. Il présente un état des lieux des différents types de prototypes en fonction de leur prix de revient probable car, comme il l'a énoncé précédemment à la tribune du Congrès général sur le problème de la zone aride de l'UNESCO à Paris en mai 1960, « étant donné que l'utilisation de l'énergie solaire est en somme une question économique – à savoir : l'énergie solaire est-elle compétitive avec d'autres formes d'énergie disponibles sur place ? Une grande part de l'activité de recherche est consacrée à la réduction des coûts »[458]. On appréciera ici toute la portée de la nuance du « sur place » qui renforce l'intérêt de la chaleur solaire locale par rapport au carburant acheminé, n'en déplaise à Ailleret.

Tabor demande tout d'abord de distinguer les petites stations solaires de l'ordre du kW, des grandes, de l'ordre du MW. Ces dernières ne semblent pas intéressantes pour les régions isolées des pays pauvres car elles impliquent une infrastructure centralisée de distribution avec stockage et ses inconvénients afférents, en termes de complexité technicienne, de coûts d'installation, de fonctionnement, d'entretien, et en termes d'organisation sociale (degré de solvabilité et de maîtrise technique de la communauté).

Dans un second temps, Tabor énonce les similitudes aux deux types de stations sur lesquelles se fondent leurs avantages comparatifs en adéquation avec les nécessités des lieux de leur usage.

Il faut que les appareils soient particulièrement robustes afin de ne nécessiter que peu d'entretien sur un temps le plus long possible puisque leurs frais d'exploitation en déterminent leur rentabilité.

Seuls les dispositifs à insolateurs plans immobiles, pour des températures inférieures à 100°C, peuvent espérer capter le rayonnement diffus et le convertir en force mécanique de quelques KW. Pour toute installation supérieure en température le recourt à une concentration minimale est de mise. Il est en revanche possible de multiplier les insolateurs à 100°C jusqu'à obtenir l'échelle du MW.

Afin de diminuer au maximum le prix de revient, il est nécessaire d'opter pour le choix d'une machine au rendement global faible avec des éléments peu coûteux dont le

[458] TABOR, Harry, *op. cit*., 1960, p. 3.

moteur est le segment sur lequel il faut porter les efforts pour augmenter son rendement mécanique à basse température afin d'éviter de devoir augmenter la taille des collecteurs.

Pour Tabor, conformément à ses réalisations expérimentales, le moteur thermique solaire de l'ordre du KW doit plutôt être une turbine à vapeur qu'un moteur à piston. Ses propres travaux le font opter pour la fabrication d'une turbine à haut rendement qui fonctionne avec des capteurs cylindro-paraboliques dans lesquels la température de l'eau atteint entre 150 et 200°C[459].

L'auteur achève son rapport sur un constat économique simple et édifiant.

Premièrement, le prix de revient de l'énergie solaire ne dépend que « des charges annuelles du capital investi »[460].

Deuxièmement, « le calcul de ces frais… Met en relief la difficulté extrême que l'on éprouve à obtenir un faible prix de revient de l'énergie pour n'importe quel générateur d'énergie thermique à base d'énergie solaire »[461].

Le prix du collecteur semble être la variable déterminante, il faut donc augmenter la durée de vie de ce dernier tout comme celle du dispositif dans son ensemble.

Bien entendu, dans ce raisonnement calculatoire effectué en 1961, le prix du pétrole qui sert de référence à toute comparaison n'est non seulement pas une donnée invariable, mais à cette époque il est bon marché et la tendance est à la baisse. De plus, les essais de modélisation de Tabor et des participants reposent uniquement sur des coûts extrapolés à partir de ceux de prototypes. La question fondamentale des « possibilités de fabrication locale partielle ou totale » des installations qui permettrait d'abaisser en partie les coûts est proposée à la discussion[462]. Dit autrement, la question du transfert de technologie aux usagers est posée.

Ce cahier des charges, relayé ici par Tabor, est celui de Masson à son retour à Dakar et c'est Girardier qui lui permet de le réaliser, en désaccord avec les évaluations de Réméniéras, d'Ailleret[463] et d'Apertet.

Ce dernier, Chef de la Division Programmes et Études techniques de l'Inspection Générale pour la Coopération hors métropole (IGECO) de l'EDF (qui remplace

[459] BRONICKI L.Y., TABOR Harry, *op. cit*., 1963 ; TABOR Harry, *op cit*., 1963.
[460] TABOR, Harry, *op. cit*., 1963, p. 12.
[461] *Ibid*.
[462] *Ibid*., p. 14
[463] Voir aussi, AILLERET, Pierre, Les perspectives d'utilisation pratique de nouvelles sources d'énergie (énergie nucléaire exceptée) », *Revue française de l'Énergie*, avril 1957.

l'IGUFE)[464], écrit en août 1960 un article intitulé « De nouvelles sources d'énergie pour les pays insuffisamment développés ? », publié l'année suivante dans la revue *Tiers-Monde*[465].

Les arguments d'Apertet sont cohérents avec ceux de ses confrères de l'EDF, « il est normal que les efforts se portent en priorité sur l'énergie nucléaire, dont la technique est la plus avancée »[466], puisqu'il en reprend quasiment tous les termes afin de soutenir que les convertisseurs solaires manquent cruellement de maturité technique et économique pour espérer présenter de sérieuses alternatives aux générateurs conventionnels d'électricité dans les pays pauvres. D'ailleurs, il ne mentionne les petits moteurs solaires à bas potentiel qu'au détour d'une phrase isolée, « des moteurs de quelques kilowatts, utilisant des fluides plus volatils que l'eau, ont été construits et mêmes commercialisés »[467], constat qui ne l'empêche pas de ne pas les retenir parmi les applications solaires envisageables, dont il nie au passage la longue antériorité :

> Dans la plupart des cas, la domestication de l'énergie solaire n'a pas encore franchi le stade des études, mais il est raisonnable de penser que les importantes recherches en cours aboutiront, assez prochainement, à des réalisations pratiques à l'échelle industrielle dans les domaines du chauffage et de la distillation de l'eau, du chauffage et du conditionnement des habitations, de la réfrigération, des fours à haute température, des batteries solaires[468].

Son article de synthèse mentionne pourtant en bibliographie, aux côtés de références d'Ailleret et de Réméniéras, celui que Masson publie dans *Les Annales des Mines* en 1960.

Comme nous l'avons écrit plus haut, dans les colonies, l'IGUFE prend, par le biais du FIDES, des parts dans des entreprises d'économie mixte telle l'Énergie des Mers de Nizery mais surtout dans les sociétés d'électricité conventionnelles. Or, au moment des indépendances, l'EDF cherche à réorganiser la nature de sa présence :

> La première phase de l'histoire internationale d'EDF s'achève avec la fin de la domination européenne sur le continent noir. Autour de 1960, les pays africains obtiennent sans heurt leur indépendances et continuent, à l'exception notable de la Guinée, d'entretenir des liens étroits avec l'ancienne métropole. Cependant, la nature des relations avec la France doit changer. Dans le cas des sociétés d'électricité, EDF, qui détenait souvent une part de

[464] BELTRAN, Alain, *op. cit.*, 1996, p. 41.
[465] APERTET, J., « De nouvelles sources d'énergie pour les pays insuffisamment développés ? », *Tiers-Monde*, tome 2, N°5, 1961, pp. 1-26.
[466] *Ibid*., pp. 7-8.
[467] *Ibid*., pp. 16-17.
[468] *Ibid*., p. 12.

capital, souhaite s'en dégager au moins à terme. L'IGUFE change alors de nom et devient l'IGECO[469].

La société l'Énergie des Mers est-elle dissoute dans cette fenêtre d'opportunité afin d'écarter une trajectoire sociotechnique pour l'Afrique des nouveaux États indépendants ? Le commentaire d'Apertet, agent de l'IGECO, laisse perplexe : « la construction de l'usine expérimentale a d'abord été envisagée à Abidjan, mais une décision concernant le développement des ouvrages locaux de production d'électricité a dû être prise avant la fin des essais alors en cours à Abidjan. »[470]

La même question se pose si nous modifions légèrement le titre de l'article d'Apertet, de, « De nouvelles sources d'énergie pour les pays insuffisamment développés ? », à « De nouvelles sources d'énergie pour les États indépendants d'Afrique ? ». Est-ce une des raisons qui motive les évaluations défavorables des convertisseurs solaires thermodynamiques d'un faible gradient de températures naturelles, qu'il soit atmosphérique ou marin ? Un sabotage des possibles ? La question pourrait être posée.

Quoi qu'il en soit, nous pouvons parler d'une solarité divergente qui anime les rapports entre la proposition sociotechnique par et pour l'Afrique de Masson et sa marginalisation par l'évaluation des convertisseurs thermodynamiques à bas potentiel par l'EDF, que ce soit pour le territoire métropolitain ou pour les colonies saharo-sahéliennes, puis pour les États nouvellement indépendants d'Afrique.

Masson, dans sa seconde série de deux articles des *Annales des Mines* en 1962 n'aborde pas fondamentalement d'idées nouvelles.

Il s'agit pour lui de proposer une synthèse de la Conférence des Nations-Unies de Rome. Il y rend un hommage détaillé à la petite turbine de 5 CV que Tabor fait fonctionner grâce à des insolateurs cylindro-paraboliques (150°C) et d'un cycle ORC au monochlorobenzène, c'est-à-dire un fluide gazeux liquéfiable au poids moléculaire élevé autorisant un meilleur rendement mécanique au dispositif, qui, bénéficiant d'un stockage de la chaleur par fusion d'un solide, atteint un rendement global de 10%. Pour Masson, le collecteur en matières plastiques apparaît trop fragile pour résister aux vents de sable pendant plusieurs années. Il faut insister ici sur le choix des fluides organiques de travail

[469] BELTRAN, Alain, *op. cit*., 1996, p. 41.
[470] APERTET, J., *op. cit*., 1961, pp. 22-23.

qui est motivé non seulement en raison de leur basse température de vaporisation, mais aussi de leur poids moléculaire supérieur à celui de la vapeur d'eau. Il permettait de pallier une moindre température-pression de la vapeur, donc il autorise un meilleur rendement pratique, notamment avec une turbine. D'Amélio suit déjà ce raisonnement en 1935 : « *the first to employ an organic fluid in a real turbine was Prof. Luigi D'Amelio (1935), who was also the first to consider the advantage of high molecilar mass fluids to reduce RPM and number of turbine stages rather than focus on vapor pressure only.* »[471]

Concernant les moteurs solaires alternatifs sur lesquels il travaille à partir des pompes SOMOR, Masson laisse entendre que des améliorations de leurs performances sont en cours et qu'une étude leur sera bientôt dédiée. En effet, à cette date, sa collaboration avec Girardier pour la mise au point d'une motopompe solaire à piston vient de débuter.

Comme à son habitude, ses éléments de conclusions prennent de la distance avec les déterminants techniques et économiques pour insister sur leurs dimensions politiques.

Pour lui, si les machines motrices solaires sont jusqu'alors restées au stade des prototypes, c'est parce qu'aucun effort de vulgarisation n'a été entrepris pour en créer le besoin et les conditions de leur accessibilité pour les populations[472], car « si nous regardons uniquement ce qui existe, nous constatons que déjà l'énergie solaire peut rendre service aux régions sous développées. L'irrigation, grâce aux pompes actionnées par le soleil est dès maintenant une réalité »[473].

Aussi, n'est-ce pas un hasard, si sur les trois cents publications du colloque de Rome, Masson choisit de faire référence uniquement à celle d'Ailleret dans sa conclusion générale.

Le chercheur d'Afrique de l'Ouest, qui travaille au contact des réalités quotidiennes des territoires sahéliens, exprime son désaccord de vue avec l'administrateur de l'EDF quant à l'interprétation à donner aux comparaisons des prix entre les installations solaires de forces motrices de petites puissances et les convertisseurs conventionnels à carburant fossile :

---

[471] « le premier à utiliser un fluide organique dans une turbine réelle a été le professeur Luigi D'Amelio (1935), qui a également été le premier à considérer l'avantage des fluides à masse moléculaire élevée pour réduire le régime et le nombre d'étages de turbine plutôt que de se concentrer uniquement sur la pression de vapeur ». BRONICKI, L.Y., *op. cit*., 2017, p. 31.

[472] MASSON, Henri, « Les nouvelles sources d'énergie », *Annales des Mines*, mars 1962, p. 62.

[473] MASSON, Henri, « Les nouvelles sources d'énergie », *Annales des Mines*, avril 1962, p.51.

> Un prix qui paraît inaccessible dans une région industrialisée devient normal dans une région désertique. Un prix exorbitant en certaines circonstances, peut très bien ne pas l'être dans d'autres. Ailleret explique que le kilowattheure fourni par une pile sèche revient à une somme exorbitante. On se sert pourtant couramment de piles électriques. Une pompe solaire communale, un récepteur et émetteur radio-solaire, un distillateur solaire, et en anticipant un peu sur l'avenir, un réfrigérateur solaire, ne seraient peut-être pas hors des possibilités d'une communauté[474].

L'expérimentateur solaire pousse alors son avantage en appelant de ses vœux des opérations de démonstration d'envergure qui permettraient à la fois de sortir le prototype du laboratoire pour le confronter aux réalités expérimentales du terrain et le juger sur des faits, ainsi que de l'intégrer progressivement aux rapports sociaux des usages énergétiques, afin d'en envisager les potentiels industriels et commerciaux.

Masson abat sa dernière carte face à Ailleret pour déplacer la responsabilité du choix solaire des caractéristiques technico-économiques de la machine vers la volonté politique : « rien n'empêcherait l'État de se charger d'une partie ou de la totalité de l'achat, et même de l'entretien, si les instruments sont standardisés »[475].

Lorsque Masson entame sa collaboration avec l'ingénieur appelé du contingent Girardier à Dakar, il est un savant français d'Afrique de l'Ouest porteur d'une proposition sociotechnique reconnue par la communauté solaire internationale, par la communauté scientifique des ingénieurs civils des Mines, connue des organisations internationales (UNESCO et ONU), des institutions du gouvernement de la Recherche nationale, de l'EDF et des administrations sénégalaises.

Ni Masson, ni sa proposition d'irriguer le désert avec le soleil ne sont isolés des gouvernants et des dispositifs techniques solaires expérimentés dans le passé et dans le présent (Tabor en Israël, Daniels aux USA, Trombe et Perrot en France, etc.).

Mais l'auteur et sa proposition le sont beaucoup plus des gouvernés, qui n'y ont justement pas accès, puisque les prototypes ne sortent pas des laboratoires, à l'exception notable des quelques pompes italiennes SOMOR dispersées de la Lybie au Sénégal.

Pourtant Masson accueille à l'IPM de Dakar des étudiants africains qui sont en contact avec ses appareils. Mais ils ne représentent qu'une infime minorité d'une population urbaine en réalité très éloignée des communautés villageoises sahéliennes.

---

[474] *Ibid*.
[475] *Ibid*.

Nonobstant, certains d'entre eux vont par la suite occuper des positions sociales qui leur auraient permis de vulgariser les propositions sociotechniques solaires de Masson, voire d'œuvrer à leur diffusion. C'est le cas du sénégalais Jacques Diouf, ingénieur agronome de formation (AgroParisTech), qui fréquente un temps Masson et l'IPM de Dakar avant de devenir secrétaire d'État à la recherche scientifique du Sénégal (1978-1983), puis Directeur général de la FAO (1994-2011).

En revanche, Masson et sa solution pour irriguer le désert avec le soleil sont isolés par la solarité hégémonique produit par l'EDF et une partie de la communauté savante solaire. Ils sont repoussés vers un lointain et incertain futur, circonscrit aux régions arides et déshéritées d'une Afrique désormais indépendante mais toujours considérée comme a-technique, c'est-à-dire comme incapable à la fois de concevoir et de fabriquer l'objet-machine, de l'intégrer aux relations sociales quotidiennes à la technique (manque de formation, coutume, etc.), et aussi de le financer.

La solarité semble donc être divergente depuis fort longtemps entre les possibles sociotechniques des dominés et les impossibles technico-économiques des dominants. Dans quelles mesures accompagne-t-elle l'action publique solaire ?

En résumé, il semble qu'un ensemble de représentations de l'infaisable légitime le non-choix solaire depuis le XIX^{e} siècle jusque dans les années 1960, alors que paradoxalement la faisabilité technique et économique des principaux convertisseurs solaires est reconnue par une communauté savante. Cependant, cette dernière apparaît également clivée entre les tenants des solutions sophistiquées à hautes températures, et ceux qui plaident pour des machines appropriables fonctionnant à basse température.

Les tentatives proto-industrielles de Masson et de Girardier doivent composer avec cette solarité divergente dans leurs relations avec les pouvoirs publics. La singularité qui est au point de départ de notre raisonnement, à savoir le fait que Girardier possède son outil de production industriel, doit nous permettre d'identifier les entraves très concrètes auxquelles son projet industriel doit faire face.

3. Des prototypes solaires à l'IPM de Dakar (1962-1971)

A l'IPM de Dakar, Masson mène ses expérimentations avec une petite équipe franco-sénégalaise. Ils ont à leur disposition des pompes solaires SOMOR qui sont en fait des compresseurs frigorifiques à piston couplés à des insolateurs plans orientables.

En 1962, Girardier, Masson et M'Bow (technicien sénégalais à l'IPM), entreprennent l'amélioration du dispositif. Ils assemblent des éléments existants en les modifiant. Le chercheur, l'ingénieur et le technicien choisissent de fabriquer une petite machine peu sophistiquée. Un type de choix technologique peu plébiscité, ni par leurs corps respectifs, ni par les leaders sectoriels des industries de l'énergie, ni par l'État, qui privilégient le grandiose, le puissant, le difficile. Autant de représentations prométhéennes qui légitiment en grande partie leurs exercices du pouvoir.

Cette synergie très localisée autour de la figure solaire de Masson est la convergence, initiée au XIX^{e} siècle, d'une trajectoire sociotechnique et peut-être déjà de sa technopolitique du non-choix solaire, ou en tout cas, d'une solarité divergente à laquelle l'action publique solaire se réfère.

Le chercheur académique d'une université ultra périphérique porte à la marge du système politico-énergétique un projet déstabilisateur, que Girardier, le jeune ingénieur-entrepreneur, va déplacer de la périphérie vers le centre.

De 1962 à 1971, cinq prototypes sont construits selon des modalités techniques et sociales différentes. Dès la communication des résultats du premier projet, les pouvoirs publics français participent au suivi de la série expérimentale.

3.1 SECRA et ITTEC : de l'assemblage en Afrique à l'usinage en Métropole et retour

De 1962 à 1964, deux premiers prototypes sans application sont conçus, fabriqués, installés et testés : les motopompes solaires SECRA et ITTEC.

En août 1962, le dispositif SECRA est mis en fonction expérimentale dans la cour de l'IPM de Dakar. Les témoignages écrits et oraux de Girardier, sa thèse de doctorat (1963), ses articles publiés avec Masson dans *Les Annales de Mines* (1964 et 1967), ainsi que les témoignages recueillis à l'IPM (aujourd'hui le CERER) de Dakar, nous permettent de caractériser ce prototype.

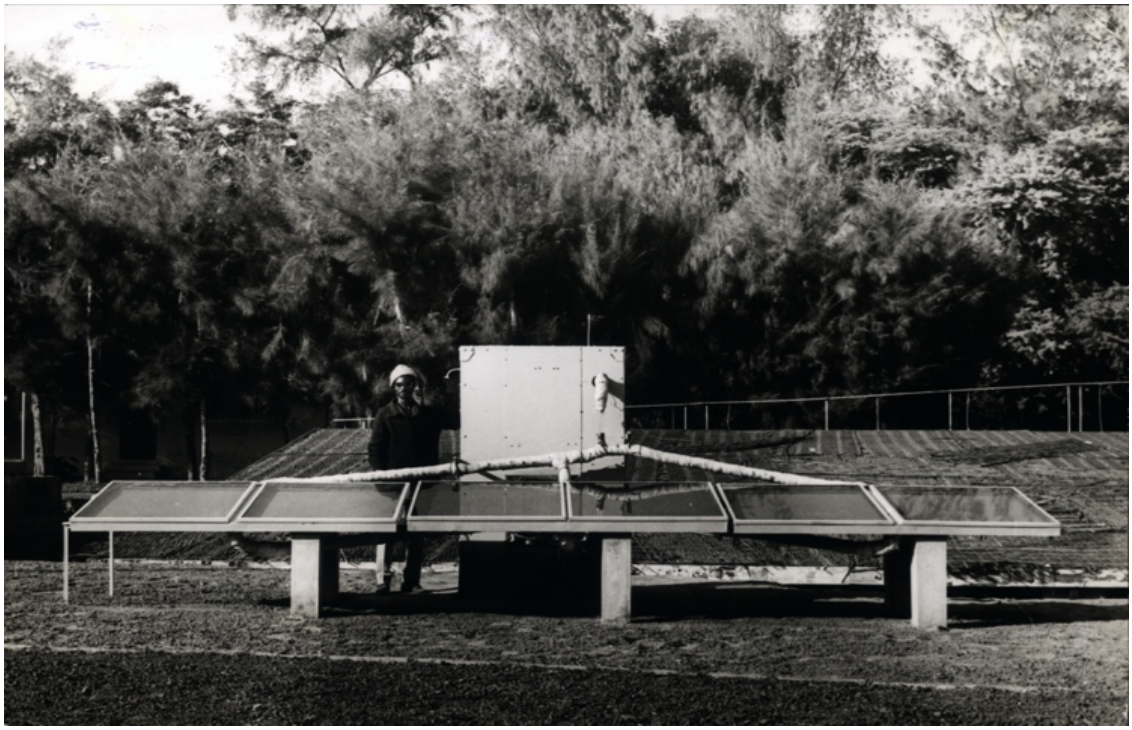


Figure 3 : photographie de la pompe SECRA. Archives personnelles de Jean-Pierre Girardier.

L'installation est réalisée en assemblant le compresseur frigorifique mono-piston d'une motopompe SOMOR de faible puissance (40 Watt) avec une batterie de six capteurs de chauffe-eau solaire domestiques Radiasol (6 fois 1m^2).

Dans sa thèse de 1963, Girardier établit un descriptif analytique de la pompe SOMOR, « l'installation première »[476], qui fonctionne depuis un an lorsqu'il débute les mesures de ses performances, « les résultats obtenus sont donc inférieurs à ce qu'ils auraient été, si les mesures avaient été faites sur la pompe neuve »[477]. Le dispositif pompe 8 heures par jour, 7 litres d'eau à la minute (élevés à 3 m de hauteur), avec un moteur tournant à 70 tours/minute, pour une surface de collecteurs de 3,09 m^2. Il constate que « l'entretien de cette pompe est pratiquement inexistant »[478].

Le liquide de travail, l'anhydride sulfureux, circule dans l'insolateur SOMOR, « de construction très simple »[479]. Il se vaporise donc directement sous l'effet de la

[476] GIRARDIER, Jean-Pierre, « Les pompes solaires », thèse de doctorat sous la direction de MASSON Henri, Université de Dakar, 1963, p. 15.
[477] *Ibid*.
[478] *Ibid*.
[479] *Ibid*., p. 17.

chaleur solaire. Girardier mesure une montée en température du SO_2 à 60°C, pour « un rendement assez bon » de l'insolateur de 44,5 %[480].

Girardier déclare que le moteur doit recevoir la plus grande attention, d'autant plus que les petits moteurs solaires à vapeurs sont, comme nous l'avons montré précédemment, particulièrement décriés, notamment par Trombe et son laboratoire de Mont-Louis : « le moteur est la partie essentielle de l'installation, c'est pourquoi nous avons réalisé une série d'essais pour en déterminer les possibilités. Le colloque international de Montlouis (23-28 juin 1958) a d'ailleurs mis particulièrement l'accent sur les difficultés rencontrées dans ces petits moteurs. »[481] Les essais réalisés démontrent que le rendement du moteur est d'environ 30-35 %, « alors que celui d'un compresseur de réfrigérateur est de 60-64 % »[482]. Girardier identifie la pièce qui limite ces performances. Il s'agit d'un élément qui assure l'étanchéité du circuit gaz en empêchant les fuites.

Les autres pièces sont passées en revue et à chaque fois Girardier relève les améliorations nécessaires à apporter, telles une surface d'échange trop faible du condenseur, une vitesse de circulation de l'eau insuffisante et une orientation horizontale qu'il faut ramener à la verticale.

Enfin, la pompe de puits est une pompe très classique, à piston fixe et à cylindre mobile, dont il mesure l'efficacité mathématique à 35% : « le rendement de cette pompe est au maximum de 50 %. Il y a d'autres types de pompes que l'on pourrait adapter à cette installation, mais dans le domaine des pompes de faible puissance il est difficile d'obtenir des rendements très supérieurs à 50 %. »[483]

Girardier termine son évaluation en calculant le rendement thermique global de l'installation à 0,44% afin de proposer des améliorations pour le rendement de chaque élément du dispositif :

> Ce rendement thermique ne dépend pas de la quantité de gaz qui circule, il est donc indépendant de l'importance de l'installation. Il est caractéristique du cycle thermique employé et du fluide utilisé. Quelques soient les modifications que l'on apporte au système thermique, nous sommes toujours limités par la valeur maximum donnée par le rendement de Carnot. Donc en gardant les mêmes températures de fonctionnement, ce rendement ne pourra jamais dépasser la valeur 8,4 %. On s'approchera de cette valeur en augmentant la réversibilité du système, nous envisagerons à ce sujet une pré-condensation[484].

[480] *Ibid*.
[481] *Ibid*.
[482] *Ibid*.
[483] *Ibid*., p. 22.
[484] *Ibid*., p. 24.

Bien évidemment, Girardier rappelle l'essentiel, à savoir que le rendement, qu'il soit faible ou élevé, n'a aucune incidence sur la raison d'être de la machine puisqu'elle atteint son objectif. L'eau nécessaire est pompée au moyen d'une source primaire d'énergie gratuite et illimitée. La question de son mauvais rendement de conversion n'a donc pas de sens en soit, puisqu'on ne peut pas gaspiller ce que l'on n'a pas à capitaliser. En revanche, il faut améliorer les performances de l'objet technique tout simplement pour mieux pomper.

Carnot lui-même explique, en conclusion de sa thèse séminale de 1824, que la puissance vapeur et le rendement thermique, qu'il nomme, comme le rappelle très justement Bronicki[485], « l'économie de combustible », est une considération secondaire et très relative par rapport aux conditions particulières, de temps et de lieu, dans lesquelles une machine thermique doit apporter une solution à des demandes sociales :

> On ne doit pas se flatter de mettre jamais à profit, dans la pratique, toute la puissance motrice des combustibles. Les tentatives que l'on ferait pour approcher de ce résultat seraient même plus nuisibles qu'utiles, si elles faisaient négliger d'autres considérations importantes. L'économie de combustible n'est qu'une des conditions à remplir par les machines à feu ; dans beaucoup de circonstances, elle n'est que secondaire, elle doit souvent céder le pas à la sûreté, à la solidité, à la durée de la machine, au peu de place qu'il lui faut occuper, au peu de frais de son établissement, etc. Savoir apprécier, dans chaque cas, à leur juste valeur, les considérations de convenance et d'économie qui peuvent se présenter, savoir discerner les plus importantes de celles qui sont seulement accessoires, les balancer toutes convenablement entre elles, afin de parvenir par les moyens les plus faciles au meilleur résultat, tel doit être le principal talent de l'homme appelé à diriger, à coordonner entre eux les travaux de ses semblables, à les faire concourir vers un but utile de quelque genre qu'il soit[486].

Ce sont là les dernières lignes de l'ouvrage de Carnot. Quelle stupeur de constater qu'en plus de recommander la plus grande prudence dans l'interprétation des évaluations techniques, l'inventeur de la thermodynamique alerte sur la dimension profondément politique des orientations techniques et sur la responsabilité de ceux qui exercent le pouvoir en ce sens.

Nous constatons que les modestes propos tenus par Girardier lors de son évaluation de la pompe solaire SOMOR et des améliorations à lui apporter, sont tout à

[485] BRONICKI, L. Y., *op. cit*., 2007, p. 26.
[486] CARNOT, Sadi, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, Paris, Chez Bachelier, 1824, p 117-118.

fait en accord avec la prestigieuse sentence de Carnot. D'ailleurs, Carnot suggère également l'usage des fluides gazeux liquéfiables autres que l'eau.

On ne peut être que surpris par une telle cohérence historique, technique et politique, ce constat renforce le questionnement du présent travail.

Girardier conçoit la boucle thermodynamique du prototype SECRA avec le Chlorure de méthyle et le fréon 12 comme liquides de travail, c'est-à-dire, conformément à la logique des ORC, avec des fluides organiques liquéfiables à basse température, utilisés dans les dispositifs frigorifiques.

Pour les choisir, Girardier mène des études comparatives des différents gaz (comme Tabor) en étant attentif aux températures de vaporisation, aux pressions atteintes (qui ne doivent pas être trop élevées) et aux conditions sociales de leur utilisation (coûts de l'achat et du transport, risques) :

> L'anhydride sulfureux présente le gros inconvénient d'être toxique. Cet inconvénient est marqué lors des opérations de remplissage, mais surtout en cas de fuites. En effet, la fuite la plus courante est celle du presse-étoupe, or il se trouve en général au-dessus du puits et lorsque le fluide s'échappe, il se mélange à l'eau de la nappe, ce qui risque de la rendre inutilisable[487].

[487] GIRARDIER, Jean-Pierre, *op. cit*.,1963, p. 27.

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES DES FLUIDES

$t_8 = 55$ °C et $t_7 = 30$ °C $\quad \eta_c = 7{,}62$ %

Fluides	P kg/cm²	P_0 kg/cm²	Remarques	η_T %	Prix/kg (Approximatif)
SO_2	9,8	4,75	toxique	7,5	1 000 C.F.A.
Fréon 12	14	7,5		7,45	1 000 C.F.A.
Fréon 22	22,5	12,5	Pressions trop fortes	7,47	1 000 C.F.A.
Chlorure de méthyle	12,5	6,7		7,2	960 C.F.A.
Fréon 13 BI	31,4	18,3	Pressions trop fortes		24 000 C.F.A.
Fréon 115	18,3	11,3	Prix trop élevé		25 110 C.F.A.
Fréon C. 318	7,5	3,6	Prix trop élevé		23 256 C.F.A.
Fréon 114	Les pressions sont très faibles et le rendement devient dérisoire				
Fréon 21					
Fréon 11					
Fréon 113					
Fréon 14	—	—	Point critique — 49 °F		
Fréon 13	—	—	Point critique — 80 °F		2 896 C.F.A.
CO_2	—	—	Point critique 30 °C		
NH_3	—	—	Pressions trop fortes		

Les prix très élevés des Fréons : 13 B I, 115, C. 318, s'expliquent par le fait qu'il faut les importer des Etats-Unis, où ils sont fabriqués par la Société Dupont de Nemours.

Figure 4 : caractéristiques thermiques des fluides. GIRARDIER, Jean-Pierre, *op. cit.*,1963, p. 30.

A la différence des pompes SOMOR de l'IPM, le fluide gazeux liquéfiable n'est pas vaporisé directement dans les capteurs (voir plus loin pour la présentation des insolateurs Radisol utilisés), mais indirectement au niveau d'un échangeur sous la forme d'un évaporateur tubulaire vertical sans spécificité particulière puisqu'il est « construit à l'aide d'une bouteille de gaz butane »[488]. A la sortie du moteur, une partie de l'eau pompée refroidit, sans contact direct, le gaz dans un condenseur.

L'idée maîtresse est donc d'interdire les mélanges de fluides entre les trois circuits en permettant les transferts caloriques à travers la matière des échangeurs : collecter la chaleur solaire (cycle fermé), la convertir en travail mécanique (*idem*) et évacuer la chaleur résiduelle (cycle ouvert de l'eau du puits).

[488] *Ibid.*, p. 33.

Bien entendu, comme l'illustre le schéma ci-dessous et comme nous l'avons explicité précédemment, ledit petit moteur solaire (ici à piston) peut entraîner une pompe et/ou un alternateur pour générer du courant électrique.

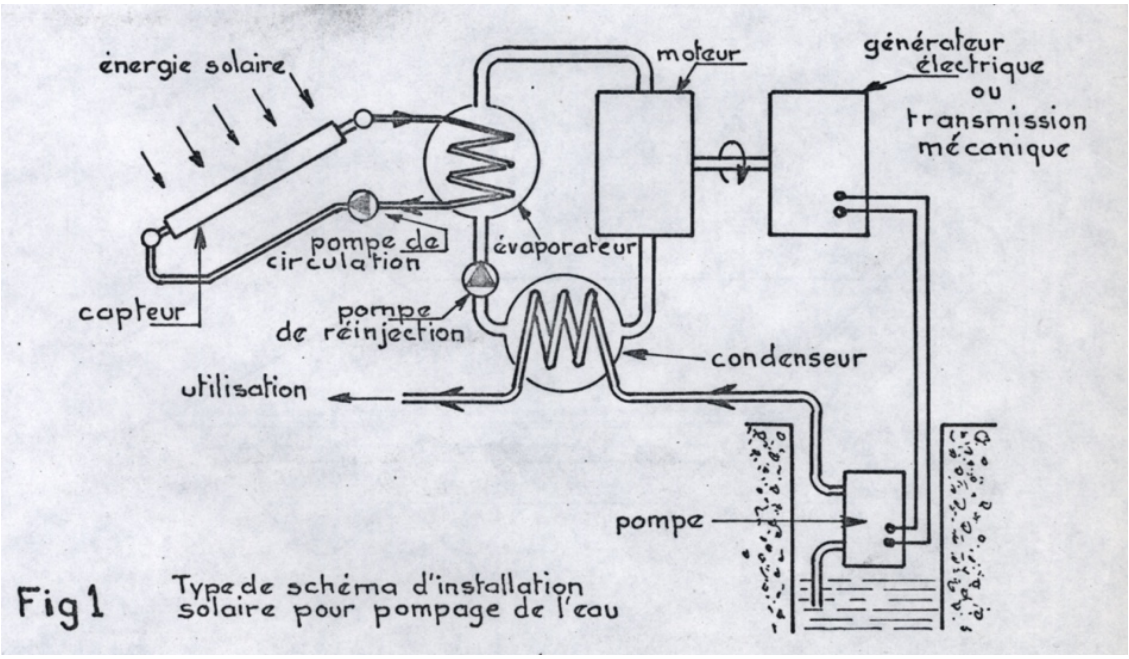


Figure 5 : « *Schéma type d'une installation thermodynamique solaire de pompage* ». Extrait du témoignage écrit de Clémot Max, Durand Jean-Paul, Girardier Jean-Pierre, *op. cit*., 2010, p. 10.

Dans les années 1930, Woulf Stolpner aurait développé, à partir d'une « commande d'essai »[489] du ministère de la Guerre et des PTT, des chauffe-eau solaires Insol avec un société commerciale éponyme. Une installation expérimentale est construite près de Bordeaux. Marrec mentionne trois brevets dont nous n'avons retrouvé que celui déposé en 1933[490]. Pendant la Seconde Guerre mondiale, le secrétariat d'État aux colonies (en la personne de Beau aux Travaux publics, qui remplace Nizery à la tête de l'Énergie des Mers en 1954) accorde une subvention à Insol pour le développement de nouveaux brevets et notamment un dispositif de réfrigération solaire qui trouve vraisemblablement son origine dans la modification progressive à partir de 1939 du procédé initial de capteur plan par un nouvel ingénieur de la société, Dieterlen, et son administrateur, Desdemaines-

[489] Un historique des capteurs pour chauffe-eau Radiasol est écrit par Marrec. MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, pp. 244-245, 405-408 ; p. 245 pour la citation.
[490] STOLPNER, Woulf, « Appareil utilisant les rayons solaires pour l'échauffement de l'eau nécessaire à tous usages : industriels, commerciaux, domestiques, notamment pour bains et douches », demandé le 1er septembre 1933, délivré le 29 janvier 1934, et publié le 18 avril 1934, N°762759. Ce brevet est également déposé en Espagne.

Hugon : « les chauffe-eau de Stolpner sont modifiés : dans le nouveau brevet, le chauffage de l'eau est indirect, et c'est un fluide intermédiaire, à faible température de congélation, qui est chauffé dans les tubes »[491]. Ce qui nous intéresse ici c'est bien évidemment de relever l'utilisation d'un fluide intermédiaire frigorifique qui renvoie au même procédé en usage dans les petits moteurs solaire à vapeur ORC. Cependant, nous n'avons pas trouvé trace de ce brevet. Dieterlen Henry dépose vingt brevets de 1913 à 1951, dont deux avec Guy Desdemaines-Hugon (ce dernier en dépose quatre de 1944 à 1960) au nom des Établissements Insol en 1951 (les brevets N°979944 et N° 979945). Marrec indique qu'après la guerre « Insol s'établit en Afrique du Nord »[492], elle mentionne le dépôt d'un brevet pour un chauffe-eau solaire par la société anonyme Insol-Maroc. En effet, il s'agit du brevet N°1069317 demandé en 1952 et délivré en 1954, qui propose un capteur plan à fluide calorifique intermédiaire permettant de séparer le circuit de l'absorbeur de celui de l'accumulateur. Le système est complété par un dispositif de chauffage électrique d'appoint. Marrec identifie ensuite l'entreprise sous le nouveau nom de Radiasol, « cette société devient ensuite Radiasol, et trouve une clientèle auprès de particuliers, de l'administration coloniale en Algérie et de l'Université d'Alger »[493] (Perrot mentionne ces capteurs dans son ouvrage de 1963[494]). Cependant, l'auteure semble se tromper d'expérimentateur et d'université, car c'est bien Masson à l'université de Dakar, et non pas à Alger, qui utilisa finalement les insolateurs Radiasol[495].

Girardier et M'Bow constatent qu'il faut réduire le volume d'eau qui circule dans les capteurs car celui-ci met trop de temps à monter en température réduisant d'autant la durée de fonctionnement global de la machine. L'absorbeur est une plaque métallique noircie qui rend l'entretien aisé et dont les performances sont de ce fait acceptables. Les caissons ne sont fermés que par un vitrage simple qui, comme nous l'avons expliqué précédemment, n'est pas la solution optimale puisque les différentes pertes thermiques sont ainsi trop importantes, notamment en raison des phénomène aérologiques. Il est plus tard remplacé par un double vitrage.

[491] MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, p. 405.
[492] *Ibid*., p. 407.
[493] *Ibid*.
[494] PERROT, Marcel, *op. cit*., 1963, p. 120.
[495] Marrec rétablit les faits à la page 512 mais continue à écrire dans les pages suivantes que Masson travaille à l'Université d'Alger.

La mise en route de la machine et sa régulation se fait automatiquement en fonction de la course du soleil, de la montée et de la descente de la chaleur et de la pression concomitante. Un opérateur doit ouvrir et fermer la vanne de la vapeur à l'admission du moteur. Un geste simple.

Le dispositif peut fonctionner entre 6 et 8 heures par jour malgré le ciel voilé et chargé de poussière (ce n'est pas le cas pour des capteurs à concentration ou des panneaux photovoltaïques). Le moteur tourne lentement, à 80-90 tr/mn. La pompe de forage à tringle élève 8 à 10 l/mn à 13-14 m de hauteur. La température de la source chaude à la sortie des insolateurs (6 m^2) atteint environ 60°C-70°C alors que l'eau pompée de la source froide sort à environ 30°C : « à Dakar ce rendement est relativement bas, car la source froide est à 30°C. Il se situe entre 7 et 8 %. Il est bien entendu qu'il ne s'agit là que du rendement thermique du système, et non du rendement global qui lui est nettement plus bas : environ 1 %. »[496]

L'objectif est de prouver empiriquement qu'un moteur solaire simple fonctionne et qu'il est « alors possible de franchir le stade expérimental pur, pour entreprendre la construction d'une pompe de plusieurs chevaux d'un intérêt pratique plus immédiat »[497].

Dans sa thèse, pour rendre compte des phases du cycle thermodynamique de la pompe SOMOR, Girardier utilise des outils analytiques issus des recherches appliquées à l'industrie frigorifique établissant ainsi clairement la filiation technique (sur laquelle nous nous sommes déjà exprimés) entre le convertisseur de la chaleur solaire basse température en force mécanique et la production de froid : « ces diagrammes de Mollier sont extraits des règles pour machines frigorifiques établies par la Deutscher Kältetechnischer Verein. Ils permettent d'obtenir pour le fluide considéré, son enthalpie pour une pression et une température données. »[498] Cette convergence est fondamentale pour bien saisir la portée et la faisabilité sociotechnique de cette solution solaire du chaud par le froid et inversement. La complémentarité et l'autonomie d'une machine alliant les deux conversions potentielles avec la génération de force motrice est et demeure une des clefs de lecture à la fois technique et politique du non-choix solaire.

[496] GIRARDIER Jean-Pierre, MASSON Henri, « Les moteurs solaires à collecteurs plans », *Annales des Mines*, 1964, tiré à part, archives personnelles de Jean-Pierre Girardier, p.5.
[497] *Ibid*., p. 7.
[498] GIRARDIER, Jean-Pierre, *op. cit*., 1963, p. 11.

Les conclusions que Girardier tire de ses expérimentations sur la pompe SOMOR et de sa fabrication de la pompe SECRA établissent une vision à long terme des différents aspects technologiques à combiner pour atteindre la proposition sociotechnique envisagée. Dit autrement, la thèse de Girardier conçoit toutes les solutions aux problèmes concrets à résoudre. Il les met en pratique avec les trois prototypes suivants jusqu'en 1969, puis lors de sa tentative industrialo-commerciale avec la SOFRETES de 1973 à 1983.

Premièrement, après avoir présenté en détail[499] les avantages et les inconvénients du moteur à piston et de la turbine pour une installation solaire, il conclut que le moteur à piston est le plus efficace pour des pompes de petite puissance, inférieure à 5 CV. Cependant, un meilleur moteur que le SOMOR doit être conçu pour les installations de 1 kW qui semblent les plus prometteuses. A partir de 5 CV, il faut envisager une turbine, « de telles puissances commencent à être réellement intéressantes, par exemple pour de petites installations agricoles. Elles permettent de fournir de l'eau en quantité appréciable et de fournir de l'électricité pour l'usage courant »[500]. Girardier envisage le dimensionnement d'une installation avec deux modèles de turbine, de 3 et 5 CV, ce qui l'amène à conclure à la faisabilité théorique, pratique et industrielle du dispositif :

> Nous voyons par ces deux exemples, et compte tenu du fait qu'il est possible d'envisager des insolateurs de si grandes dimensions, que rien ne s'oppose techniquement à la construction d'une installation fonctionnant avec une turbine. Nous reviendrons sur ce sujet dans la cinquième partie de cette étude.
> Usines susceptibles de fabriquer de petites turbines :
> P. DURAND CHAPELARD : Ingénieurs constructeurs, 12, rue Klock-Clichy (Seine).
> DE LAVAL : A. B. de Lavals Angturbin, Stockholm (Suède).
> WESTINGHOUSE : Westinghouse Electric Co New-York N.-Y., D.S.A.[501].

Il est important de relever ici que le choix de Westinghouse[502] révèle le rôle central que peuvent jouer dans une possible industrie solaire les leaders sectoriels de l'électromécanique, qui sont en même temps ceux du nucléaire. Comme nous le verrons, la première station électro-solaire que Girardier réalise en 1975 au Mexique implique la participation de la Compagnie Générale d'Électricité (CGE), au moyen d'une turbine qui

[499] GIRARDIER, Jean-Pierre, *op. cit*., 1963, p. 36-45.
[500] *Ibid*., p. 42.
[501] *Ibid*., p. 45.
[502] Westinghouse est le constructeur américain des réacteurs nucléaires à eau pressurisée (PWR) qui équipe le programme électronucléaire français au début des années 1970.

est détournée de son usage premier la destinant à la chaîne de l'enrichissement de l'uranium dans l'usine de Pierrelatte.

Deuxièmement, une pré-condensation du gaz arrivant dans le condenseur et un préchauffage du fluide avant son arrivée dans l'échangeur, semblent intéressants afin d'augmenter les performances générales du dispositif pour envisager un usage en zone aride au spectre le plus large possible, « car c'est le problème de la condensation qui limite l'emploi des pompes solaires pour les puits profonds »[503]. Un pré-refroidissement du fluide (abaisser la température de la source froide) est possible, notamment en installant un réfrigérateur ou avec une tour de refroidissement à air (avec ou sans ventilation artificielle, mixte eau-air, etc.). Il envisage également de refroidir directement le condenseur dans un fleuve plutôt qu'avec l'eau d'un puits, ce qui sous-entend de conduire un projet solaire de mise en valeur d'un cours d'eau comme le Niger ou le Sénégal (ce qui sera fait en 1979 à Diré au Mali). Girardier présente un tableau des profondeurs en fonction de la nature du moteur : à piston ou à turbine. Pour un moteur à piston d'1 CV, la profondeur maximale peut atteindre 100 m, contre 66 m avec une turbine de quelques CV, mais qui produit en plus de l'électricité. Si les dimensions passent à 50-100 CV, on peut espérer atteindre les 120 m. La profondeur du puits et le débit d'eau sont donc les variables déterminant le dimensionnement de la surface des insolateurs, du choix du liquide de travail, du moteur et du mode de refroidissement du condenseur. C'est-à-dire les conditions et les besoins locaux.

Troisièmement, les essais dans l'installation SECRA du moteur à piston SOMOR avec le Fréon 12 mettent en évidence que le gaz se mélange à l'huile empêchant ainsi la lubrification d'être pérenne. C'est là un aspect très essentiel des améliorations à apporter lors de la fabrication d'un nouveau moteur.

Quatrièmement, le stockage thermique peut être réalisé avec des réservoirs d'eau afin d'allonger la durée de fonctionnement : « elle est environ de 3 heures lorsque l'insolateur a 3,80 m^2 et de 4 h 10 mn avec l'insolateur de 5,70 m^2. Ceci laisse prévoir des durées de fonctionnement beaucoup plus grandes pour des installations possédant des insolateurs de 100 m^2 et plus. Il y aurait même possibilité d'accumuler une partie de l'eau

[503] *Ibid*., p. 100.

chaude afin de faire fonctionner la pompe pendant une partie de la nuit. »[504] Dit autrement, la variabilité du rayonnement solaire n'est pas une limite.

Girardier achève sa thèse en concevant un « avant-projet d'une pompe solaire à turbine de puissance à l'arbre de 5 CV », annonçant la fabrication prochaine du prototype ITTEC : « il s'ouvre donc là un vaste domaine d'application et c'est en ce sens que la construction, actuellement en cours, d'une grande pompe solaire basée sur ce principe, peut être considérée comme une étape importante au-delà de laquelle il sera éventuellement possible de passer à la phase industrielle. »[505]

Le doctorat en physique de Girardier, soutenu le 9 mars 1963, en autorisant l'inscription du projet SECRA dans le champ académique, « établit la faisabilité pratique »[506] de la conversion thermodynamique de la chaleur solaire à bas potentiel au moyen d'une machine robuste et simple de conception, de fabrication, de fonctionnement et d'entretien. Conclusions qui, comme nous l'avons montré précédemment, sont depuis longtemps prouvées.

Cette tactique permet aux résultats obtenus d'être légitimement communiqués dans la communauté scientifique internationale au colloque de la COMPLES de Lisbonne en 1964, puis aux moyens d'articles dans des revues (*Annales des Mines*[507]*, Bulletin de la COMPLES*[508]*, Solar Energy*[509]).

L'acquisition de cette visibilité attire l'attention des administrations, le CNRS envoie une délégation à Dakar et Abdou Diouf, bras droit du Président Senghor, mesure immédiatement, selon Girardier, toute l'urgence d'une opération politique de démonstration :

> Nous avons fait la première communication sur la pompe SECRA au colloque de Lisbonne en 1964. Je pensais alors que nous avions réalisé un beau petit joujou de laboratoire. J'étais content, sans plus. Mais Masson lui, était enthousiaste. Et il n'était pas le seul. Je pense à M. Abdou Diouf, maintenant Premier ministre du Sénégal, qui lui aussi s'est emballé. Il

[504] *Ibid*., p. 101.
[505] *Ibid*., p. 115.
[506] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2017, p. 72.
[507] GIRARDIER Jean-Pierre, MASSON Henri, *op. cit*., 1964.
[508] GIRARDIER Jean-Pierre, MASSON Henri, « Production de force motrice à partir de l'énergie solaire », *Bulletin de la COMPLES*, n°6, 1964, p. 100.
[509] GIRARDIER Jean-Pierre, MASSON Henri, « Solar motors with flat-plate collectors », *Solar Energy*, Volume 10, Issue 4, October-December 1966, pp. 165-169.

nous dit : « Il faut en faire cinquante tout de suite ». Je me rappelle toujours sa réaction. C'est lui qui avait raison ![510].

Le CNRS accorde une subvention à Masson de onze millions d'anciens francs (environ 15 000 euros en 2019) pour le projet ITTEC[511], « le CNRS n'est intervenu qu'une seul fois au temps de Masson, car celui-ci était un universitaire, moi je n'étais personne », témoigne Girardier[512]. Puis Masson et l'Université de Dakar reçoivent « des subventions du ministère de la Coopération mais aussi de la DGRST, par le biais du Comité de conversion des énergies où Réméniéras est l'interlocuteur de Masson en tant qu'expert de l'énergie solaire… Au moins pour la période 1963-1964, 116 000 francs du FIDES et 120 000 francs de la DGRST »[513].

Dans leur article de 1964, publié dans les *Annales des Mines*, Girardier et Masson présentent leur cahier des charges pour ITTEC et leurs choix technologiques. Ils optent pour une puissance à l'arbre moteur de 3 CV, ce qui nécessite 300 m^2 de capteurs. L'objectif est de pomper quotidiennement 40 m^3/h, pendant 5 h, sur une hauteur de refoulement de 8-10 m, « le débit journalier sera environ de 200 m^3, soit le besoin en eau d'une centaine de familles de cinq personnes »[514]. Le courant électrique produit restant est disponible pour d'autres usages domestiques. La turbine choisie est « une petite turbine de série légèrement modifiée »[515] en attendant d'en concevoir une spécialement dimensionnée, domaine qui, selon les auteurs, n'est à cette époque justement pas étudié. Ce qui, aux vues des préconisations de Girardier dans sa thèse, ainsi que des travaux de ses prédécesseurs évoqués, semble confirmer le désintérêt total de ce secteur industriel pour la conversion de la chaleur à bas potentiel. Or, l'installation doit démontrer que « le principe de fonctionnement de ce type de moteur solaire n'impose aucune limite technique quant à la puissance »[516]. L'amortissement du prix de revient d'une telle machine solaire est calculée sur cinq ans pour Dakar.

ITTEC est conçu au cours de l'année 1963 par correspondance entre la France et le Sénégal, alors que Girardier travaille en Suisse pour Escher Wyss, après avoir décliné

[510] GIRARDIER Jean-Pierre et RENAU Jean-Pierre, *L'homme qui croit au soleil*, Les éditions du Cerf, 1979, p. 17.
[511] DURAND Jean-Paul, CLEMOT Max, GIRARDIER Jean-Pierre, *op., cit*., 2010, p. 11.
[512] GIRARDIER Jean-Pierre, CAILLE Frédéric, entretien du 7 juillet 2015.
[513] MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, pp. 512-513.
[514] GIRARDIER Jean-Pierre, MASSON Henri, *op. cit*., 1964, p. 8.
[515] *Ibid*.
[516] *Ibid*.

l'offre de Robert Galley, futur ministre de la Coopération, pour un poste de thermodynamicien au CEA, sur le site d'enrichissement de l'uranium de Pierrelatte[517].

Le prototype est assemblé à Dakar en 1964-1965, mais une partie des éléments sont fabriqués en France grâce aux capacités matérielles de l'usine Mengin qui les achemine au Sénégal en s'appuyant sur son expérience à l'export en Afrique. Girardier vient de prendre la direction du bureau d'étude de l'usine. Les archives de la comptabilité des Établissements Pierre Mengin nous permettent d'affirmer que l'usine fabrique et envoie à Dakar les insolateurs d'ITTEC et l'échangeur (nous ne pouvons pas identifier les autres pièces), de février à janvier 1965[518]. Comme le dit Girardier dans son témoignage de 1979, les dépenses sont prises en charge par Mengin, mais cela n'est pas suffisant[519]. Les archives de l'usine Mengin confirment par exemple que Mission de France et ses prêtres-ouvriers participent aux frais (certains vont travailler sur les futurs chantiers SOFRETES). Cette collaboration illustre une des motivations essentielles de l'engagement industriel de Girardier en faveur du solaire en Afrique, mais aussi en France. Une fois à la tête de l'entreprise familiale, il décide de mettre en pratique son engagement moral dans une politique de gestion audacieuse :

> D'une manière générale, les petites entreprises qui gagnaient de l'argent étaient le plus souvent des entreprises qui payaient mal leurs ouvriers, à moins qu'elles n'aient une technique de pointe tout à fait particulière. Pour promouvoir une politique sociale, il fallait donc faire quelque chose d'original. Cette raison m'a aussi poussé vers le solaire. J'ai intégré le solaire dans une politique de gestion Mengin. Le Conseil d'administration a accepté, pour donner une chance réelle à l'entreprise de ne pas gagner d'argent. A partir de cette date, tous les bénéfices que nous avons pu faire, nous les avons mis – officiellement ou officieusement – dans le solaire[520].

Le compte-rendu du Conseil d'administration de Mengin sur l'exercice 1966 confirme l'entrée des pompes solaires dans les activités de l'entreprise, considérée alors comme des fabrications d'appoint qui « peuvent déboucher sur un marché africain d'une certaine importance, mais qu'on discerne encore insuffisamment à l'heure actuelle. C'est

[517] Galley connaît donc personnellement Girardier quand il est ministre de la Coopération en 1978. C'est lui qui inaugure la centrale de Diré, au Mali, en décembre 1979.
[518] Le Livre des exportations de la comptabilité des Établissements Pierre Mengin enregistre effectivement les différents envois à destination de l'IPM de Dakar. Dossiers comptabilité des archives privées du fonds usine Mengin.
[519] GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, p. 19.
[520] *Ibid*., p. 20.

tout de même un espoir pour une certaine activité, avec des incidences vers des voies nouvelles »[521].

En effet, les premiers essais d'ITTEC ne sont pas complétement concluants. Les capteurs sont très performants mais la machinerie en aval n'est pas assez fiable. La turbine s'avère inadaptée. Il s'agit d'une turbine hydraulique détournée de son usage initial[522]. Nonobstant, durant l'année 1965, alors que le prototype SECRA fonctionne toujours, les travaux parallèles sur ITTEC permettent d'envisager le développement de ce type de machine dans trois directions que nous découvrons dans trois plans du dispositif retrouvés dans les archives de l'usine Mengin. Le premier présente le dispositif ITTEC installé à Dakar, c'est-à-dire conçu sur un puits-forage[523]. Le second envisage ITTEC pour pomper l'eau d'une rivière avec une turbine à gaz de 7 CV à l'arbre à des fins d'irrigation et d'adduction d'eau villageoise[524]. Le dernier dresse un plan de génie civil qui propose d'intégrer le système de pompe au bâti (des bâtiments apparaissent sur le premier plan mais aucune indication écrite ne vient explicitement valider l'intention). C'est le premier document en notre possession qui atteste qu'en 1965 l'intégration architecturale d'un moteur solaire est conçue dans le bureau d'étude de Mengin dans une installation considérée comme autonome : « station de pompage autonome utilisant l'énergie solaire. Solution mixte avec locaux d'habitation. L'insolateur faisant office de toiture isolée. »[525]

La machine est donc bien une proposition sociotechnique d'envergure puisqu'elle allie à la satisfaction des besoins essentiels en eau sanitaire et d'irrigation, voire en électricité, une habitation et une autonomie gestionnaire.

[521] Compte-rendu de l'exercice 1966, Assemblée générale ordinaire des actionnaires du 17 juin 1967, p. 5. Archives privées fonds usine Mengin.
[522] GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, p. 27-28 ; GIRARDIER Jean-Pierre, CAILLE Frédéric, entretien du 7 juillet 2015.
[523] Plan 21437, 15 avril 1965, archives privées fonds usine Mengin.
[524] Plan 21271, 8 février 1965, archives privées fonds usine Mengin.
[525] Plan 21441, 21 avril 1965, archives privées fonds usine Mengin.

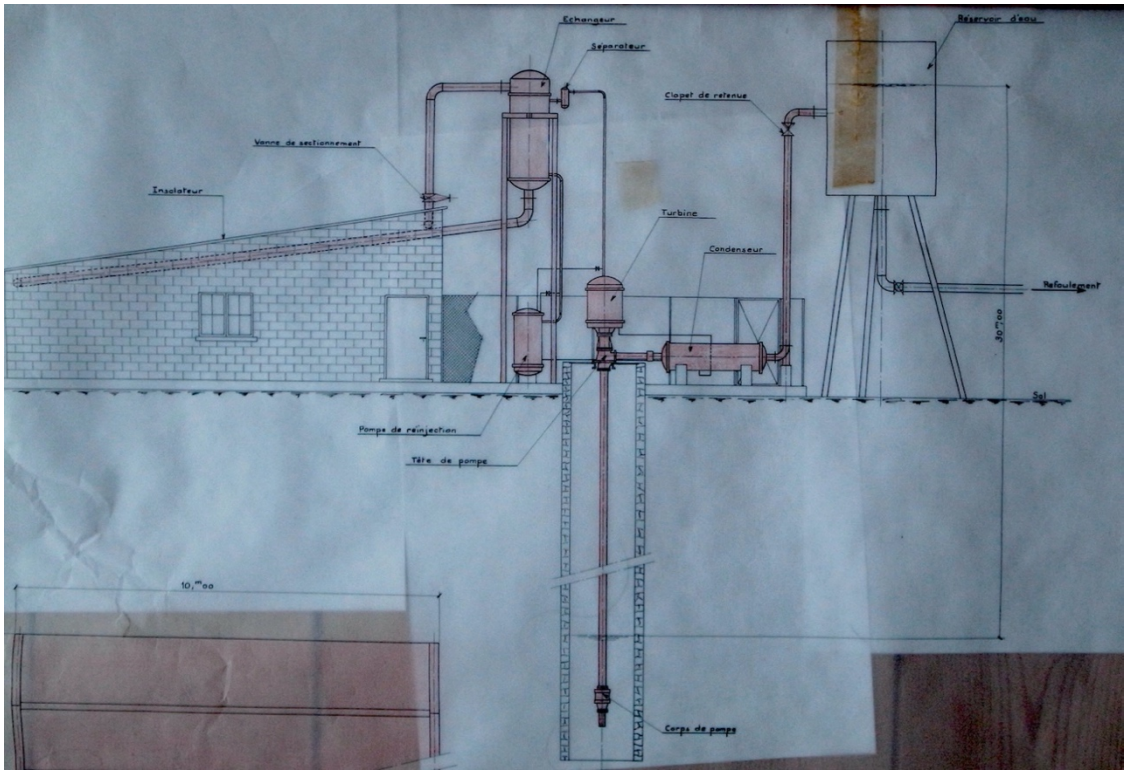


Figure 6 : une version d'ITTEC sur puits. Nous constatons que les capteurs abritent un bâtiment. Plan 21437, 15 avril 1965, archives privées fonds usine Mengin.



Figure 7 : l'insolateur et l'échangeur ITTEC en cours de montage à l'IPM de Dakar. Archives personnelles de Jean-Pierre Girardier. Une photographie quasiment identique est publiée dans GIRARDIER Jean-Pierre, MASSON Henri, « Le moteur solaire face au moteur diesel », *Annales des Mines*, mai 1967, p. 3, tiré à part, archives personnelles de Jean-Pierre Girardier.

3.2 NADJE et SEGAL : des machines solaires préindustrielles soutenues par les pouvoirs publics

De 1964 à 1969, deux nouveaux prototypes voient le jour à l'IPM de Dakar : les motopompes solaires NADJE et SEGAL. Le premier prolonge SECRA, le second modifie ITTEC en s'inspirant de NADJE. La turbine est abandonnée au profit du moteur à piston, objet mécanique que Mengin peut concevoir et usiner. Les pouvoirs publics français apportent une aide financière à la PMI et passent une commande pour des opérations de démonstration. Abdou Moumouni Dioffo lance un appel depuis l'URSS à la jeune génération de chercheurs africains pour qu'elle développe les applications de l'énergie solaire par et pour elle-même dans des laboratoires comme celui de Bamako puis celui de Niamey[526]. Une synergie s'établit alors avec Girardier et un projet commun de coopération est lancé. D'Israël, Tabor et Bronicki installent avec leur nouvelle société commerciale ORMAT une station de pompage électro-solaire prototypique au Mali en 1966, prouvant ainsi que les propositions sociotechniques de machines solaires ORC ne sont pas orphelines, tant dans les laboratoires que sur le terrain[527].

---

[526] MOUMOUNI, Abdou Moumouni, « L'énergie solaire dans les pays africains », *Présence Africaine*, 2 (N° L), 1964, pp. 96-126 ; MOUMOUNI, Abdou Moumouni, « La Conférence de Nairobi sur « L'éducation scientifique et technique dans ses rapports avec le développement en Afrique », *Présence Africaine*, n°69, 1969, pp. 178-187 ; CAILLE, Frédéric (dir.), *Abdou Moumouni Dioffo (1929-1992), le précurseur nigérien de l'énergie solaire*, Québec, Éditions science et bien commun, 2018. A son retour d'URSS en 1965, Moumouni travaille au Laboratoire d'énergie solaire de Bamako au Mali avant de prendre la direction de celui de Niamey au Niger, l'ONERSOL, en 1969. Une brochure de l'ONERSOL (1972) découverte aux archives du CERER (nouveau nom de l'IPM de Dakar) mentionne la proposition de loi portant création de l'office en date du 5 mai 1965 (p. 2). On apprend que le laboratoire est financé en 1972 par le Budget National, le FAC, le PNUD, une Aide Libyenne et des organismes nigériens (SONARA et BDRN) (p. 5.).

[527] BRONICKI, L.Y. *op. cit*., 2017 ; BRONICKI, L.Y., « Short review of the long history of ORC power systems », 2sd international seminar on ORC power systems, Rotterdam, October 7, 2013, Keynote lecture, ORMAT technologies, Inc. ORMAT développe ses activités pour de nombreuses applications des ORC telles la géothermie, l'installation de stations reculées opérant le long d'oléoducs, des dispositifs basés sur des réactions radio-isotopiques, etc. L'entreprise est toujours active. Une sociohistoire de cette société semble particulièrement nécessaire, tout comme celle de TURBODEN (1980), pour espérer écrire une histoire plus globale et complète de l'action publique solaire à une échelle internationale. En effet, leurs installations sont nombreuses, notamment dans les régions des pays développés, ce qui questionne d'autant plus sur la nature des modalités technologiques, économiques et politiques de tels programmes de développement. Pourquoi ces installations existent-elles alors que celles de la SOFRETES ont disparu ? Pourquoi ces installations sont-elles si peu répandues et encore moins dans les pays pauvres ? Nous n'avons d'ailleurs aucune information sur le devenir de la station qui est installée au Mali en 1966. Bronicki dépose de nombreux brevets (avec d'autres collaborateurs et/ou au nom d'ORMAT). Le premier date de la même époque que celui déposé par MASSON-GIRARDIER. TABOR Harry Z., BRONICKI Lucien, « Power generating units », US Patent, N° 3393515, déposé le 16 septembre 1965, délivré le 23 juillet 1968 (il y a également US Patents N°4377071, 1983, N°4446700, 1984). Ce brevet est aussi déposé au nom du Bureau du Premier ministre israélien. BRONICKI Lucien, NOËL Henri, « Groupe turbo-alternateur ou motopompe

First Ormat hermetically sealed solar unit powering an electric water pump in Mali, Africa

Characteristic	Value
TURBOGENERATOR	
Nominal Output	600 W
Boiler Temperature	90 – 125 °C
Max Power Output	700 W
COLLECTORS	
Total Net Collector Area	43 m^2
Auxiliary Mirror Area	16 m^2
Max Heat Output	12 kW
Average Useful Heat Output	35 kWh/day
PUMP	
Max Flow at 40m head	3 000 l/hr
Average Quantity Pumped	11 000 l/day

1966



Figure 8 : first Ormat hermetically sealed solar unit powering an electric water pump in Mali, Africa. Diapositive extraite de BRONICKI, L.Y., « Short review of the long history of ORC power systems », 2sd international seminar on ORC power systems, Rotterdam, October 7, 2013, Keynote lecture, ORMAT technologies, Inc.

Conformément aux orientations technologiques préconisées dans sa thèse, bien que Girardier travaille en 1964-1965 à concevoir une machine solaire à turbine (ITTEC), il mène en parallèle l'amélioration du dispositif à piston SECRA. A la fin de l'année 1964, le bureau d'étude Mengin dresse les plans d'un nouveau prototype de moteur à gaz (à piston) de dimensions modestes, la future pompe NADGE.

ou motoventilateur ou motocompresseur pour liquide ou gaz », brevet d'invention industrielle français, n° 1492785, demandé le 9 juin 1965, délivré le 17 juillet 1967 (il y a également les brevets n°7331641, 1973, n°7331646, n°7332888, 1973). Ce dernier brevet est intéressant en ce qu'il est particulièrement applicable aux éoliennes et que NOËL est un partenaire de la SOFRETES *via* son poste de directeur dans l'entreprise d'éoliennes au capital mixte Aérowatt (anciennement BEST), filiale du CEA (*cf. infra* chapitre 5). NOËL est même un temps administrateur de la SOFRETES. Nous avons par exemple trouvé dans les archives de l'usine Mengin des plans Aérowatt réalisés par le bureau d'étude Mengin. Dans les années 1980, Aérowatt est reprise par un employé de la SOFRETES et cadre du COMES, M. Vergnet. Nous le voyons à ces quelques exemples, l'action publique solaire française semble difficile à saisir sans élargir considérablement les relations d'acteurs impliqués. Cependant, c'est également là une limite de notre étude, qui ne peut pas couvrir un domaine si vaste. D'où la certitude qui nous anime quant au fait qu'une sociohistoire de l'action publique solaire est loin d'être définitivement écrite.

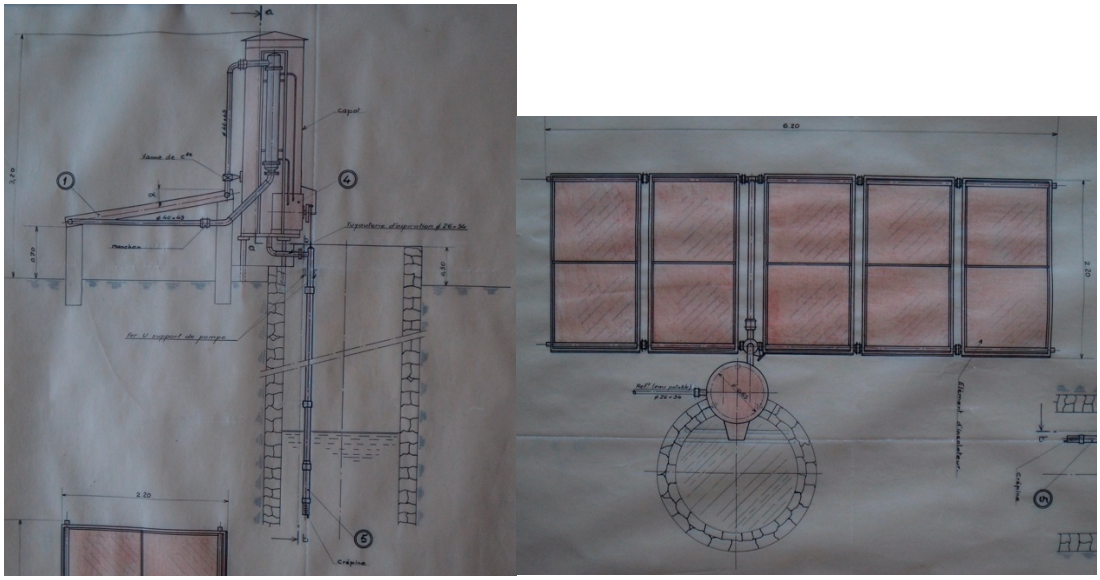


Figure 9 : plan d'une pompe solaire sur puit équipée d'un moteur à gaz (à piston). Plan 21176, 15 décembre 1964, Archives privées fonds usine Mengin.

Quelques mois plus tard, Girardier et Masson déposent un brevet d'invention industriel pour un moteur solaire. Demandé le 28 mai 1965, il ne leur est délivré que le 16 mai 1967. Le brevet ne spécifie pas le type de moteur utilisé, à turbine ou à piston. Il décrit simplement une machine solaire ORC très modulable[528].

En mai 1967, les *Annales des Mines* publient un article que Girardier et Masson écrivent en 1966 alors qu'ils exploitent les résultats de SEGAL et d'ITTEC, qu'ils montent NADJE et qu'ils conçoivent SEGAL. Leur objectif n'est plus de défendre l'évidence de la faisabilité technique d'un moteur solaire basse température, ni celui d'insister sur le rôle central de la nécessaire impulsion politique pour orienter la définition du problème de la souveraineté énergétique, vers une lecture sociotechnique porteuse d'une solution qui incorpore dans ses mécanismes techniciens les enjeux de sociétés qui prévalent à sa conception. Ils ouvrent la controverse sur le terrain d'affrontement privilégié par l'adversaire, celui de la solarité hégémonique fondée sur une évaluation purement technico-économique : « le moteur solaire face au moteur Diésel ». En ce sens, leur article, publié par la plus prestigieuse revue française de la technocratie de l'énergie, fait presque figure de manifeste d'un *Don Quichotte de la Mancha* où les moulins à vent

[528] Brevet de Henri MASSON et Jean-Pierre GIRARDIER, « Moteur solaire », 28 mai 1965, n°1485515.

sont remplacés par le moteur Diésel : « dans ce qui suit, on étudie dans quelle mesure les moteurs solaires peuvent entrer en compétition avec les moteurs classiques »[529].

D'emblée, Masson et Girardier circonscrivent l'usage de la motopompe solaire à bas potentiel (on relèvera la charge sociale négative que ce qualificatif technique véhicule !) de 1 à 15 CV pour répondre à la difficulté d'alimenter en eau les habitants des régions isolées en zone tropicale. Ils posent en prémices à leur raisonnement le constat empirique de l'absence de solution à ce problème. Une étude publiée à l'époque par le ministère de l'Énergie et de l'Hydraulique du Sénégal révèle que seulement neuf stations de pompage Diésel de moins de 15 CV sont installées en zone désertique[530]. Les auteurs rappellent ensuite les raisons de cette rareté qui constituent autant de contre-arguments en faveur de leur remplacement par des unités de pompage solaire :

> En effet, les moteurs classiques nécessitent un entretien qui les rend difficilement utilisables en zone désertique où la main d'œuvre qualifiée n'existe pas. Leur puissance dépasse la plupart du temps les besoins là où ils sont installés. De plus les difficultés d'approvisionnement périodique posent des problèmes, surtout quand il s'agit de faibles puissances[531].

Masson et Girardier proposent une grille de calcul de la rentabilité d'une unité solaire correspondante de petite puissance (6 CV), sise à 100 km de tout endroit habité, en détaillant son prix de revient en fonction de l'amortissement annuel, des frais de fonctionnement et d'entretien. Il faut bien sûr simuler le passage du prototype à la production en série et penser les périodes d'amortissement pour les différents éléments du système (20 ans pour l'insolateur par ex.). L'installation étant autonome et automatique, les frais d'exploitation sont nuls. Cependant, ils ajoutent les charges afférentes à la présence d'un gardien potentiel logé dans le bâtiment abrité sous les capteurs, « ce qui, en principe, n'est pas nécessaire. Il est, en tout cas, inutile dans les stations d'une puissance inférieure à 5 CV »[532]. Ils notent un aspect très essentiel du calcul des coûts de fonctionnement : « il est à remarquer que le prix de l'exploitation ne dépend pratiquement pas de l'endroit où est installée la pompe. »[533] Son prix est plutôt indexé sur la puissance installée, c'est-à-dire qu'il varie en fonction de la surface de l'insolateur et

[529] MASSON Henri, GIRARDIER Jean-Pierre, « Le moteur solaire face au moteur Diésel », *Annales des Mines*, 1967, p. 1, tiré à part, archives personnelles de Girardier.
[530] *Ibid*., p. 9.
[531] *Ibid*., p. 2.
[532] *Ibid*., p. 9.
[533] *Ibid*., p. 7.

de fait peut varier en fonction des besoins précis de chaque communauté en leur lieu. Or, dans les faits, le plus petit moteur Diésel installé est de 8 CV même si la plupart du temps cette puissance excède de beaucoup les besoins. Les unités conventionnelles sont donc toutes installées au même prix d'achat quelque soit le lieu de leur exploitation même là où elles sont surdimensionnées empêchant ainsi toute économie possible sur l'achat en fonction des spécificités de chaque communauté locale. Bien évidemment, l'acheminement du combustible et des pièces de rechange augmente les coûts de fonctionnement de façon exponentielle avec la distance quand il n'est pas tout simplement impossible. Ce qui est compliqué par la durée de vie très courte desdits moteurs (environ trois ans pour un moteur de 8 CV). Leurs conclusions sont sans appel, « on peut en déduire que les stations utilisant l'énergie solaire sont plus rentables que les stations classiques, si leur puissance est inférieure à 8 CV »[534] et ils appellent de leurs vœux, « la création en brousse, de quelques installations-pilotes qui permettraient de confirmer les espoirs que nous mettons dans ce nouveau procédé de pompage »[535]. Leur demande est entendue et le dernier prototype (SEGAL) est dupliqué et installé en brousse, hors laboratoire.

Cependant, bien que leur évaluation technico-économique soit crédible, elle n'emporte pas la bataille et ne fait pas pencher la balance à l'avantage de la solution thermodynamique basse température.

[534] *Ibid*., p. 9.
[535] *Ibid*., p. 10.

Fig. 4. — *Prix de revient annuel exprimé en francs français 1966 sur la base de 1500 heures de fonctionnement annuel. Pour les stations de pompage solaire, ce prix de revient est une fonction régulièrement croissante de la puissance. Au contraire, pour les stations classiques à moteur diesel, ce prix est assez indépendant de la puissance. La figure montre que les pompes solaires sont plus avantageuses pour les faibles puissances (en théorie inférieures à 8 CV, mais nous verrons plus loin que la compétitivité des pompes solaires peut subsister probablement jusque vers 10 CH)*

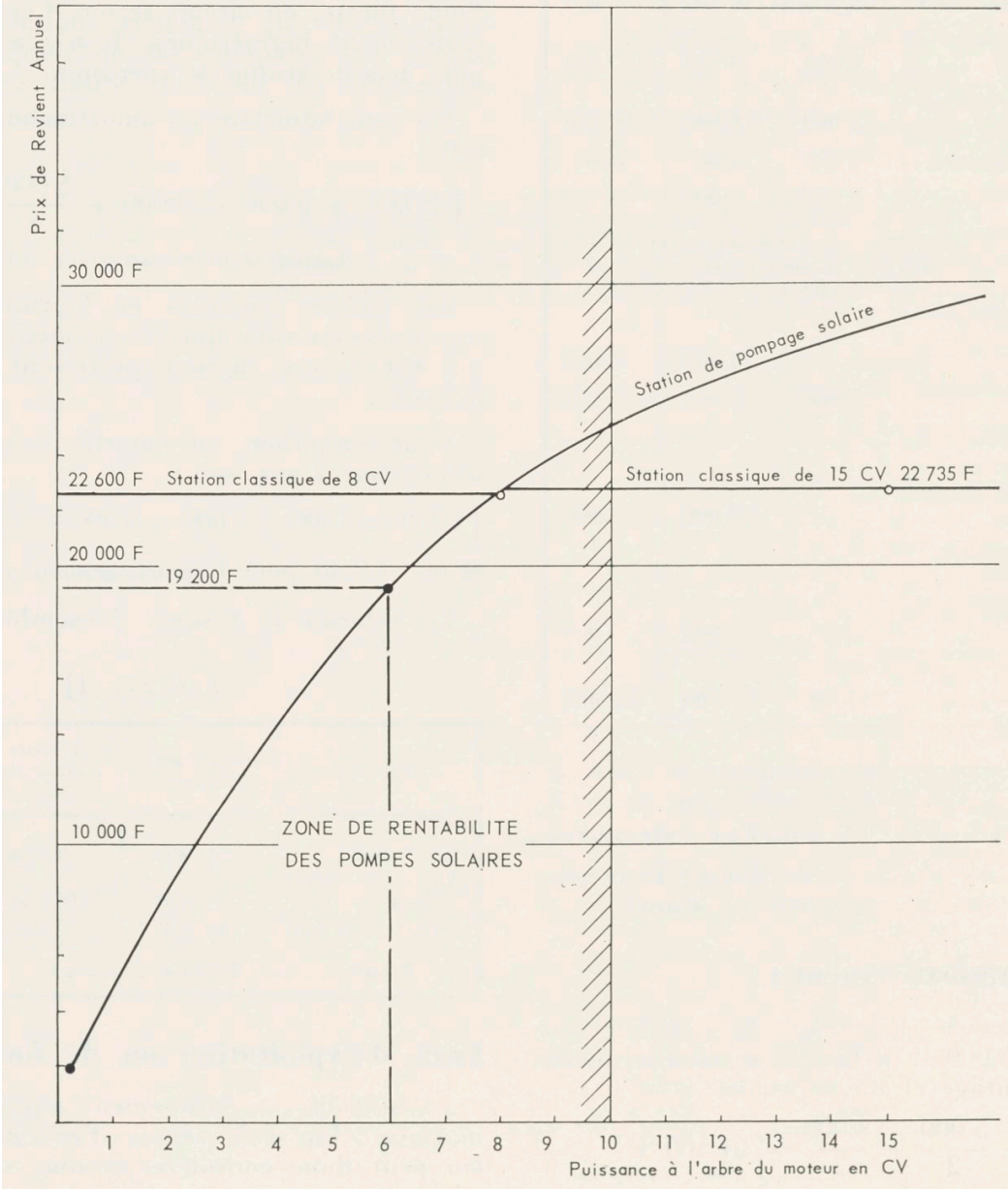


Figure 10 : prix de revient d'une station de pompage solaire par rapport à une station Diésel. MASSON Henri, GIRARDIER Jean-Pierre, « Le moteur solaire face au moteur Diésel », *Annales des Mines*, 1967, p. 6, tiré à part, archives personnelles de Jean-Pierre Girardier.

NADJE est mise en route au cours de l'année 1966 et permet d'améliorer les dispositifs de graissage et d'étanchéité moteur[536].

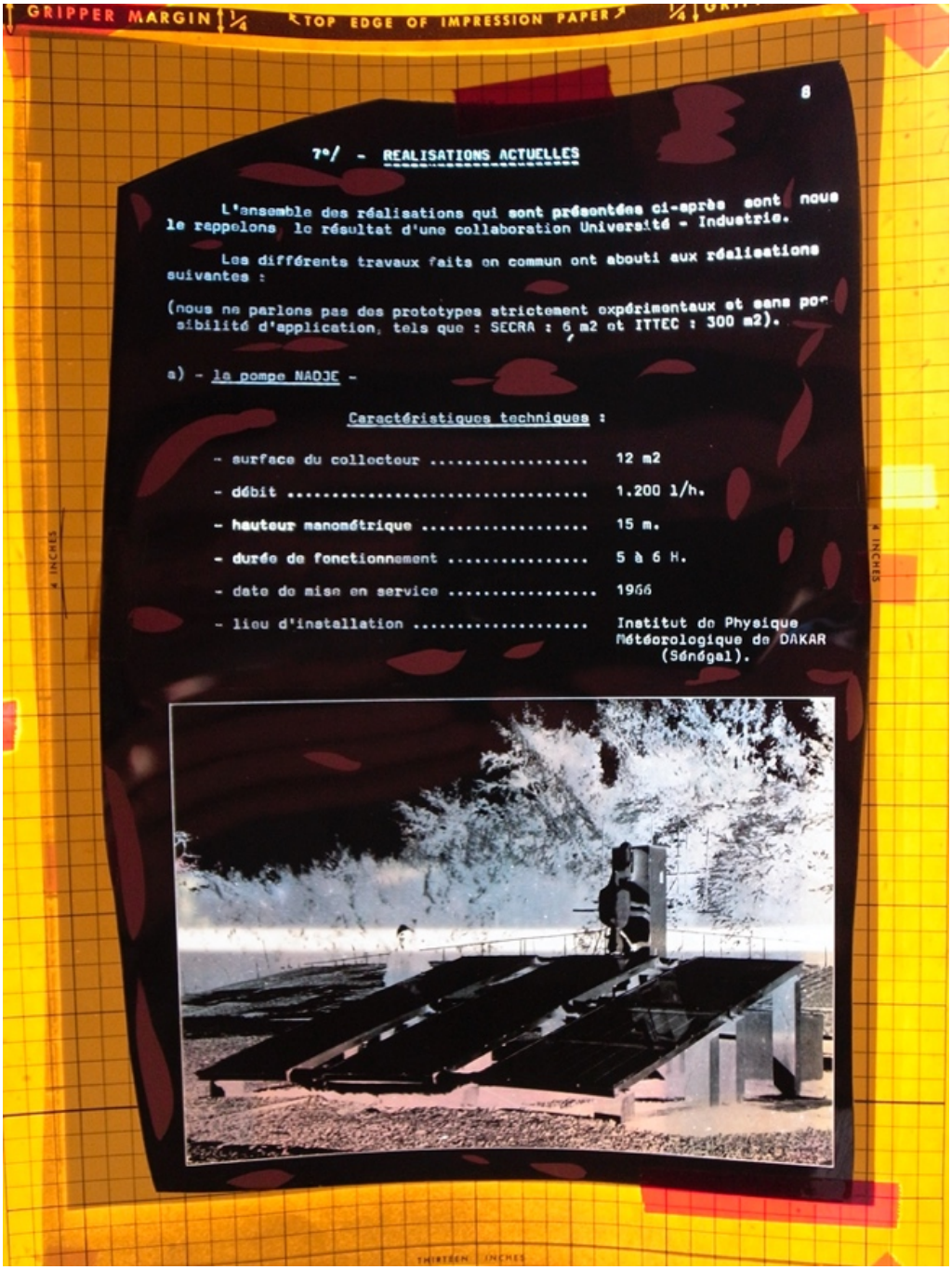


Figure 11 : description de la pompe NADJE. Négatif photographique pour l'impression d'une brochure par Mengin. Archives privées fonds usine Mengin.

[536] Le livre des exportations des Établissements Pierre Mengin nous permet de suivre le calendrier des envois des pièces détachées à l'IPM de Dakar. Livre des exportations, dossier comptabilité, Archives privées fonds usine Mengin.

En 1967, un agent du ministère de la Coopération en visite à l'IPM, M. Baudet, intervient en faveur du projet de développement d'un moteur à piston spécifique pour pompe solaire de 1 kW[537]. Un crédit de 60 000 F est débloqué. En première intention, Girardier cherche un motoriste susceptible de le construire mais devant les prix prohibitifs demandés il décide de confier cette tâche aux Établissements Pierre Mengin dont il vient de prendre la Direction générale[538]. Le refus des grands constructeurs de réaliser ce moteur est symptomatique des obstacles auxquels les porteurs de technologies solaires doivent faire face. Girardier se heurte aux leaders sectoriels des industries conventionnelles. Sans son propre bureau d'étude et son usine, il ne peut pas trouver le relais nécessaire. Au cours des mois qui suivent, le bureau d'étude Mengin invente le MGS, le moteur Masson-Girardier Solaire, qui est ensuite usiné dans leurs ateliers historiques au centre de Montargis. Nous en avons retrouvé les plans, les seuls existants à notre connaissances, datés de la fin de l'année 1967-début 1968[539]. Deux versions sont conçues, le MGS 1-260 (mono-piston) et le MGS 2-1000 ou 2000 (deux pistons), ainsi qu'une pompe de réinjection du fluide de travail et un échangeur de 25 tubes[540]. Selon Girardier, le nouveau moteur est opérationnel en 1968 et sa version MGS 2-1000 est choisie pour équiper les deux pompes solaires prototypiques commandées au cours de l'année 1967 par le ministère de la Coopération dans le cadre de deux contrats du FAC, l'un avec la République du Sénégal et l'autre avec la République du Niger[541].

[537] GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, p. 29 ; GIRARDIER Jean-Pierre, CAILLE Frédéric, *op. cit*., 2015 ; DURAND Jean-Paul, CLEMOT Max, GIRARDIER Jean-Pierre, *op., cit*., 2010, p. 11.
[538] *Ibid*.
[539] L'association PHESO a retrouvé un exemplaire du MGS 2-1000 au Burkina-Faso. Il s'agit d'un MGS 2-1000 installé par la SOFRETES dans les années 1970 qu'un ouvrier-monteur burkinabé (décédé en 2020), employé à l'époque par la SOFRETES, est allé récupérer en brousse. En 2022, le moteur est en possession de l'association PHESO en France.
[540] MGS 1-260, Plan N°23558, 1 décembre 1967 ; MGS 2-1000, Plan N° 23571, 14 octobre 1967 ; Pompe de réinjection solaire, Plan N°24175, 17 avril 1968 ; Dossier « échangeur 25 tubes de 70 000 calories », du 23 mai 1967. Archives privées fonds usine Mengin.
[541] Ce que le Livre des exportations des Établissements Pierre Mengin confirme pour les années 1967-1968 avec les versements clients du CNRS, de la République du Sénégal, de la République du Niger et de l'IPM. Dossier comptabilité, archives privées fonds usine Mengin.

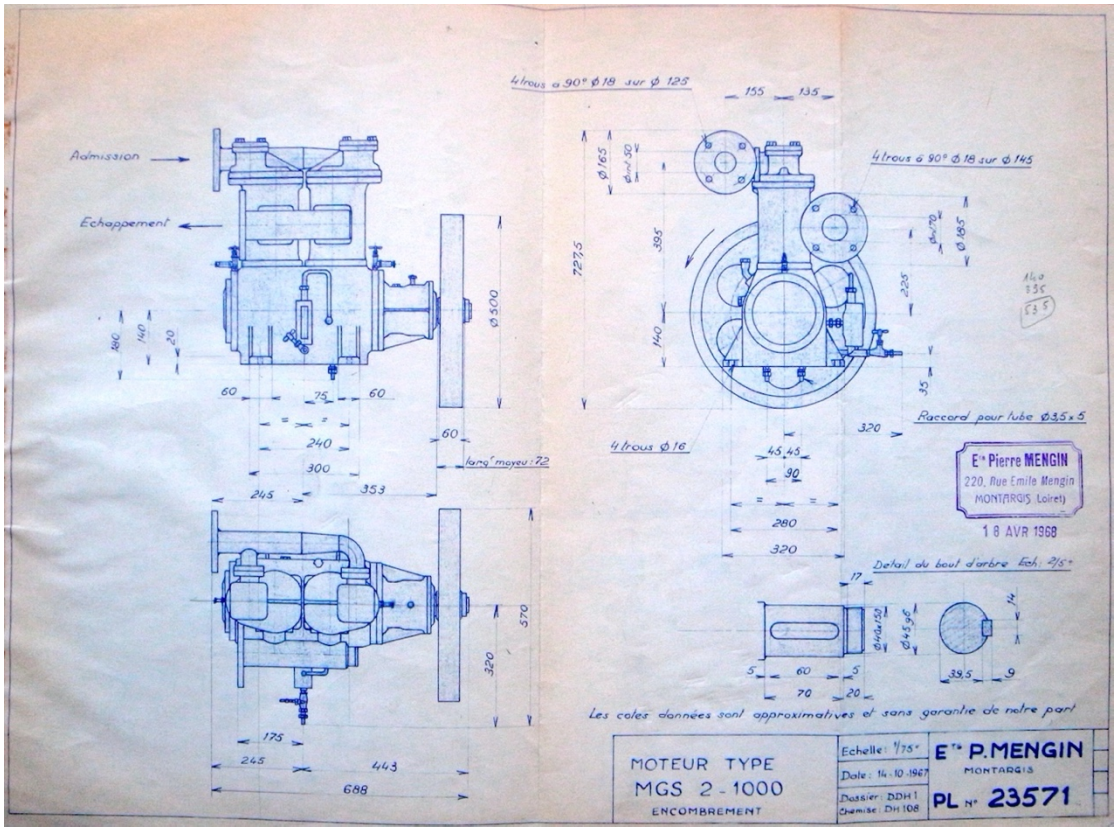


Figure 12 : MGS 2-1000. Plan N° 23571, 14 octobre 1967. Archives privées fonds usine Mengin.

Le compte-rendu du Conseil d'administration de Mengin sur l'exercice 1967 nous apprend que le CNRS participe en 1966-1967 à la fabrication par l'usine Mengin pour l'IPM de Dakar de NADJE (dont le moteur est vraisemblablement une version du MGS 1-260) : « nous avons livré l'an dernier, une nouvelle pompe solaire, ainsi qu'un gros moteur, commandés par le CNRS »[542]. L'implication du CNRS dans les expérimentations de Masson bénéficie donc aux activités solaires de sous-traitance industrielle de Mengin (Girardier n'est pas un universitaire et Masson devient administrateur de Mengin en juin 1968), « les études que nous faisons dans ce domaine nous ont permis de développer parallèlement des fabrications d'échangeurs tubulaires, et, tout dernièrement, nous construisons un réfrigérateur solaire pour le CNRS ». Les EPM amortissent les suppléments de dépenses solaires grâce à leur activité traditionnelle dans l'assainissement tout en apprenant un nouveau métier[543]. La commande d'une pompe solaire « pour le Gouvernement du Sénégal (collecteur de 88 m^2) » est destinée à l'installation d'un

[542] Compte-rendu de l'exercice 1967, Assemblée générale ordinaire des actionnaires du 15 juin 1968, p. 5. Archives privées fonds usine Mengin.
[543] *Ibid*.

prototype MGS 2-1000 dans la cour de l'IPM de Dakar[544]. C'est SEGAL, la réalisation zéro qui sert de modèle à toutes les futures installations de petite puissance (1 kW) de la SOFRETES. Cette station type, montée et mise en fonction en 1968, fonctionne sans interruption pendant un peu plus de dix ans soit jusque vers 1979-1980[545].



Figure 13 : description de la pompe SEGAL. Négatif photographique pour l'impression d'une brochure par Mengin. Archives privées fonds usine Mengin.

[544] *Ibid*.
[545] GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, p. 29 ; GIRARDIER Jean-Pierre, CAILLE Frédéric, *op. cit*., 2015 ; DURAND Jean-Paul, CLEMOT Max, GIRARDIER Jean-Pierre, *op., cit*., 2010, p. 11.

Pour financer SEGAL (en 1968) et la commande nigérienne (pour 1969), la participation du ministère de la Coopération est insuffisante. Les Établissements Pierre Mengin demande l'aide à la DGRST sur la base d'une étude de marché qui prévoit un chiffre d'affaires solaire de 3 000 000 F dans huit ou neuf ans, c'est-à-dire en 1976-1977. Ils obtiennent « l'accord du Gouvernement pour notre programme de développement des pompes solaires » pour trois ans (1968-1969-1970) à hauteur de 800 000 F[546]. L'État accepte de financer 50 % de ces dépenses sous la forme d'une subvention remboursable sur les futures ventes de prototypes solaires : « le plan de développement nous en donne les moyens, ceci d'autant plus que depuis 1967, nous supportons seuls les frais d'études pour la mise au point de ce matériel. L'aide de l'État nous est donc indispensable pour poursuivre notre effort. »[547] Pour Mengin, s'engager dans une nouvelle activité de conception, de fabrication et de commercialisation nécessite d'augmenter ses capacités industrielles. La construction d'une nouvelle usine est envisagée à Amilly, dans une zone industrielle en périphérie de Montargis qui peut accueillir la fabrication et les essais des prototypes solaires en plus de ceux des pompes d'assainissement dont la commercialisation se développe en France comme à l'étranger. D'ailleurs, l'entreprise élargit son réseau commercial en Afrique en passant des accords de représentation avec d'autres sociétés.

3.3 ONERSOL et EIER : des prototypes d'appropriation, du Sénégal vers le Niger et la Haute-Volta

En 1969, SEGAL fonctionne depuis une année quand la commande de 1967 d'une pompe solaire « pour le Gouvernement du Niger (collecteur de 64 m^2*)* »[548] est honorée avec la mise en route de la pompe ONERSOL à Bossey-Bangou, un village des environs de Niamey au Niger. L'Office de l'Énergie solaire de Niamey (ONERSOL), le laboratoire national fondé en 1965 et dirigé en 1969 par Abdou Moumouni Dioffo, est associé au montage sur site afin d'initier avec ce projet de coopération une collaboration devant

[546] Compte-rendu de l'exercice 1967, Assemblée générale ordinaire des actionnaires du 15 juin 1968, p. 8. Archives privées fonds usine Mengin ; Contrat de R&D avec la DGRST N°6.430-03-1 quater, archives privées fonds usine Mengin.
[547] *Ibid*., p. 9.
[548] *Ibid*., p. 5.

permettre l'appropriation progressive de la sociotechnique (d'abord par la fabrication des capteurs, de la tuyauterie et des éléments de Génie civil, puis de son usage et de son entretien) tout en évaluant la pompe en conditions réelles d'utilisation (adduction d'eau pour une communauté villageoise, notamment pour abreuver le cheptel)[549]. Si Caille[550] clarifie la pertinence de l'usage de la notion de « *low-tech* » et celle « contiguë »[551] de « technologie appropriée » associé aux dispositifs solaires basse température, Moumouni déclare dés 1964 que le transfert des savoirs et des savoir-faire qui les accompagnent se doivent d'être au cœur des projets solaires par et pour l'Afrique : « l'intérêt bien compris des pays africains exige (…) que sur le sol africain soient jetées les bases non seulement de la recherche en vue de l'utilisation systématique de l'énergie solaire, mais aussi de la réalisation des dispositifs de conversion en commençant bien entendu par les plus simples et plus généralement ceux susceptibles d'être construits sur place »[552].

[549] Nous renvoyons à l'ouvrage sur Abdou Moumouni Dioffo dirigé par Frédéric CAILLE, lequel détaille d'ailleurs la présence de nombreux VSNA français (ingénieurs des Art et Métiers, Supélec, etc.) à l'ONERSOL au cours des années 1970. C'est notamment le cas du grand témoin Marc-Jacquet-Pierroulet qui passe deux ans à l'ONERSOL de Niamey de 1970 à 1972. Il participe aux expérimentations sur la pompe Mengin-ONERSOL à Bossey-Bangou. Il est ensuite recruté par Girardier à la SOFRETES en tant que technicien-monteur. Il installe la plupart des pompes solaires de la SOFRETES (au Sénégal, en Haute-Volta, etc.). CAILLE Frédéric (dir.), *Abdou Moumouni Dioffo (1929-1992), le précurseur nigérien de l'énergie solaire*, Québec, Éditions science et bien commun, 2018. Lire aussi : « Témoignage. Coopérer pour l'énergie : Retour sur une expérience de Volontaire du Progrès au Niger avec le professeur Abdou Moumouni Dioffo (1970-1972), Marc Jacquet-Pierroulet, *in* CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2020, pp. 115-120 ; « Témoignage. Bilan, préservation et avenir de l'ONERSOL de Niamy, Albert-Michel Wright (ancien ministre et ancien directeur de l'ONERSOL, Président de la fondation Abdou Moumouni Dioffo », *in* CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2020, pp. 131-140 ; Portfolio « Les archives de l'avenir », *in* CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2020, pp. I-XXXII ; WRIGHT Albert-Michel, CAILLE Frédéric, entretien du 4 avril 2018.

[550] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2017, p. 71 ; CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2020, pp. 12-13 ; CAILLE, Frédéric, *in* STOESSEL-RITZ J., BLANC M. (dir.), *op. cit*., 2020, pp. 49-62. CAILLE propose une mise en perspective historique de de la notion de technologie appropriée par l'intermédiaire de la redécouverte des travaux de l'Indien Amulya K. N. Reddy dans CAILLE, Frédéric (dir.), *Penser les énergies depuis les Suds. Une anthologie de textes d'Amulya K. N. Reddy (1930-2006)*, Québec, Éditions sciences et bien commun, 2022. Lire aussi l'américain DUNN, P. D., *Appropriate Technology, Technology with Human Face*, London : The Macmillan Press LTD, 1978.

[551] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2022,

[552] DIOFFO, Abdou Moumouni, 1964, *op. cit*., p. 46, *in* CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2018.

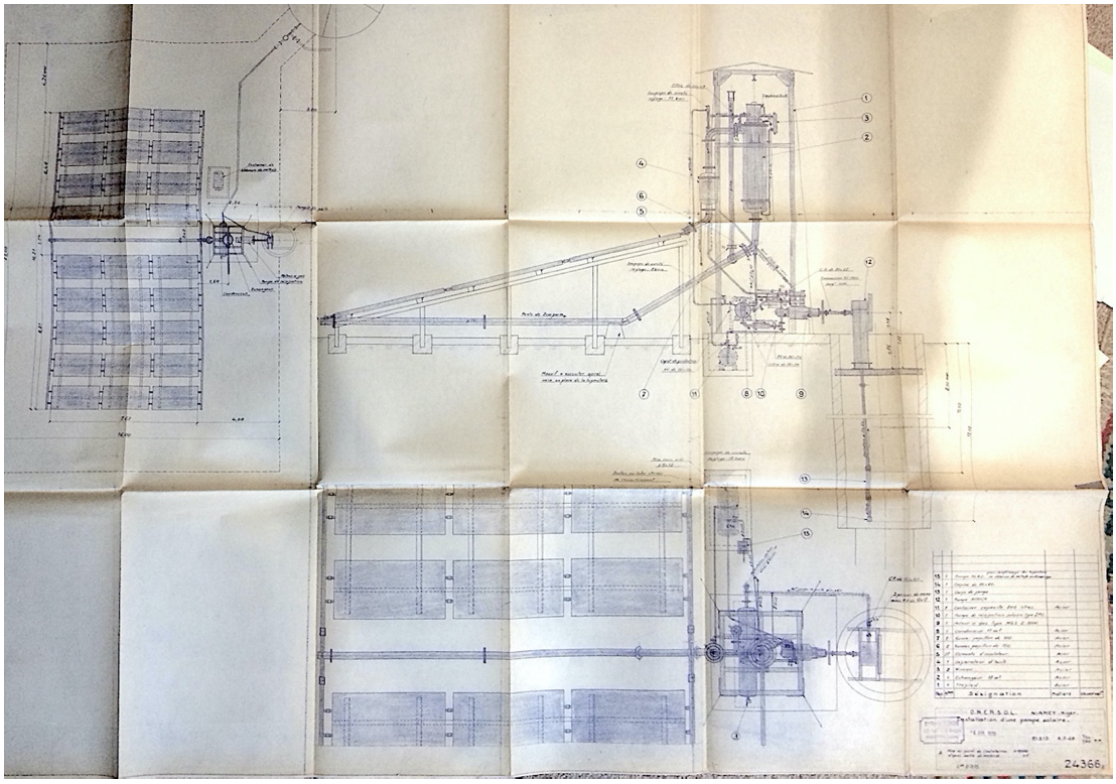


Figure 14 : plan Mengin de la pompe ONERSOL. Plan N°24366, 8 juillet 1968, archives personnelles de Georges Alexandroff.

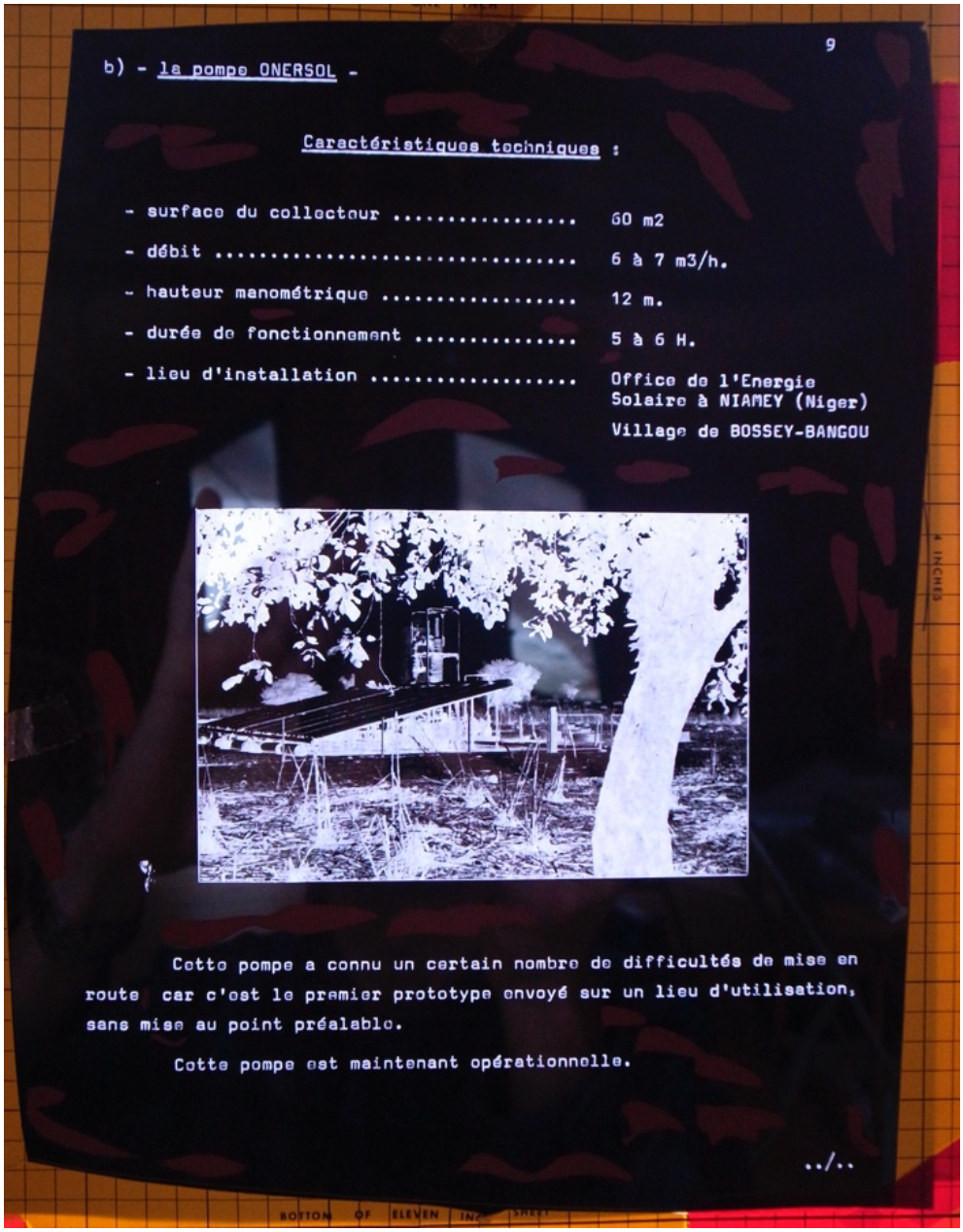


Figure 15 : description de la pompe ONERSOL. Négatif photographique pour l'impression d'une brochure par Mengin. Archives privées fonds usine Mengin. Nous disposons de différentes photographies de l'installation et du moteur sur plusieurs années de fonctionnement.

La prospective commerciale menée par Girardier en Afrique francophone apporte une nouvelle commande publique pour l'École Inter-États d'Ingénieurs de l'Équipement Rural de Ouagadougou (EIER) en Haute-Volta et soulèvent un vif intérêt du Mali[553]. A l'EIER, la pompe-école, de dimensions modestes, doit servir à la formation des futurs

[553] Compte-rendu de l'exercice 1968, assemblée générale ordinaire des actionnaires du 21 juin 1969, p. 5, archives privées fonds usine Mengin.

ingénieurs africains du Génie rural et à des essais d'un cycle thermique au butane commercial. Ce dernier est un fluide de travail facilement accessible et transportable dans les régions reculées d'Afrique sahélienne et offre peut-être une alternative aux Fréons, « cette école forme des ingénieurs spécialisés dans les techniques du froid et de l'hydraulique, toutes deux très proches, au niveau de la recherche et des expérimentations, des problèmes inhérents au fonctionnement d'un moteur à basse température »[554].



Figure 16 : description de la pompe EIER. Négatif photographique pour l'impression d'une brochure par Mengin. Archives privées fonds usine Mengin.

Les projets ONERSOL et EIER complètent donc les essais prototypiques de la station type SEGAL (équipée du MGS 2-1000) en vue d'en améliorer les performances

[554] Dossier SOFRETES de demande d'aide à la DGRST, « Demande d'aide à la recherche pour la mise au point d'une pompe d'hydraulique pastorale », 11 février 1974, p. 11, archives privées fonds usine Mengin.

techniciennes et sociales. Comme nous l'avons explicité en introduction générale, c'est à l'occasion de l'inauguration de la pompe ONERSOL par le Président de la République du Niger que Girardier prend conscience des conséquences sociales de l'installation de ce nouvel instrument d'accès à l'eau. Il comprend tout l'intérêt d'associer des activités induites à fort impact social, comme abriter une école sous les insolateurs pour accueillir des enfants désormais exemptés de corvée d'eau. Cependant, il faut faire accepter ces changements par les habitants et les gouvernants. Les usages d'une station MGS 2-1000, tels ceux d'une pompe-école par exemple, induisent la prise en charge de l'organisation des nouveaux rapports sociaux (copropriété du dispositif ? coût de son entretien-maintenance ? eau payante ou gratuite ? formation de la main d'œuvre ? etc.). Ces questions rejoignent les préoccupations d'Abdou Moumouni Dioffo quant à l'urgence d'une réforme en profondeur du système d'éducation (notamment technique) et d'organisation politique héritée de la colonisation française, afin de permettre une appropriation des techniques solaires par et pour les Africains[555].

En France, pour les Établissements Pierre Mengin, SEGAL, ONERSOL et EIER engagent la société dans une nouvelle voie que la DGRST et le ministère de la Coopération accompagnent. En 1969, l'entreprise obtient deux nouvelles sources de financement extérieures afin de pourvoir à son virage solaire qui dépend trop étroitement du développement de ses activités traditionnelles. Aussi contracte-t-elle un emprunt de 890 000 F auprès du Groupement des Industries Mécaniques (GIMECA), une institution financière de l'organisation patronale la Fédération des Industries Mécaniques (FIM), censée payer la construction de la nouvelle usine[556]. Le dossier de l'emprunt GIMECA des archives de l'usine Mengin nous renseigne sur l'état de la société au moment de ses nouveaux investissements de 1969 et des choix d'orientation de sa R&D. La clientèle pour les pompes d'adduction d'eau et d'assainissement se compose essentiellement des administrations (Ponts et Chaussées et Génie rural) et des communes françaises. La mécanique générale fournit des sociétés très spécialisées des industries de la Défense, de l'automobile et des énergies conventionnelles : « Nord-aviation, SNECMA, CSF, Institut Français du Pétrole, etc. »[557]. Mengin est donc une PMI toujours bien établie dans son

[555] MOUMOUNI, Abdou Moumouni, *op. cit.*, 1964 ; MOUMOUNI, Abdou Moumouni, *op. cit.*, 1969 ; CAILLE, Frédéric (dir.), *op. cit.,* 2018.
[556] « Dossier : Emprunt GIMECA 1969 », archives privées fonds usine Mengin.
[557] *Ibid*., p. 7.

secteur d'origine et elle est le fournisseur de très nombreuses administrations et entreprises dans lesquelles l'État est présent. Les pompes solaires représentent déjà 5 % de son chiffre d'affaires (alors qu'il ne s'agit que de prototypes expérimentaux) quand l'entreprise reçoit une subvention supplémentaire de 400 000 F du Fonds de Développement Économique et Social (FDES)[558], « pour lancer ce matériel »[559]. Cet apport est remboursable à raison de 5 % des futures ventes de pompes solaires à partir de 1972. L'aide au développement du FDES prévoit des locaux adaptés pour la fabrication des pompes solaires et permet dès 1969 d'engager un ingénieur centralien (M. Mercier) en tant que responsable de la recherche dans ce domaine.

L'année 1970 voit l'installation de la nouvelle usine à Amilly et l'usinage puis l'exportation des éléments de la pompe EIER. Le Livre des exportations de Mengin confirme des versements du FAC et de l'Ambassade de France à Ouagadougou (et toujours des règlements de l'ONERSOL). Le compte-rendu du Conseil d'administration de 1970 (exercice 1969) nous apprend que des discussions sont en cours avec le gouvernement sénégalais au sujet d'un futur programme de pompes solaires pour un périmètre agricole sur financement du FAC[560]. Les perspectives solaires sont donc plutôt

[558] « Après la Seconde Guerre mondiale, l'État intervient massivement dans le financement du secteur privé afin de soutenir la reconstruction économique. Dans cet objectif, l'État crée successivement ou simultanément entre 1948 et 1955, différents fonds sous la forme de comptes spéciaux du Trésor, destinés à financer le secteur public et privé :

- le Fonds national de Modernisation et d'Équipement (FME) en janvier 1948 ;
- le Fonds national d'aménagement du territoire en août 1950 ;
- le Fonds d'adaptation et de développement des industries de transformation, au sein du FME, en février 1953 ;
- le Fonds national de productivité en juillet 1953 ;

En 1953, ces comptes spéciaux fusionnent dans le Fonds de construction d'Équipement rural et d'Expansion économique (FEX). En septembre 1954 sont créés le Fonds de conversion de l'industrie, le Fonds de reclassement de la main-d'œuvre et le Fonds de décentralisation industrielle. Le décret n° 585-75 du 30 juin 1955 regroupe l'ensemble de ces fonds dans le « Fonds de Développement Économique et Social » (FDES), compte spécial du Trésor figurant dans la loi de finances au titre des opérations à caractère temporaire, du fait du caractère remboursable de ses opérations. Ce compte d'affectation spéciale devient un compte de prêts selon l'article 87 de la loi n° 59-1454 du 26 décembre 1959 portant loi de finances pour 1960. Instrument de contrôle des aides aux investissements de l'État, le FDES est destiné à faciliter l'exécution du plan de modernisation et la mise en œuvre de programmes d'action régionales. Ses actions ont des effets directs pour les entreprises (amélioration de la productivité, reprise d'activité…) et des effets externes (développement d'une région, d'un secteur d'activité...). Le FDES assure sa mission principalement jusqu'aux années 1960. Avec la croissance, l'équipement de base du pays est réalisé et le marché financier commence à se développer. L'État se désengage alors progressivement du financement direct de l'économie jusqu'aux chocs pétroliers qui, dès 1974, le poussent à stimuler à nouveau l'investissement. » https://www.economie.gouv.fr/saef/fonds-developpement-economique-et-social

[559] « Dossier : Emprunt GIMECA 1969 », archives privées fonds usine Mengin, p. 5.

[560] Compte-rendu de l'exercice 1969, assemblée générale ordinaire des actionnaires du 6 juin 1970, p. 6, archives privées fonds usine Mengin.

bonnes pour Mengin puisqu'à une commande en succède une autre depuis 1965-1966. La visibilité des installations prototypiques commence à dépasser le pré-carré français en Afrique de l'Ouest puisqu'une délégation chinoise visite la pompe ONERSOL (entre 1970 et 1972)[561].

En 1971, le dernier prototype MGS 2-1000 entre enfin en fonction à l'EIER de Ouagadougou. A cette occasion, Girardier fait la connaissance d'un ingénieur mécanicien français qui y enseigne la thermodynamique et l'électrotechnique (de 1970 à 1975), M. Dufour[562]. Son témoignage est éloquent sur les potentialités du MGS 2-1000 qui est installé à l'EIER : « comme l'école n'avait pas besoin de pomper de l'eau puisqu'elle était localisée à Ouagadougou, le moteur solaire servait à produire de l'électricité afin de démontrer ses potentiels aux élèves. Il était donc tout simplement branché sur un alternateur. »[563] Dufour est embauché par la SOFRETES en 1975 en tant que responsable de la mise au point et de la construction du MGS 2-1000 pour son exportation (il participera à de nombreuses missions de terrain en Afrique, notamment en Mauritanie).

Les Établissements Pierre Mengin continuent à amortir les dépenses solaires avec des bénéfices en croissance tirés de leurs activités traditionnelles. La société est en expansion, le chiffre d'affaires de 8 572 244 F augmente de 32 % en 1971 (plus 600 000 F de commandes de pompes solaires en 1971), c'est pourquoi une augmentation de capital de 200 000 F est décidée pour répondre à la très forte demande de pompes d'assainissement, « cette activité est en effet liée à la lutte contre la pollution qui est actuellement particulièrement à l'ordre du jour »[564]. En effet, l'heure est à la mise à

[561] GIRARDIER Jean-Pierre, CAILLE, Frédéric *op. cit*., 2015 ; DURAND Jean-Paul, CLEMOT Max, GIRARDIER Jean-Pierre, *op., cit*., 2010, p. 17 ; GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, pp. 57-63 ; CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2018, pp. 113-116 (récit de son voyage en Chine). Dans les archives personnelles de Girardier nous avons trouvé un article d'un journal Chinois daté de 1965 (pas de nom) que nous avons fait traduire par Bernard Wong de l'Université de Toronto. Le texte nous apprend que les autorités chinoises font fonctionner des bains publics solaires dans une ferme de la région de Beijing à l'été 1965.

[562] Pierre Dufour est né en 1934. Il est ingénieur mécanicien de l'École de l'Air de Salon de Provence. Il termine sa carrière militaire après 15 ans de service avec le grade de lieutenant-colonel. Après deux ans de Guerre d'Algérie, il intègre le Centre d'essais et de recherche de Mont-de-Marsan. Son administration lui demande alors de participer à un programme d'essai de missiles nucléaires. Comme il est anti-nucléaire, il démissionne de l'Armée. Il décide alors d'enseigner la thermodynamique et l'électrotechnique en Afrique à l'EIER de Ouagadougou de 1970 à 1975. DUFOUR Pierre, CAILLE Frédéric, entretien du 12 décembre 2018. Pierre Dufour nous a également confié ses archives personnelles.

[563] DUFOUR Pierre, CAILLE Frédéric, entretien du 12 décembre 2018.

[564] Compte-rendu de l'exercice 1970, assemblée générale ordinaire des actionnaires du 26 juin 1971, p. 11, archives privées fonds usine Mengin et Compte-rendu de l'exercice 1971, assemblée générale ordinaire des actionnaires du 17 juin 1972, p. 2, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2. Les salaires des employés augmentent de 8% en 1971.

l'agenda de la question environnementale dont les différents acteurs de l'écologie se saisissent depuis une dizaine d'années, et elle entre dans une phase d'institutionnalisation progressive. Le solaire y est principalement intégré par les pouvoirs publics comme une alternative aux polluants fossiles, c'est-à-dire uniquement dans sa dimension énergie propre, réduisant d'autant ses potentiels sociopolitiques dans les représentations qui composent la solarité hégémonique[565]. A cette étape de notre étude, nous relevons que Mengin est une PMI parfaitement en prise à la fois avec sa dynamique sectorielle[566], mais aussi avec les préoccupations socio-énergétiques plus large de son temps. D'ailleurs, une décision administrative d'orientation commerciale pour sa branche assainissement est prise cette année-là qui aura de très importantes répercussions sur l'avenir solaire de l'entreprise.

Le 1er octobre 1971, les Établissements Pierre Mengin passent un accord de commercialisation commune pour 20 ans avec l'entreprise RATEAU, filiale de la CGE, afin d'élargir sa clientèle-assainissement à l'étranger (notamment en Amérique latine et au Moyen-Orient[567]). « Nous attendons beaucoup de ce rapprochement, non seulement du point de vue commercial, mais également dans le sens d'une rationalisation de nos productions et d'une amélioration technique progressive de notre programme »[568]. Nous

[565] Cet aspect est bien connu et bien document. Aussi nous renvoyons aux trois thèses récentes d'histoire de l'énergie solaire en France qui recontextualisent le solaire par rapport aux préoccupations écologistes de la fin des années 1960 et l'institutionnalisation progressive de cette question par les gouvernements successifs des années 1970-1980. CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op. cit*., 2013 ; PELHIVANIAN, Sophie, *op. cit*., 2014 ; MARREC, Anaël, *op. cit.*, 2018.

[566] Mengin exporte aux États-Unis grâce à ses excellents rapports avec ENPO CORNELL, la fabrication sous licence de pompes d'assainissement Mengin est à l'étude en Espagne, en Turquie et aux USA (par l'obtention de brevets américains). Compte-rendu de l'exercice 1971, assemblée générale ordinaire des actionnaires du 17 juin 1972, pp. 2-3, Archives nationales, ministère de l'industrie, répertoire 19910399, carton 2.

[567] En 1972, grâce à RATEAU, Mengin obtint l'équipement d'une grosse station d'épuration à Bagdad. Compte-rendu de l'exercice 1971, assemblée générale ordinaire des actionnaires du 17 juin 1972, p. 4, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

[568] Compte-rendu de l'exercice 1970, assemblée générale ordinaire des actionnaires du 26 juin 1971, p. 9, archives privées fonds usine Mengin et Compte-rendu de l'exercice 1971, assemblée générale ordinaire des actionnaires du 17 juin 1972, p. 3, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2. Contrat du GIE Mengin RATEAU Assainissement et dossier d'enregistrement au greffe du Tribunal de commerce de Montargis, archives privées fonds usine Mengin. Ce sont les activités de « pompiste » de la société RATEAU qui intéressèrent Mengin. RATEAU est une entreprise active dans de nombreux autres secteurs comme dans l'électromécanique en tant que fabriquant de turbines, de pompes et de compresseurs. L'entreprise fut fondée par Auguste RATEAU, polytechnicien et ingénieur des mines (http://www.annales.org/archives/x/rateau.html et http://www.annales.org/archives/x/rateau3.html). RATEAU est racheté par la CGE en 1970, année où la CGE devint l'actionnaire majoritaire d'Alsthom. En 1974, RATEAU est une filiale de la CGE dans laquelle Alsthom détenait 62 %. Lire par exemple : BACKMANN Michèle, « RATEAU est viable », *L'Unité*, 15 février 1974, p. 13.

aurons l'occasion de revenir sur le rôle central que joue ce Groupement d'Intérêt Économique (GIE) avec la société RATEAU qui, comme nous l'avons déjà mentionné plus haut, participe aux projets de Claude sur l'énergie thermique des mers. Dit autrement, si RATEAU entre en collaboration avec Mengin dans le secteur de l'assainissement par le biais d'un GIE, la société est avant tout un acteur industriel de l'électricité qui a suivi et participé aux propositions antérieures de conversion thermodynamique des faibles gradients de température naturelle. Lorsque RATEAU entre dans le Groupe CGE-Alsthom en 1970, elle lui permet de s'inviter directement dans les activités de Mengin. Plusieurs dossiers des archives du ministère de l'Industrie nous renseignent sur la place qu'occupe à l'époque RATEAU sur le marché français des pompes, ainsi que sur l'histoire de sa structure administrative. D'après une enquête du 25 août 1973, « RATEAU est le pompier du groupe CGE », sa division pompe et robinetterie pèse pour 40 % du chiffre d'affaires, le reste étant partagé entre l'activité compresseur et l'activité turbine à vapeur. Au total la société fait 30 à 40 % de son chiffre d'affaires dans le domaine de l'énergie (10 MF) et dans celui de l'eau propre (adduction, irrigation, pompage) en France et à l'étranger. Sa clientèle compte par exemple l'EDF pour les pompes du circuit d'eau secondaire des réacteurs nucléaires PWR et la Marine nationale dont elle assurait 90 % du programme d'équipement[569]. Un second dossier du ministère de l'Industrie nous permet de cerner encore mieux certaines caractéristiques de cet acteur du secteur de l'électromécanique spécialisé dans les turbomachines et la robinetterie depuis sa création en 1903[570]. En 1970, RATEAU est contrôlée par la CGE (52 %), Alsthom (2 %), et la Société des Forges et Ateliers du Creusot (16 %). En tant que filiale d'Alsthom, au cours des années 1970, 40 % du chiffre d'affaires des ventes de turbines à vapeur, de compresseurs et de pompes RATEAU sont tributaires du programme nucléaire français. Dans un document adressé à la DGRST, RATEAU rappelle son expérience originelle dans les technologies thermodynamiques faisant appel aux turbines à détente de gaz (de -180°C à 700°C), c'est-à-dire à des convertisseurs ORC : « depuis son origine

[569] Archives nationales, ministère de l'Industrie, Direction générale de l'industrie, Service biens d'équipement industriel, « État des lieux des pompes marché français 1973-1983 », Sous-direction du gros matériel d'équipement, division des matériels énergétiques, 25 août 1973, enquête « secteur pompes », répertoire 19910397, carton 6 (dossier dont la reproduction est interdite).

[570] Archives nationales, ministère de l'Industrie, Direction générale de l'industrie, Service biens d'équipement industriel, Dossier « RATEAU 1969-1984 », répertoire 9910397, carton 43 (dossier dont la reproduction est interdite).

RATEAU participe très activement à la récupération d'énergie par détente des fluides gazeux sous pression disponibles dans les procédés pétrochimiques ou produits par des générateurs de différentes natures »[571]. Nous le voyons, si le GIE Mengin RATEAU Assainissement étudie et vend des matériels et des installations utilisés dans les ensembles de pompages d'eaux usées, de traitement et d'épuration, le Groupe CGE-Alsthom développe en parallèle avec RATEAU des technologies tout à fait complémentaires à celles expérimentées par Girardier et Masson sur les moteurs solaires ORC à piston ou à turbine à fluide gazeux liquéfiables. Si ces deux secteurs d'activités (assainissement et solaire) semblent, en 1971, tout à fait séparés et hermétiques dans le lien contractuel qui rapproche les deux entreprises, nous verrons que cela change quelques années plus tard (*cf. infra* chapitre 5). D'où l'importance, à ce moment de notre développement, de bien replacer dans notre déroulement chronologique des faits, ces acteurs, afin d'identifier clairement ce moment stratégique de l'entrée de RATEAU dans l'existence administrative de Mengin en 1971.

Dans l'ébullition de ce début des années 1970 où la PMI familiale de Girardier s'agrandit et se diversifie, une nouvelle commande vient bousculer la solarité hégémonique en autorisant l'installation dans le village de Chinguetti, en plein désert du Sahara mauritanien, d'une pompe solaire abritant une école. Pour le comprendre, il nous faut développer ce dossier en tant que tel. Au cours de l'année 1970, la MIFERMA, une entreprise minière d'origine coloniale (1952-1974), passe commande à Girardier-Masson d'une pompe solaire SEGAL, alors prototype en démonstration à l'IPM de Dakar. L'opération Chinguetti devient pour Mengin la plus importante du carnet de commande solaire.

4. L'opération Chinguetti : vers une relation technopolitique à la machine

L'opération Chinguetti se déroule de 1970 à 1973. Son interprétation nécessite de l'analyser du point de vue de chaque acteur impliqué. Pour Girardier et sa PMI il s'agit de répondre à une commande privée. En ce sens, le contrat semble s'éloigner d'un marché d'aide publique confortant ainsi leurs grandes espérances dans une possible future

[571] *Ibid*.

commercialisation d'une solution solaire industrielle. Et ce, d'autant plus qu'en parallèle, les démarches commerciales que Girardier lance tous azimuts auprès de gouvernements africains (Mali, Sénégal, Niger, Algérie) commencent à porter leurs fruits. Mais pour la MIFERMA, à quel objectif répond cette opération solaire ? Les objectifs de la PMI à l'export et de la minière coloniale[572] sont-ils convergents ?

L'opération Chinguetti doit également se comprendre en deux temps. La première phase (1970-1973) correspond à sa commande, à la fabrication de la station solaire, à son montage et à son inauguration. Une période pendant laquelle Girardier recherche des financements supplémentaires et contracte de nouveaux partenariats avec les pouvoirs publics. Dans une seconde étape, l'opération Chinguetti change d'envergure. Elle devient un événement médiatique aux fortes répercussions, imprévisibles. Ce second volet est étudié au chapitre suivant (*cf. infra* chapitre 2).

4.1 La pompe solaire de Chinguetti vue de Mengin : une opération de démonstration à long terme

Avec la commande de la MIFERMA, le moteur solaire MGS 2-1000 trouve une nouvelle expression de son potentiel social. Masson et Girardier proposent au mandataire d'intégrer la machine - l'objet technique, l'outil d'exhaure de l'eau - à un bâtiment solaire abritant une école. Ainsi, le convertisseur et l'architecture sont pensés ensemble afin de satisfaire de nombreux besoins essentiels. La définition du problème et celle de sa solution s'écarte alors de la simple motorisation d'un puits, action souvent plus destructrice que bénéfique (effondrement du puits mal dimensionné et aménagé, pannes, accès au combustible, surpâturage accélérant la déforestation et donc la désertification,

[572] Nous n'avons trouvé aucune mention de l'opération pompe solaire à Chinguetti dans les documents MIFERMA archivés par le ministère de la Coopération. Le répertoire 2000031, cartons 1-28, est cependant très intéressant en ce qu'il associe des dossiers Coopération-BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) de pays africains francophones dotés de ressources minières (Mauritanie, Gabon, Niger, Sénégal) avec des dossiers regroupant des actions internationales solaires du COMES (dossiers géographiques, classement par pays). Par exemple, c'est dans le carton 17 que les documents MIFERMA (1962-1978) sont archivés aux côtés de dossiers de suivis d'opérations solaires au Mali. Malgré cette proximité physique et thématique le dossier MIFERMA ne renferme que des documents relatifs aux négociations intergouvernementales sur les indemnités en vue de sa nationalisation de 1974. Nous avons dû rechercher ailleurs des traces de l'opération Chinguetti dans les affaires de la MIFERMA.

etc.) si elle ne s'accompagne pas d'un processus d'appropriation sociotechnique[573]. Le bulletin d'information de la MIFERMA de décembre 1972 en titrant « par la construction d'une pompe solaire, MIFERMA espère participer au développement de la cité (c'est nous qui soulignons) » semble avoir pris conscience des potentiels sociopolitiques de la machine solaire : « la pompe de Chinguetti…a sur ses prédécesseurs des particularités originales qui font de cette expérience une première mondiale dont les résultats, s'ils sont positifs, peuvent orienter différemment la conception du développement de toutes les régions isolées des zones tropicales »[574].

L'idée d'une pompe solaire intégrée a déjà germé dans l'esprit de Girardier comme nous l'avons découvert précédemment sur le plan d'une pompe Mengin de 1965 et lors de son échange avec le Président du Niger le jour de l'inauguration de la pompe Bossey-Bangou en 1969. Cependant, l'usine Mengin n'est pas un cabinet d'architecte. Elle peut fabriquer les éléments d'un nouveau dispositif SEGAL, mais le bureau d'étude est incapable de concevoir la construction du bâti (mais est en mesure de fabriquer la charpente métallique). L'ensemble solaire intégré pompe-école est imaginé par les époux Alexandroff, architectes solaires qui fréquentent Masson depuis quelques années[575].

Georges Alexandroff obtient son diplôme des Beaux-Arts en 1965 en présentant « un village solaire en Afrique » comme projet de fin d'étude[576]. Son épouse, Jeanne-Marie Alexandroff, obtient le sien en 1968. Pendant ses années de préparation, elle fréquente assidument la bibliothèque du musée de l'Homme de Paris où elle découvre les travaux de Masson et de Perrot. Ainsi, elle rencontre le professeur Masson qui les met en

[573] Cet aspect qui contrecarre plutôt l'idée de soutenir la motorisation solaire d'un puits est étrangement développé dans le dernier article du numéro de décembre 1972 du Bulletin d'information mensuel de la MIFERMA qui présente un court dossier de promotion sur l'opération pompe solaire de Chinguetti : GAUTHIER-PILTERS, Hilde, « le puits pastoral dans le désert », *MIFERMA – Informations*, n°23, décembre 1972, pp. 50-56. René DUMONT explique dans ses travaux les dommages occasionnés (érosion, surpâturage, désertification) par la motorisation des puits au Sahel en insistant pour privilégier la force animale et les capacités de fumure associées. DUMONT, René, *Pour l'Afrique, j'accuse*, Plon, 1986. Voir aussi, BEHRMAN, Daniel, *Solar Energy (1979) : The Awakening Science*, Routledge & Kegan Paul, 1979, pp. 314-316.

[574] *MIFERMA – Informations*, « Chinguetti 1973. Par la construction d'une pompe solaire MIFERMA espère participer au développement de la cité », n°23, décembre 1972, p. 31.

[575] Frédéric Caille rencontre les Alexandroff à plusieurs reprises. Nous pouvons nous appuyer sur plusieurs entretiens (notamment celui du 3 novembre 2015). George et Jeanne-Marie Alexandroff nous ont confié leurs archives personnelles : documents relatifs à leur collaboration avec Masson et Girardier, puis avec la SOFRETES, le CEA, le CNRS, l'EDF, etc., ainsi que leurs plans et leurs maquettes d'installations solaires dans les pays du tiers-monde (dessins, carnets, tirages originaux, etc.). Les informations que nous mobilisons sont donc issues de ce fonds d'archives privées.

[576] *Curriculum Vitae* de Georges Alexandroff, archives privées de Georges Alexandroff.

relation avec Girardier en 1970. Les époux Alexandroff deviennent les architectes conseils de l'opération et les rôles des différents partenaires sont répartis.

Le client, la MIFERMA, choisit d'offrir la pompe solaire à l'oasis saharienne de Chinguetti. Mengin conçoit et fabrique la charpente métallique (préfabriquée et montée à blanc en usine avant son expédition), les capteurs plans, le MGS 2-1000 et les éléments de la boucle thermodynamique (tuyauterie, échangeur, condensateur, pompe de réinjection, etc.). La pompe de puits, commandée par une presse hydraulique actionnée à l'arbre moteur, est une vieille et robuste hydropompe Mengin, en cuir et en bronze, datant de la première moitié du XX^{e} siècle. Elle est récupérée dans une commune française aux alentours de Montargis. Les Alexandroff se chargent de concevoir le bâtiment (locaux et château d'eau – deux réservoirs dans une tour) qui peuvent s'élever sur la charpente métallique. Ils choisissent de s'inspirer de l'architecture vernaculaire afin d'assurer la meilleure acceptation possible de l'installation par les populations.

Pour réduire au maximum les coûts (construction, acheminement, montage), les architectes ont l'idée de créer des capteurs solaires autoportants pouvant être en partie préfabriqués sur place. Ils proposent d'avoir recours à des profilés en fibrociment, autrement dit en amiante, qui sont déjà utilisés et fabriqués en Afrique pour leur faible prix. Il s'agit finalement de pouvoir juxtaposer des modules au profil transversal en dent de scie (des sortes de bacs) de quelques mètres carrés faisant à la foi office de capteurs solaires et de toit. Les augets de ces *canalétas*, tels qu'ils se nomment, sont transformés en collecteurs solaires en équipant le fond d'un circuit d'eau sur un corps noir, isolé sur le devant par une simple vitre et calorifugé à l'arrière par de la laine de verre, quand les faces latérales, rendues réfléchissantes, peuvent avoir un effet concentrateur sur le rayonnement. Les Alexandroff déposent une demande de brevet industriel pour leur invention le 10 février 1970, qui leur est délivré le 18 octobre 1971 : « les éléments de couverture objets de l'invention peuvent être utilisés dans tous les cas où l'on se propose de capter l'énergie solaire incidente sur la toiture d'un bâtiment, aux fins, soit d'améliorer les conditions d'habitabilité (chauffage, climatisation), soit de produire de la force motrice (électrification du bâtiment, alimentation de pompes et moteurs divers), soit de réaliser des distillateurs, soit de produire de la glace, etc. »[577]

[577] ALEXANDROFF George et Jeanne-Marie, « élément de toiture pour la captation de l'énergie solaire », brevet d'invention n°7004559, déposé le 10 février 1970, délivré le 18 octobre 1971, p. 4.

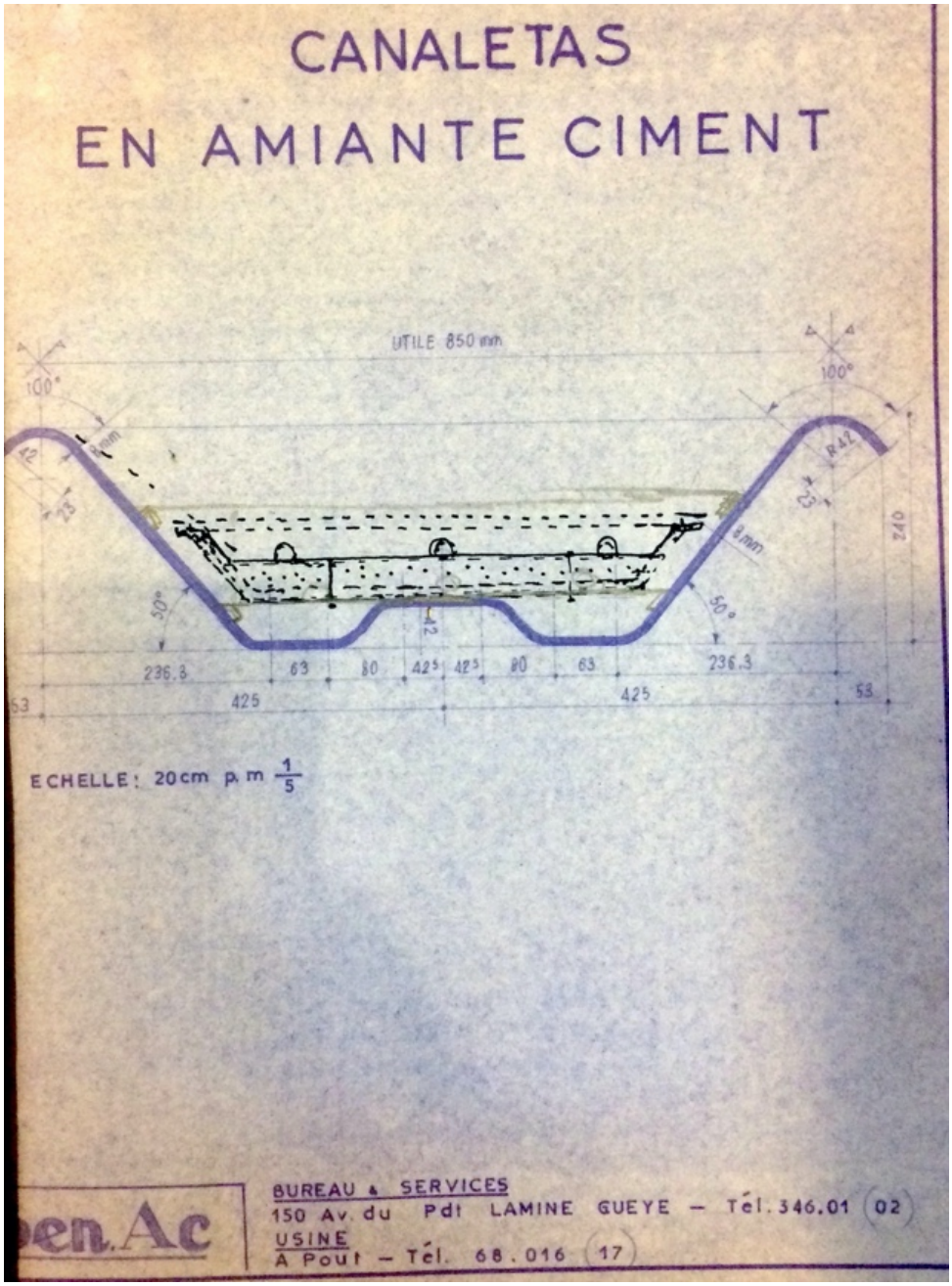


Figure 17 : descriptif des canalétas en amiante ciment modifiés en capteurs solaires par les Alexandroff et Girardier. Archives privées de Georges Alexandroff.

L'étude réalisée par les Établissements Pierre Mengin en 1971 à la demande de la MIFERMA propose en fait une série de cinq pompes solaires dont la première est destinée à alimenter en eau la population et le bétail de Chinguetti[578]. Le descriptif du prototype SEGAL, dont la pompe de Chinguetti est une réplique, rappelle que son entretien est nul

[578] Les Établissements Pierre Mengin, « Projet d'utilisation de l'énergie du soleil pour l'exhaure de l'eau à Chinguetti. Étude réalisée à la demande de la Société MIFERMA », 1971, archives privées des Georges Alexandroff.

et qu'il suffit à un gardien sans qualification spéciale (hébergé dans le logement aménagé sous les capteurs à côté des salles de classe de l'école – le maître pourrait se charger de cette tâche) de manœuvrer une vanne de démarrage et d'arrêt. Le graissage est automatique et « le passage d'un nuage isolé n'arrête pas la pompe du fait de la grande inertie thermique de l'eau circulant entre les insolateurs »[579]. Les seuls éléments à s'user et qui nécessitent l'intervention d'un technicien une ou deux fois par an sont les garnitures d'étanchéité du moteur. Étant donné le caractère prototypique de cette nouvelle installation intégrée, il est prévu de livrer deux moteurs MGS 2-1000, dont un de secours afin de ne pas avoir à arrêter la pompe en cas de difficultés. Le constructeur annonce à son client que pour ses prochaines pompes leur fonctionnement sera entièrement automatique et que « nous étudions actuellement des possibilités de produire avec les mêmes machines du courant électrique »[580]. Afin de répondre à la demande de la MIFERMA pour équiper l'oasis de Chinguetti, mais aussi dans l'optique d'envisager plusieurs autres emplacements possibles, Girardier sollicite le Bureau de Recherches Géologiques et Minières du ministère de l'Industrie français (BRGM) pour qu'il lui établisse un rapport précis des différents puits exploitables en fonction de leurs profondeurs (10-15 m en moyenne) et des caractéristiques de leurs nappes phréatiques. Le BRGM donne son feu vert pour le puits de Chinguetti. Tout comme le ministère de l'Équipement mauritanien qui mesure les caractéristiques du puits afin de dimensionner la pompe censée puiser à 11 m de profondeur, 8-10 m^3/h pendant 5-6 h par jour au moyen de 86-88 m^2 de *canalétas*. Le marché entre les Établissements Pierre Mengin et la MIFERMA est signé le 8 décembre 1971 pour une pompe solaire devant amener l'eau à 2000 habitants.

[579] *Ibid*.
[580] *Ibid*.

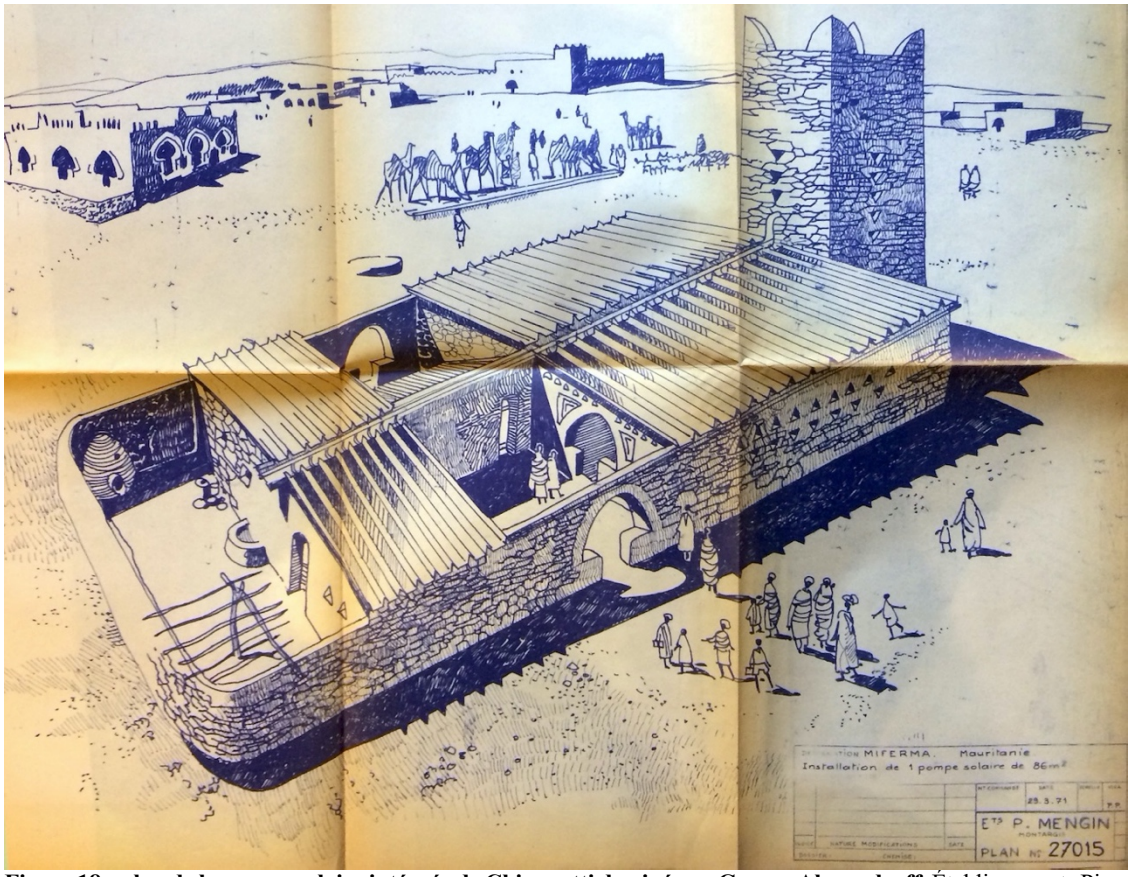


Figure 18 : plan de la pompe solaire intégrée de Chinguetti dessiné par George Alexandroff. Établissements Pierre Mengin, 29 mars 1971, plan n°27015, archives privées de Georges Alexandroff.

Au cours de l'année 1972, les premiers versements de la MIFERMA permettent de débuter la fabrication des pièces par Mengin et l'organisation des partenariats en Mauritanie pour le transport, le génie civil, et le montage[581]. Les enjeux sont de taille car Chinguetti se trouve dans une région particulièrement reculée et difficile d'accès pour

[581] Le livre des exportations des Établissements Pierre Mengin (1970-1980) nous permet de suivre les différents versements et les envois de pièces détachées pour toutes les commandes de pompes qu'elles soient « solaires » ou « d'assainissement ». Les règlements de la MIFERMA F'DERIK (du nom de F'Derik, l'un des quatre sites d'exploitation du minerai de fer) débutent en février 1972 et s'achevèrent le 31 juillet 1973 pour une somme totale de 705 488,78 francs :
- 30 048 F facture du 31 12 1971 payée en février 1972, p. 2 ;
- 25 216 F facture du 28 3 1972 payée en avril 1972, p. 3 ;
- 23 300 F + 2587, 52 F factures du 21 6 1972 payées en juin 1972, p. 4 ;
- 19 110 F + 86 248 F factures du 30 11 1972 payées en novembre 1972, p. 5 ;
- 26 587 F + 2400 F + 2090 F + 24 258 F +1200 F payées le 18 12 1972 p. 6 (notamment génie civil, montage charpente, canalétas, charpente métallique) ;
- 72 073,19 F facture payée 11 1 1973 (génie civil) p. 6 ;
- 215 620 F facture payée le 23 2 1973 p. 6 ;
- 53 905 F facture payée le 30 5 1973 p. 8 ;
- 69 001,51 F facture payée le 22 6 1973 p. 8 ;
- 51 844,04 F facture payée le 31 7 1973 p. 9.

l'époque (la situation n'est guère meilleure aujourd'hui[582]). Or, n'oublions pas que c'est justement dans ces lieux très isolés que les applications thermodynamiques de l'énergie solaire deviennent intéressantes : « des résultats de cette expérience, on pourra dire si les moteurs solaires peuvent apporter une solution au problème énergétique des régions où les difficultés d'approvisionnement et de recrutement de personnel qualifié sont telles que les moyens classiques sont inopérants »[583].

Dans les ateliers Mengin, les différents éléments du dispositif initial SEGAL sont constamment améliorés. Un nouvel échangeur tubulaire vertical est mis au point pour Chinguetti[584].

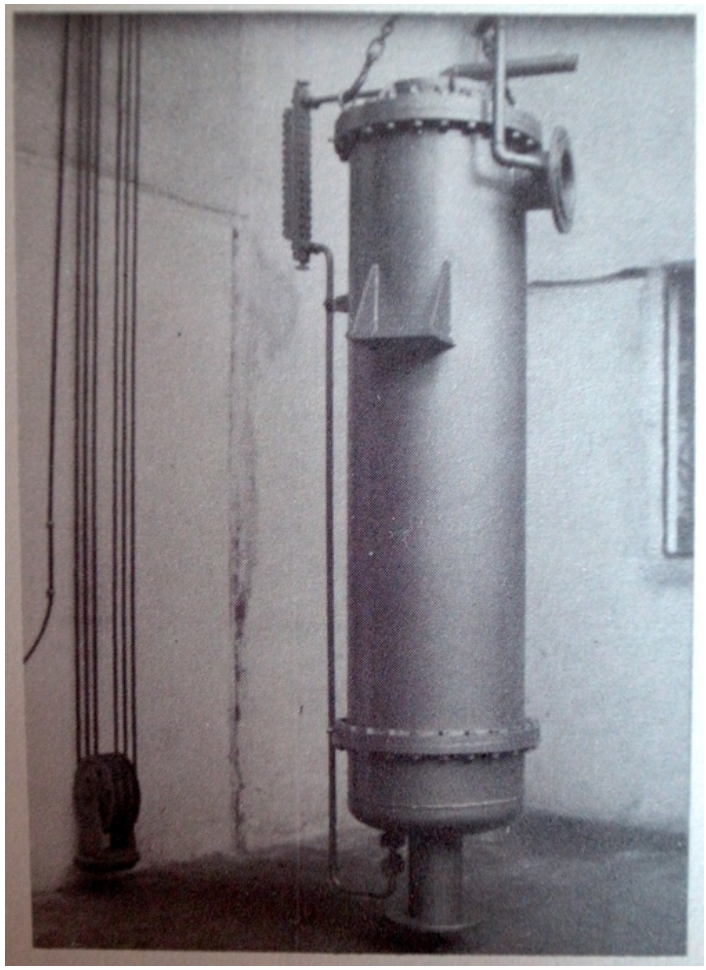


Figure 19 : échangeur de la pompe solaire de Chinguetti. MIFERMA-Informations, 1972, *op. cit*., p. 33.

[582] Nous avons effectué le trajet en 2007.
[583] MIFERMA-Informations, *op. cit*., 1972, p. 34.
[584] « Échangeur 25 m^2 421 tubes - pour MIFERMA - nomenclature des pièces », 6 pages, archives privées fonds usine Mengin.

Le Moteur MGS 2-1000 - très robuste, de conception simple et tournant à vitesse lente (200-300 t/mm) - est lui aussi perfectionné. L'expérimentation du butane commercial comme fluide de travail à l'EIER de Ouagadougou est concluante[585]. Le principal problème de ce moteur est justement dû au mélange de ce fluide (butane, CH3Cl, fréon ou autre) et du lubrifiant, qui attaque les garnitures d'étanchéités (tous les élastomères). Il faut aussi séparer les deux fluides avant de les réinjecter dans le système. De plus, l'huile perd de ses qualités lubrifiantes accentuant alors les frottements et l'usure de la segmentation au niveau des pistons. C'est pourquoi Girardier décide de collaborer avec le laboratoire Hydro-Mécanique & Frottement (HEF)[586] spécialisé dans la recherche de ce genre de solution[587]. L'Agence Nationale de la Valorisation de la Recherche (ANVAR)[588], une nouvelle institution chargée depuis 1967 de renforcer le lien entre la recherche et l'industrie, est justement en contact avec les laboratoires français publics et privés tel le HEF : « L'ANVAR est un établissement public placé auprès du CNRS sous la double tutelle du Ministère de l'Éducation nationale et du Ministère du Développement industriel et scientifique. Sa mission est de collecter, sélectionner, protéger, développer, diffuser et commercialiser les inventions en provenance des laboratoires publics, des inventeurs indépendants et des entreprises privées »[589]. L'ANVAR rencontre ainsi la proposition sociotechnique de Masson-Girardier et apporte une aide financière à l'amélioration des performances du MGS 2-1000[590]. Nous reviendrons plus en détail sur l'action de l'ANVAR dans ses relations avec la SOFRETES au prochain chapitre (*cf. infra* chapitre 2).

---

[585] Compte-rendu du Conseil d'administration des Établissements Pierre Mengin du 17 juin 1972 (exercice 1971), Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2, p. 6.
[586]https://www.usinenouvelle.com/article/hef-resout-les-problemes-mecaniques.N79100, https://www.hef.fr
[587] Compte-rendu du Conseil d'administration des Établissements Pierre Mengin du 17 juin 1972 (exercice 1971), Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2, p. 6.
[588] N. V., « L'agence nationale pour la valorisation de la recherche détient un portefeuille de près de trois mille brevets », *Le Monde*, 26 mai 1972 ; « M. Ortoli a mené une politique scientifique réaliste », *Le Monde*, 8 juillet 1972 ; BERARD, Jean-Pierre, « Nécessité d'une véritable coopération », *Le Monde*, 22 novembre 1972 ; « L'Agence pour la valorisation de la recherche va s'intéresser plus spécialement aux petites et moyennes entreprises », *Le Monde*, 1 juin 1973.
[589] « L'ANVAR et l'énergie solaire », *2000 Revue de l'aménagement du territoire*, DATAR, n°27, 1974, p. 38.
[590] Entretien avec Christian MARBACH du 12 octobre 2018 ; GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, p. 31 ; Le Soleil, *2000 Revue de l'aménagement du territoire*, DATAR, n°27, 1974, p. 38 ; Compte-rendu du Conseil d'administration des Établissements Pierre Mengin du 17 juin 1972 (exercice 1971), Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2, p. 6 ; RAMUNNI Girolamo, DEFLANDRE Jean, « Faire face à la crise du pétrole : l'énergie solaire au CNRS », *La revue pour l'histoire du CNRS* [En ligne], 4 | 2001.

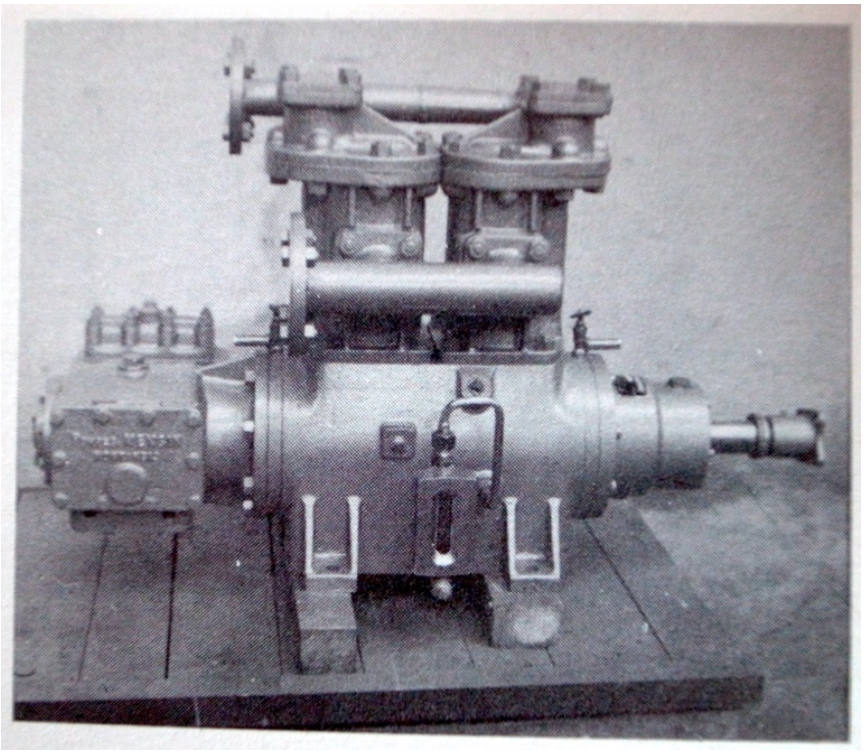


Figure 20 : moteur solaire MGS 2-1000. MIFERMA-Informations, 1972, *op. cit*., p. 33.

Les Établissements Pierre Mengin sont en relations commerciales avec des entreprises mauritaniennes avant ladite commande de la MIFERMA. Leur présence en Afrique est d'ailleurs à l'origine de l'opération Chinguetti puisque c'est bien dans la communauté d'expatriés qu'un employé de la MIFERMA entend parler du moteur solaire Masson-Girardier et que des responsables de la MIFERMA découvrent la pompe SEGAL à l'IPM de Dakar (nous y reviendrons). C'est donc tout naturellement que Girardier sollicite certaines des entreprises avec lesquelles Mengin est en affaire[591] sur place comme la Société mauritanienne d'électricité (MAURELEC)[592] et la Société des ciments du sud-ouest (SOCIM)[593]. La Société sénégalaise de l'amiante ciment (SENAC) doit

[591] Établissements Pierre Mengin, « Pompe solaire de Chinguetti (Mauritanie), état d'avancement des travaux, compte-rendu de différentes réunions avec nos partenaires en Mauritanie et au Sénégal en février 1972 », 3 mars 1972, archives privées des Alexandroff.

[592] MAURELEC 1969, puis SONELEC 1975, puis SOMELEC 2001. https://www.somelec.mr/spip.php?page=article&id_article=2

[593] Sauf la SOFRIMA à Port-Etienne. Livre des exportations des Établissements Pierre Mengin (1970-1980), Mars 1970, pp. 44-45. « De 1965 à 1970, Nouadhibou devient un important centre de traitement de poisson. En 1967, les infrastructures du port de Nouadhibou, le seul dans cette ville depuis sa création, furent développées et il y fut construit des installations de congélation et des entrepôts frigorifiques supplémentaires avec l'assistance du Fond Européen de Développement (F.E.D) et pour faire travailler ces installations, la SOFRIMA (Société des Frigorifiques de Mauritanie) fut créée en tant que société mixte entre les gouvernements mauritanien et espagnol ». OULD MOHAMED, Sidi Mohamed, « l'évolution de

fournir les *canalétas*[594]. Le déroulement des travaux et les modifications progressivement apportées au projet initial pour s'adapter aux difficultés du terrain nous sont connues grâce à un compte-rendu de chantier de 1972[595].

Pour le génie civil, un marché de sous-traitance est passé avec la SOCIM le 9 février 1972. Mengin paie sur ses deniers une rallonge afin de daller le sol de l'école et de séparer les deux classes par une cloison. Les réservoirs d'eau initialement prévus en acier sont remplacés par des réservoirs plastiques (pour des questions d'hygiène) agréés par le distributeur d'eau mauritanien (la MAURELEC, société nationale, gère l'eau et l'électricité) ce qui d'autre part facilite le transport. Une attention particulière est observée pour placer convenablement la tour d'appareillage du côté du Ksar (les murailles) et non du côté de la ville par souci d'intégration paysagère. Mention est faite d'une construction en train d'être érigée à proximité dont il faut veiller la hauteur afin d'éviter un effet d'ombre. Le rapport établit clairement que le puits est alors actionné par une éolienne (dont on ignore l'origine) qui fut démontée par le ministère de l'Équipement mauritanien. Ce dernier met ensuite en état le puits en conformité avec ses propres mesures de contrôle du dimensionnement afin d'accueillir la pompe solaire (cette précision est fondamentale, comme nous le verrons en conclusion). La SENAC s'engage à fabriquer quarante-cinq *canalétas* pour quarante installés (un excédent prévu en cas de casse), à les emballer et à les caller sur le camion de transport. La partie réfléchissante doit être peinte à l'IPM sous la direction de l'ingénieur Guennec. Un décret permet aux entreprises de génie civil de venir prendre directement livraison au Sénégal de l'amiante ciment ce qui autorise la SOCIM à envoyer un camion à Dakar. Le reste du matériel est acheminé de France par bateau jusqu'à Nouakchott où la SOCIM le récupère. Les monteurs sont au nombre de trois et deux Land-rover sont affrétées par Mengin au départ de Dakar[596]. Des

la pêche en Mauritanie depuis l'indépendance à nos jours (1960-2009) », thèse de doctorat en histoire, sous la direction de MARTINIERE, Guy, Université de La Rochelle, 2010, p. 257.

[594] Il s'agit d'une filiale de la multinationale de l'amiante Éternit. HARDY-HÉMERY, Odette, « Chapitre VI. Les années 1955-1975 : vers l'euphorie », Éternit *et l'amiante 1922-2000 : Aux sources du profit, une industrie du risque* [en ligne]. Villeneuve d'Ascq : Presses universitaires du Septentrion, 2005 (généré le 22 décembre 2020). Disponible sur Internet : <http://books.openedition.org/septentrion/55508>. ISBN : 9782757422571. DOI : https://doi.org/10.4000/books.septentrion.55508.

[595] Établissements Pierre Mengin, « Pompe solaire de Chinguetti (Mauritanie), état d'avancement des travaux, compte-rendu de différentes réunions avec nos partenaires en Mauritanie et au Sénégal en février 1972 », 3 mars 1972, archives privées des Alexandroff.

[596] Marc Jacquet-Pierroulet, dont nous avons mentionné plus haut toute l'importance du témoignage, est le monteur en chef de la pompe de Chinguetti. Il explique très bien les difficultés incroyables auxquelles ce chantier doit faire face. Aux aléas du transport s'ajoute le fait qu'aucun morceau de métal n'est disponible

négociations (conditions financières) sont en cours avec le Directeur de la MAURELEC afin que la société accepte de suivre cette station de pompage solaire après son installation car le problème de la maintenance reste entier puisque rien à ce sujet n'est prévu dans le contrat avec la MIFERMA (*cf. infra* chapitre 3). La MAURELEC procède à l'installation d'infrastructures à Atar, ancienne ville de garnison française et fin de la route principale au nord de la Mauritanie de laquelle part la piste pour Chinguetti. Elle serait donc en mesure de dépêcher quelqu'un depuis Atar pour effectuer, le cas échéant, des vérifications. Il n'en sera finalement et malheureusement pas question. La formation du gardien par un des monteurs est prévue sur quinze jours après la mise en route de la station. Le rapport du compte-rendu de mars 1972 présente ensuite les modifications techniques qui sont apportées par rapport au projet initial.

Il acte notamment du remplacement du Chlorure de Méthyle (CH3Cl) par le Butane commercial qui se trouve facilement dans toutes les stations-services d'Afrique et dont les essais à Ouagadougou, Dakar et Niamey sont concluants. L'usage du Butane permet également au moteur de fonctionner à des pressions plus basses, donc avec plus de sécurité. Afin de pouvoir passer d'un moteur sur l'autre en cas de panne éventuelle et de pouvoir travailler à rendement maximum, soit en période chaude, soit en période froide, la transmission directe à la motopompe est remplacée par une transmission avec trois courroies trapézoïdales plus souples qui permettent d'avoir deux rapports de vitesse. Les collecteurs solaires au fond des *canalétas*, au départ imaginés en acier, sont remplacés par de l'aluminium, plus léger et évitant la corrosion intérieure par l'eau chaude. Enfin, toujours dans le but d'éviter la corrosion, l'enveloppe extérieure des échangeurs est envisagée en acier galvanisé et les plaques au niveau desquelles se fait l'échange thermique sont fabriquées en inox à 13 % de chrome. Le faisceau tubulaire est dudgeonné et non brassé par crainte que la brasure ne tienne pas aux vibrations pendant le transport (ce qui s'avère pertinent, mais insuffisant). Toutes ces modifications, symptomatiques de la dynamique prototypique qui prévaut à l'opération et de l'intense activité de R&D du bureau d'études Mengin, sont opérées sans changement de prix, c'est-à-dire qu'elles sont

sur place, même pas un simple clou. Il faut donc prévoir les moindres détails et absolument tout expédier de France et de Dakar en espérant que tout arrive en bon état sur place. Ce qui est rarement le cas, occasionnant bien des retards et des coûts supplémentaires. L'association PHESO possède un film super-8 tourné à l'époque sur le chantier. Le témoignage de Girardier va dans le même sens. GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op., cit.,* 1979, pp. 30-33.

supportées par Mengin. D'ailleurs, le calendrier prévisionnel envisage de longs essais en usine et une mise en route dans le courant du mois de janvier 1973.

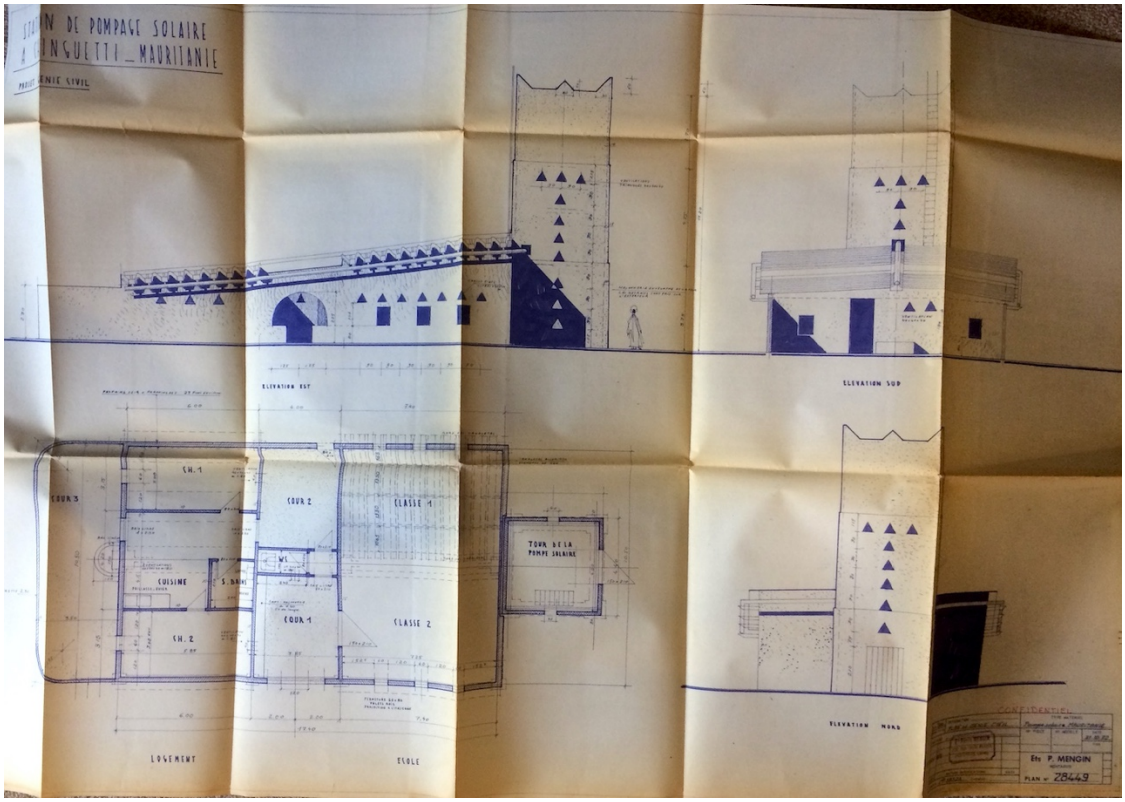


Figure 21 : plan de génie civil de la station de pompage solaire de Chinguetti. Dessin de Georges Alexandroff, 30 octobre 1972, n°28449, Établissements Pierre Mengin, archives privées de Georges Alexandroff.

Un second et dernier rapport en notre possession sur l'état des travaux à Chinguetti en date du 24 novembre 1972 apporte d'éclairantes informations sur les aléas du chantier auxquels Mengin doit faire face en augmentant sans cesse ses frais[597]. Le génie civil, par exemple, est retardé car des caisses de boulonneries sont perdues par le transitaire au port de Nouakchott obligeant Mengin à en envoyer deux de remplacement par avion. Des détails qui n'en sont pas car tous les futurs chantiers SOFRETES sont à l'image de celui-ci, émaillés de difficultés inhérentes aux conditions de vie des régions pauvres et isolées pour lesquelles est conçue cette solution solaire thermodynamique basse température. Elles sont également très représentatives des limites imposées aux usages des convertisseurs conventionnels dont les vendeurs ne mettraient pas en œuvre autant de zèle à pallier les insuffisances locales comme le fait une PMI à l'export pour assurer la

[597] Établissements Pierre Mengin, « Compte-rendu. État actuel des travaux de la pompe solaire de Chinguetti », 24 novembre 1972, archives privées de Georges Alexandroff.

postérité d'un prototype solaire. On comprend mieux, dans ces conditions, que si une simple caisse de clou et de boulons disparaît couramment, que si les kilomètres de pistes chaotiques augmentent considérablement les coûts du moindre acheminement de matériaux, l'accès à du carburant fossile, à des huiles, à des pièces de rechange pour groupe Diésel, etc., doivent répondre aux mêmes contraintes qui deviennent vite des impossibles. Les premiers essais de transport des *canalétas* en amiante ciment depuis Atar confirment certains de ces impossibles. La piste au-delà d'Atar, notamment à la Passe d'Amogjar, ne permet pas le passage de camions porteurs de colis supérieurs à quatre mètres. De plus, l'amiante ciment se révèle trop fragile et elle se brise. Aussi, les nouveaux *canalétas* sont-ils fabriqués en acier galvanisé à Montargis dans les usines Mengin. La solution est meilleure du point de vue du fonctionnement et elle doit faciliter le transport car les éléments sont dès lors plus légers et plus petits (quatre taules de 1,50 m pliées en usine). Malheureusement, il faut les expédier depuis la France et un faux-plafond isolé pour que la chaleur ne se transmette pas dans les locaux doit être installé en sus. Le rapport révèle que deux *canalétas* prototypes sont testés à Montargis et que les températures de surface mesurées atteignent 70°C au mois de novembre. Un tel constat empirique laisse donc envisager (comme celui de Shuman à Philadelphie au début du XX^{e} siècle déjà mentionné ou encore les expérimentations d'Augustin Mouchot et de Charles Louis Abel Tellier à Paris à la fin du XIX^{e} siècle) des applications solaires thermodynamiques basse température à des latitudes tempérées.

Les surcoûts occasionnés par les constants réajustements aux réalités du terrain d'une opération de démonstration prototypique solaire en plein Sahara oblige Girardier à rechercher de nouveaux partenaires financiers, d'autant plus qu'en parallèle les gouvernements du Sénégal, du Niger, du Mali, de la Côte française des Somalies et une collectivité territoriale du Sud-Algérien, se montrent intéressés. Pris dans l'époque, il est difficile de savoir, tout comme pour la MIFERMA, s'ils le sont pour la solution sociotechnique par le bas ou pour ses potentiels technopolitiques par le haut. Nonobstant, les relations publiques de Girardier sont très intenses en 1972.

C'est au cours d'une conférence qu'il donne avec l'espoir de trouver des bailleurs qu'il renforce ses liens avec l'ANVAR, qu'il en noue de nouveaux avec le CEA et avec une récente société de capital-risque dirigé par Christian Marbach, la Société Française de Financement de l'Innovation SOFINNOVA (nous développons ce partenariat aux

chapitres 2 et 5)[598]. Fort de leur soutien de principe, Girardier annonce au Conseil d'administration de juin 1972 que la création « avec un organisme officiel » d'une société spécialisée dans le solaire est à l'étude[599].

Avec les Alexandroff (en France) et Guennec (à l'IPM de Dakar), ils rédigent un rapport (en reprenant les éléments de solarité déjà établis par Masson, ses prédécesseurs et Girardier dans sa thèse) qui fait à la fois la lumière sur les raisons de la marginalisation des convertisseurs solaires par l'action publique, sur le bilan des expériences prototypiques passées et en cours, et sur les perspectives à venir, en proposant un catalogue d'offres de services solaires pour une future société commerciale d'ingénierie, « ces options se concrétisent dans le choix d'un cycle thermique à basse température analogue aux cycles frigorifiques », qui reprennent en les développant les annonces faites au Conseil d'administration[600]. Alors que la station de Chinguetti est bientôt mise en route, le rapport présente les pompes en projet. Chacune illustre un domaine d'application essentiel.

Un dispensaire pilote est prévu à Niamey, au Niger, dans le secteur de l'hydraulique villageoise. Il s'agit d'un centre d'isolement existant, l'Hôpital du Lazaret (il est aujourd'hui l'un des plus grands centres hospitaliers du Niger. Lazaret est le nom d'un quartier de Niamey). Le projet prévoyait deux phases « sous réserve de crédit »[601]. Dans la première, une pompe apporte l'eau à l'unité de soin et au quartier. Dans la seconde, le MGS 2-1000 est couplé à un alternateur pour générer l'électricité nécessaire à l'hôpital et à la réfrigération pharmaceutique. Ainsi, l'hôpital solaire pilote devient transposable, « reproduit dans n'importe quel lieu d'Afrique de la zone tropicale »[602]. Ce projet ne voit jamais le jour faute de financements.

[598] GIRARDIER Jean-Pierre, CAILLE Frédéric, entretien du 7 juillet 2015 ; GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, pp. 31 ; MARBACH Christian, MOUTHON Alexandre, entretien du 12 octobre 2018 ; DEVIN Bernard, MOUTHON Alexandre, correspondance de septembre-août 2018.
[599] Compte-rendu du Conseil d'administration des Établissements Pierre Mengin du 17 juin 1972 (exercice 1971) p. 6., Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.
[600] GIRARDIER, ALEXANDROFF, GUENNEC, « Rapport sur l'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau en zone arides », p. 3 pour la citation, archives privées de Jean-Pierre Girardier et archives privées de Georges Alexandroff.
[601] *Ibid*., p. 14.
[602] *Ibid*.

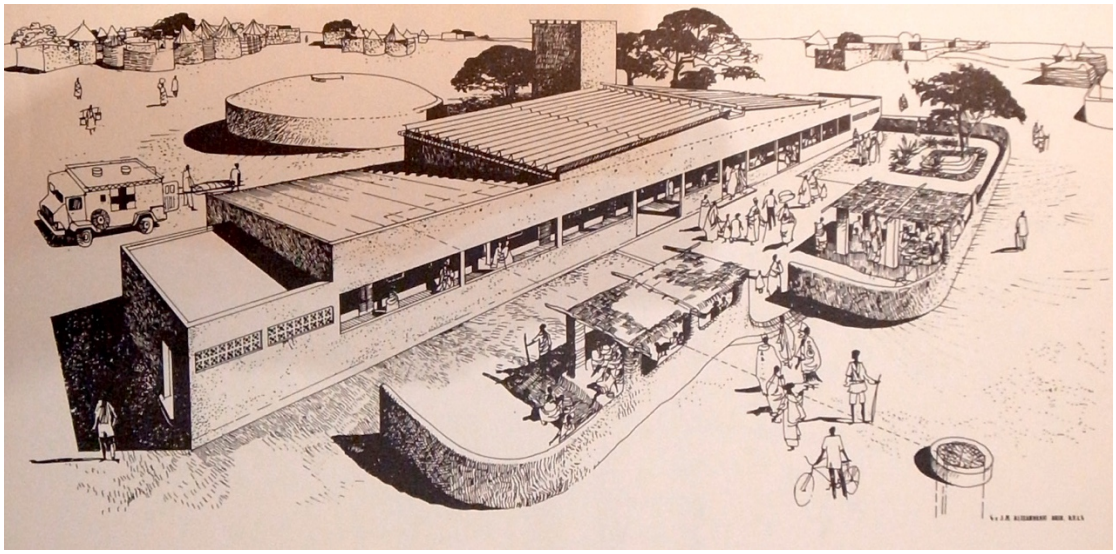


Figure 22 : plan de l'Hôpital solaire pour la Lazaret à Niamey au Niger. Dessin de Georges Alexandroff. GIRARDIER, ALEXANDROFF, GUENNEC, « Rapport sur l'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau en zone arides », p. 15, archives privées de Jean-Pierre Girardier et archives privées de Georges Alexandroff.

Cinq stations solaires d'hydraulique pastorale sont en négociation avec la République du Sénégal. Les pompes doivent servir à l'alimentation de petites communautés de deux cent cinquante personnes et à l'alimentation en eau de cinq à six mille têtes de bétail. Comme nous le verrons, le gouvernement du Sénégal engage un programme solaire avec l'aide d'un contrat de coopération FAC qui prend en charge une partie de ce projet confié à la future SOFRETES.

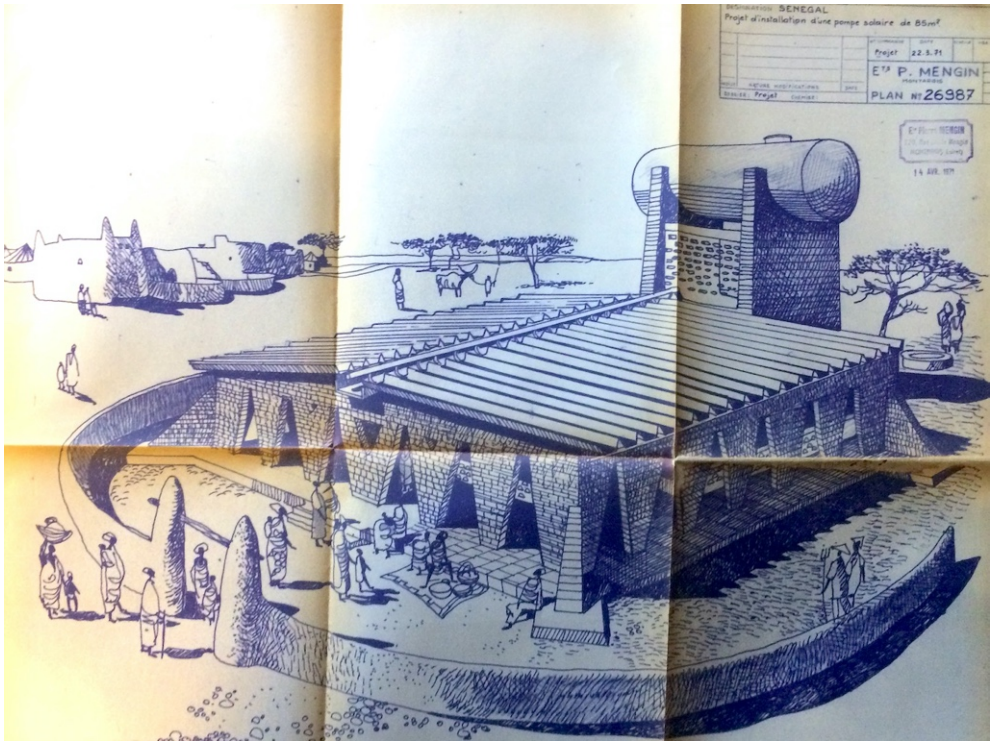


Figure 23 : « Sénégal. Projet d'installation d'une pompe solaire de 85 m² ». Établissements Pierre Mengin, plan n° 26987, 22 mars 1971, archives privées de Georges Alexandroff.

Le ministère de l'Hydraulique de la Wilaya des Oasis, en République algérienne, demande une station d'irrigation. Une pompe alimentée par 350 m² de *canalétas* est à l'étude. Elle réclame des hauteurs de relèvement relativement faible. La demande de financement est adressée au gouvernement algérien dont la réponse tarde à venir. Elle ne viendra jamais malgré l'insistance répétée, tout au long des années 1970, des préfets de Wilaya et de la SOFRETES. Il semble que l'Office National Algérien de la Recherche Scientifique (ONRS), en accord avec le CNRS au sein d'un programme de coopération scientifique dans le domaine de l'énergie solaire, qui promeut les technologies photovoltaïques et les convertisseurs hautes températures, n'accorde pas sa caution aux solutions thermodynamiques basse température pour l'irrigation des régions agricoles pauvres et isolées[603] : « il y avait là vraisemblablement un phénomène de rejet lié à une conception divergente des matériels solaires et de leur condition d'emploi… On se trouve donc en face d'une situation classique : divorce complet entre le secteur scientifique et

[603] Les relations conflictuelles entre la SOFRETES et le CNRS sont étudiées aux chapitres 3 et 6.

les utilisateurs potentiels des matériels d'énergies renouvelables »[604]. Les leaders sectoriels de l'énergie, la SONELEC et la SONELGAZ, n'apportent aucun soutien.

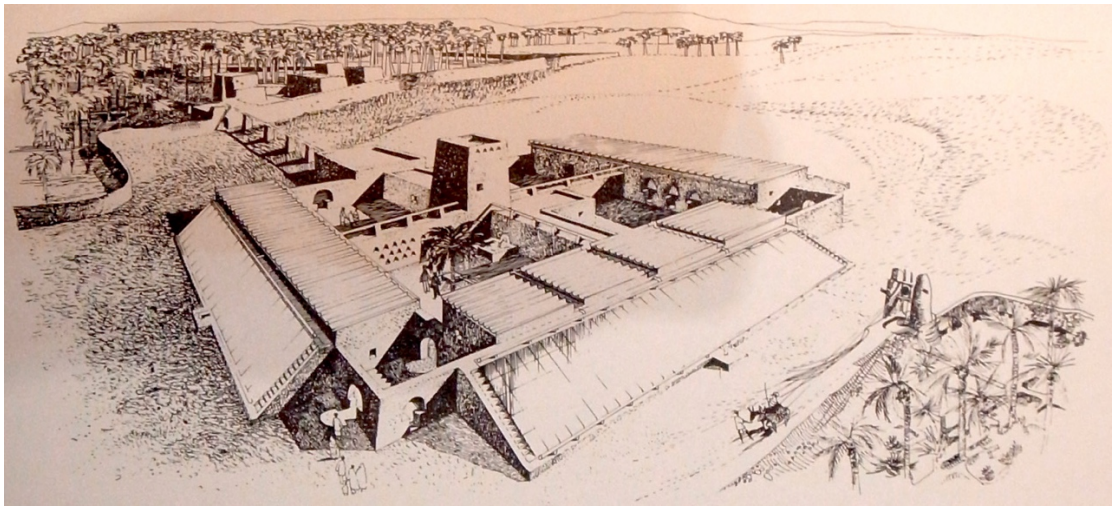


Figure 24 : projet de centre agricole pilote pour la République algérienne. Dessin de Georges Alexandroff. GIRARDIER, ALEXANDROFF, GUENNEC, « Rapport sur l'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau en zone arides », p. 16, archives privées de Jean-Pierre Girardier et archives privées de Georges Alexandroff.

Une station d'irrigation est également proposée directement au Président de la République du Niger. Une offre dont la postérité, comme nous le verrons, se concrétise sous une forme légèrement différente.

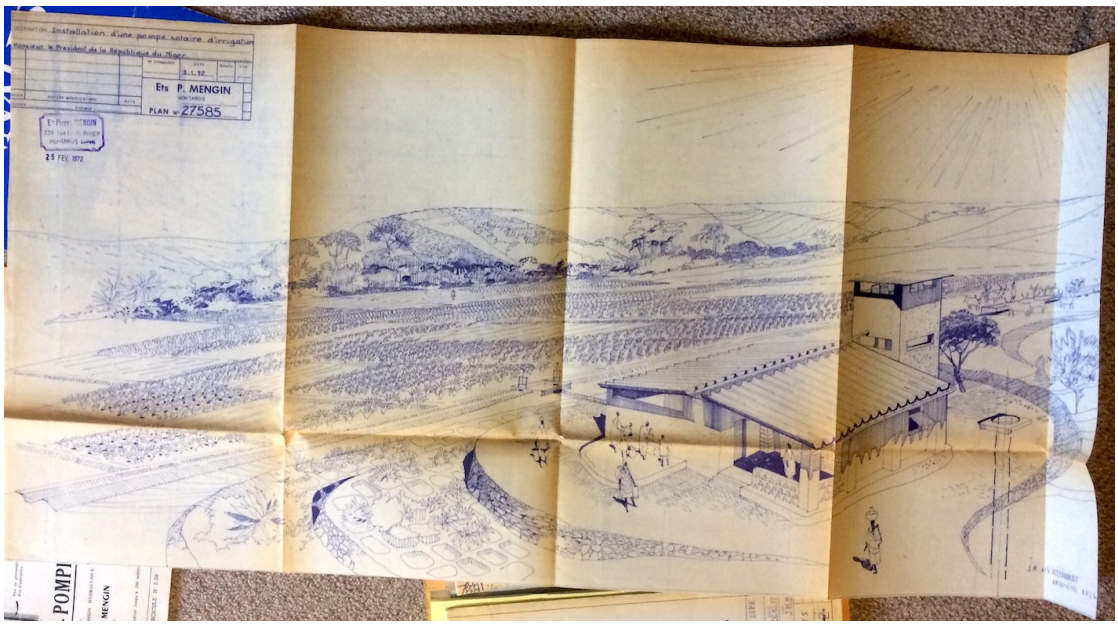


Figure 25 : installation d'une pompe solaire d'irrigation, Monsieur le Président de la République du Niger. Etablissements Pierre Mengin, plan n°27585, 3 janvier 1972, archives privées de Georges Alexandroff.

[604] Guy Lefrançois, DG du COMES, « Note pour Monsieur le Directeur général de l'Énergie et des matières premières. Coopération franco-algérienne dans les énergies renouvelables », 4 septembre 1981, p. 2. Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31.

Enfin, le rapport prévoit l'équipement le long des axes transsahariens de caravansérails (gîtes-étapes) autonomes en électricité, ou encore, sur le même principe, des centres touristiques, notamment en utilisant leur piscine comme eau de refroidissement du condenseur.

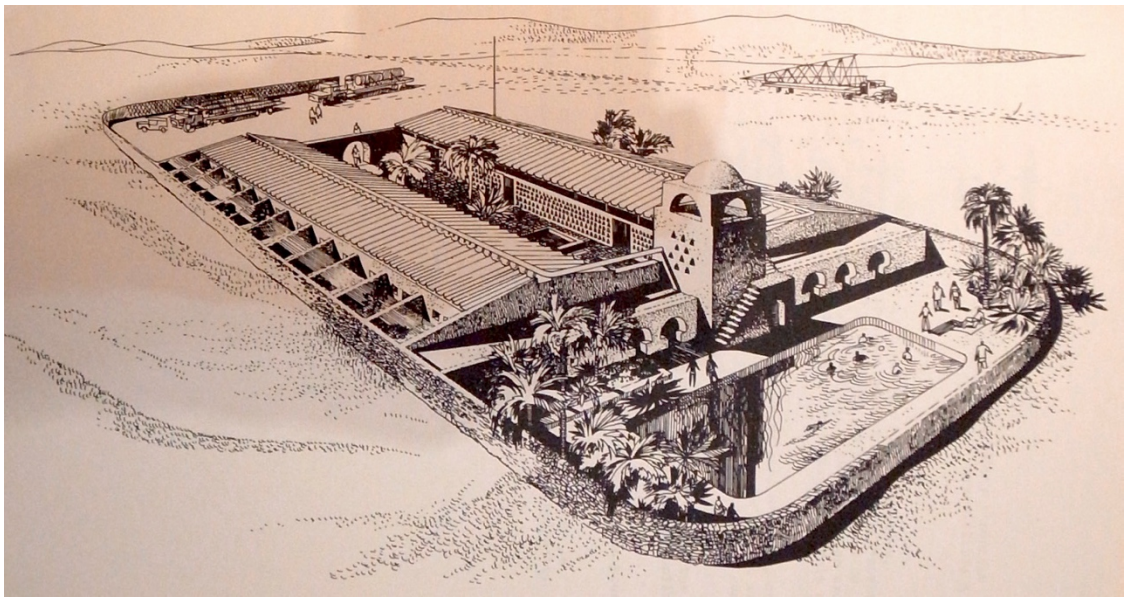


Figure 26 : Projet de caravansérail autonome le long des axes transsahariens. Dessin de Georges Alexandroff. GIRARDIER, ALEXANDROFF, GUENNEC, « Rapport sur l'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau en zone arides », p. 17, archives privées de Jean-Pierre Girardier et archives privées de Georges Alexandroff.

Au Conseil d'administration de juin 1973, Girardier annonce que la station de Chinguetti est mise en route depuis le mois de mai et qu'une nouvelle société, filiale des Etablissements Pierre Mengin sera créée avec l'ANVAR et la SOFINNOVA avant la fin de l'année 1973[605]. Le 3 septembre, le préfet du département de Chinguetti écrit à Girardier pour lui dire que la pompe fonctionne convenablement mais qu'il faut maintenant trouver les financements pour effectuer le branchement d'eau en faveur du vieux quartier de la ville et que le chef-lieu d'arrondissement, la ville de Ouadane (5280 habitants), sise à 80 km au nord-est, doit-elle aussi pouvoir bénéficier d'une installation similaire[606]. L'agent de l'administration mauritanienne qui s'exprime pour les populations, c'est-à-dire pour les usagers, se trompe de relais pour sa requête. Ouadane n'est pas Chinguetti (une ville sainte de l'Islam), Girardier n'est pas la MIFERMA, la

[605] Compte-rendu du Conseil d'administration des Établissements Pierre Mengin du 30 juin 1973 (exercice 1972), p. 4, Archives Nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.
[606] Lettre du préfet du département de Chinguetti à Girardier, 3 septembre 1973, archives privées de Jean-Pierre Girardier.

MIFERMA n'est pas le gouvernement mauritanien. Cependant, la MIFERMA est bien la principale ressource financière du gouvernement depuis l'indépendance et à ce titre son principal levier de mise en œuvre des politiques publiques. Malheureusement pour le préfet et ses administrés, la pompe de Chinguetti est, à la veille de la nationalisation des mines de fer, un cadeau de départ et non pas un pari sur l'avenir.

4.2 La pompe solaire de Chinguetti vue de la MIFERMA : une opération de prestige à court terme

Pourquoi la MIFERMA apporte-t-elle son soutien financier au développement d'un prototype solaire ? Pourquoi une entreprise minière prédatrice d'origine coloniale achète-t-elle à une PMI française innovante à l'export, une pompe solaire mise au point à Dakar, pour l'offrir au peuple Mauritanien et à son gouvernement un an avant sa nationalisation, en choisissant le site d'une oasis saharienne ville sainte de l'Islam ? L'aventure de la MIFERMA mérite d'être brièvement contée pour comprendre en quoi son patronage solaire questionne sur ses intentions.

Le bulletin *MIFERMA-Informations* de décembre 1972 déclare que la MIFERMA espère participer avec la construction d'une pompe solaire au développement de la Mauritanie. Ce que les témoignages de Jean Audibert, son Directeur général, puis son Président, et celui de Girardier confirment[607]. C'est donc d'une posture très développementaliste que procède ce choix. Il semble motivé par la volonté de renforcer la coopération franco-mauritanienne que la MIFERMA se doit de représenter depuis au moins une décennie. L'article consacré à l'opération Chinguetti dans ce numéro du bulletin de communication de la minière fait l'éloge de la solution solaire thermodynamique basse température en insistant sur ses avantages économiques. Comparativement aux groupes Diésel, elle serait rentable si et seulement si est prise en considération une durée d'amortissement pertinente. Deuxièmement, lorsqu'elle sera produite en série et que les éléments les plus simples seront fabriqués en Afrique, son

[607] GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, p. 30 ; AUDIBERT, Jean, *Miferma : une aventure humaine et industrielle en Mauritanie*, L'Harmattan, 1991.

intérêt sera immédiat[608]. La MIFERMA croit-elle dans les potentiels industriels et sociotechniques du MGS 2-1000 ? Des éléments de réponse sont à rechercher dans l'histoire de l'entreprise, dans les modalités de mise en œuvre de son activité, dans les détails de sa commande solaire, et dans le contexte de sa nationalisation.

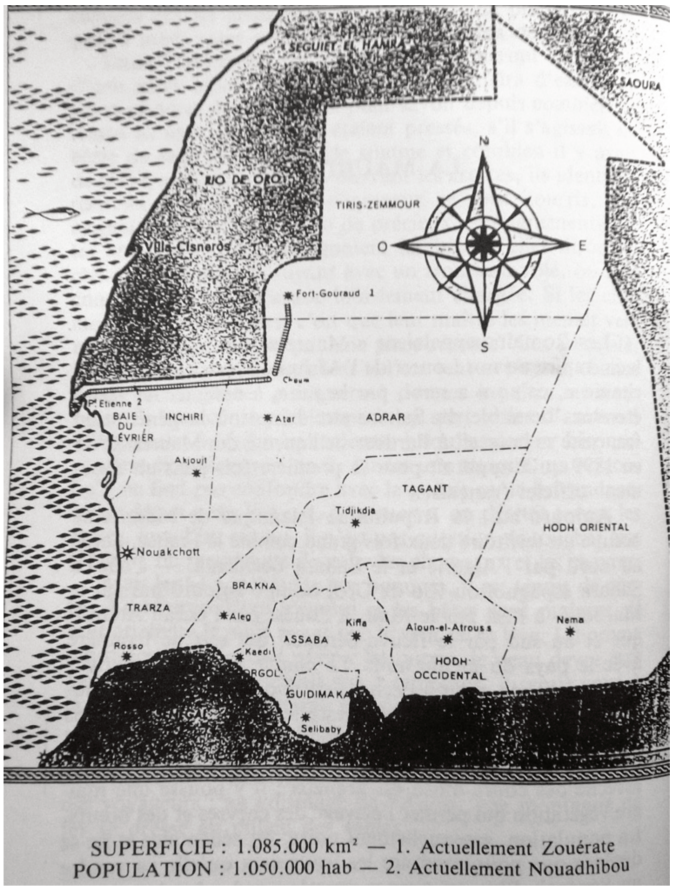


Figure 27 : carte de la Mauritanie avec le tracé de la voie ferrée de la MIFERMA qui relie Port-Etienne à Fort-Gouraud. Extrait de AUDIBERT, Jean, *Miferma : une aventure humaine et industrielle en Mauritanie*, L'Harmattan, 1991, p. 10.

La société coloniale de droit mauritanien MIFERMA naît le 16 février 1952 avec pour mission d'exploiter le minerai de fer de la région saharienne stratégique très difficile d'accès de l'Adrar (frontalière avec le Rio de Oro, le Sahara espagnol, futur Sahara occidental, revendiqué par le Maroc), dont la colonisation fut menée à partir du Sénégal. Il existe seulement une piste qui permet de rejoindre le gisement de la Kédia d'Idjil (la montagne où se trouve le minerai de fer) depuis Dakar vers Saint-Louis en passant par Nouakchott, Akjoujt (où à la même époque s'organise l'exploitation du minerai de

[608] *MIFERMA-Informations*, *op. cit.*, 1972, p. 34.

cuivre), Atar (Chinguetti se trouve à 85 km à l'est d'Atar), puis Fort-Gouraud, le poste militaire le plus avancé avant Bir-Moghreim à la frontière algéro-marocaine (voir carte)[609]. En 1956, Jean Audibert (1921-1989), un polytechnicien-ingénieur des Mines en poste au ministère des Finances, Compagnon de la Libération, en est nommé Directeur général[610].

Le projet de prospection est mené par un actionnariat initial composé d'un groupe financier canadien (le groupe Frobisher), de sidérurgistes français, de la minière MOKTA, du Bureau minier de la France d'Outre-Mer (BUNIFOM), de la *British Iron and Steel Company*, et de la Banque Rothschild[611]. Le problème de l'accès à l'eau est soulevé dès le départ. Il n'y a qu'un puits traditionnel à Fort-Gouraud. Puis il faut envisager, outre l'extraction, l'acheminement du minerai vers la côte à travers le désert et son exportation maritime vers les usines sidérurgiques des pays industriels, « la mise en place d'un tel ensemble a entraîné une modification complète du milieu local et l'on peut estimer que l'évolution de Miferma conditionne en grande partie l'évolution même de la Mauritanie »[612]. Pour des raisons politiques, il est décidé de privilégier la construction d'un port minéralier à Port-Etienne, l'actuelle Nouadhibou, afin de contourner le Rio de Oro qui offre pourtant un débouché maritime beaucoup plus proche[613]. Le directeur des études de la SNCF propose la construction d'une ligne de chemin de fer en plein Sahara dunaire au moyen d'un nouveau type de convois ultrapuissant et ultra-long : des trains d'au moins un kilomètre, tirés par trois ou quatre

[609] Pour une mise en perspective sur « le Sahara utile » dans les années 1950, lire : ANDRÉ, Allix, « Sahara et pétrole 1957 », *Revue de géographie de Lyon*, vol. 32, n°4, 1957 : « Le Sahara utile commence ». Mais « les problèmes fondamentaux restent ceux du désert : l'eau, la distance, la main-d'œuvre ». Quant au pétrole, c'est moins une question de gisement qu'une question de choix politique. », p. 269. Voir aussi : LATTRE, J.M., « Sahara, clé de voute de l'ensemble eurafricain français », *Politique étrangère*, n°4, 1957, pp. 345-389. Sur l'économie mauritanienne, ses acteurs et la place de l'industrie minière coloniale voir par exemple : BEL, Maïten, « L'économie mauritanienne », *Revue du monde musulman et de la Méditerranée*, n°54, 1989, pp. 141-148. Voir également les dossiers de références sur les entreprises coloniales françaises composés par le site http://www.entreprises-coloniales.fr/afrique-occidentale/Miferma_1952-1974.pdf

[610] Jean George Audibert (1921-1989) (http://www.annales.org/archives/x/jeanaudibert.html) est le fils d'Etienne Régis Audibert (1888-1954) (http://www.annales.org/archives/x/etienneaudibert.html), également polytechnicien, tout comme son fils Pierre Jacques Robert Audibert (1951-) (https://www.lesechos.fr/2003/12/pierre-audibert-681555).

[611] AUDIBERT, Jean, *op., cit*., 1991, p. 27.

[612] MARBEAU, Victor, « Les Mines de fer de Mauritanie M. I. F. E. R. M. A. », *Annales de Géographie*, tome 74, n°402, 1965, pp. 175- 193 et p. 175 pour la citation. Cet article propose une analyse complète de la situation en 1964 : « la mine et son exploitation », « le problème de l'eau, les hydrocarbures, les cités nouvelles », « L'influence de l'entreprise MIFERMA », « les problèmes humains. Rapports entre les travailleurs et l'entreprises. Rapports entre la société et l'État mauritanien ».

[613] PETEREC, Richard J., « Port-Etienne : Le nouveau port international de la Mauritanie », *Cahiers d'outre-mer*, n° 63, Juillet-septembre 1963, pp. 303-312.

locomotives de 2500 CV. Il faut également ériger deux villes nouvelles à chaque extrémité du cordon ombilical. Malheureusement, le climat de Port-Etienne est particulièrement aride. Il n'y a pas d'eau[614]. Le site a servi de base à l'aéropostale et à la RAF, et d'après Audibert il y avait lors de son premier passage « un appareil à distiller l'eau de mer (solaire ?), bien inutile maintenant qu'on fait venir l'eau douce par bateau depuis Bordeaux »[615]. En 1957, la Banque Rothschild, l'actionnaire majoritaire, dont le Directeur général est alors George Pompidou, reprend les parts des canadiens et les confie à Rio Tinto. Elle démarche les grands sidérurgistes européens pour qu'ils prennent des participations. L'État français est sollicité pour apporter une garantie aux investisseurs. Alors qu'une demande de prêt est déposée auprès de la BIRD, le Général de Gaulle visite Fort-Gouraud juste avant le lancement des travaux de construction des infrastructures : « là où rien n'existe encore, un millier d'européens et six mille Africains vont travailler au service d'une multitude d'entreprises de construction ; au bout de quatre ans, 600 européens et 2500 Africains affectés à l'exploitation de la mine viendront les relayer. Pour tous ces hommes isolés en plein désert, il faut prévoir le logement, la nourriture, l'alimentation en eau et bien d'autres besoins. »[616] Pour obtenir le prêt de la BIRD, la Banque Rothschild fait entrer Penarroya dans la MIFERMA. Une nappe d'eau souterraine est découverte à 100 km de Port-Etienne pendant qu'une route pour acheminer les matériaux est construite le long de la future voie ferrée. Alors que la Mauritanie accède à l'indépendance le 28 novembre 1960, le gouvernement négocie avec la MIFERMA la possibilité pour lui de bénéficier des infrastructures à caractère public qui accompagne son développement : « là où nous allons travailler, le prix du mètre cube d'eau va diminuer de deux tiers, celui du gas-oil aussi et celui du kWh de plus de la moitié. »[617] La BIRD finit par octroyer un prêt garanti (contre l'instabilité politique) par les États français et mauritanien, ce dernier encaissant une large partie des bénéfices et un impôt forfaitaire sur les exportations en plus des impôts sur le revenu des salariés. Pour ériger la ville nouvelle de Zouérate à 35 km à l'est de Fort-Gouraud et pour faire fonctionner la mine, une centrale électrique thermique est installée et l'eau est transportée depuis le

[614] Dans un article de 1933, l'expérimentateur solaire Barjot relève déjà que l'eau douce est acheminée à Port-Etienne par cargo. BARJOT, H., « Utilisation rationnelle de la chaleur solaire », *La Nature*, n°2896, 1er janvier 1933, pp. 213-218.
[615] AUDIBERT, Jean, *op., cit*., 1991, p. 42.
[616] *Ibid*., p. 58.
[617] *Ibid*., p. 71.

littoral où elle arrive des Canaries. Des cliniques, des écoles françaises et mauritaniennes, tous les services nécessaires à la vie quotidienne des salariés expatriés et des ouvriers mauritaniens sont mis en place au point de devenir pour la MIFERMA « un État dans l'État… Un autre danger nous menace aussi, celui de devenir une vache à lait »[618]. En 1961, Paul Ouzilleau, l'intermédiaire qui propose l'opération solaire de Chinguetti, devient responsable des relations extérieures de la MIFERMA. Paul Ouzilleau est mandaté par la MIFERMA à Dakar où il représente différentes sociétés françaises depuis la fin de la guerre. C'est un homme de réseau : « sa courtoisie, son entregent, sa ténacité lui avait ouvert toutes les portes. C'était l'homme idéal pour prendre des rendez-vous. Ses bureaux jouxtaient ceux du Gouverneur Général, un gigantesque édifice de dix étages où tous les services étaient tenus par des Français qui étaient parfaitement au courant de nos affaires et s'efforçaient d'en faciliter l'aboutissement. »[619] Ouzilleau prend en main la communication de l'entreprise, notamment en dirigeant la publication du bulletin *MIFERMA-Informations*. C'est à cette époque que les premières liaisons aériennes de la toute nouvelle Air Mauritanie sont organisées par la MIFERMA entre Paris et Port-Etienne. Les exportations du minerai fer quant à elles débutent en 1963. Les villes nouvelles de Causado (proche de Port-Etienne) et de Zouérate grossirent très vite sous l'afflux des familles élargies venant vivre aux dépends d'un des leurs devenu employé de la mine. Les extractions, les exportations et les bénéfices croissent jusqu'au début des années 1970. A cette date, l'État français est l'actionnaire majoritaire via le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)[620], suivi par des sidérurgistes européens, des sociétés du groupe Rothschild[621] et l'État mauritanien qui détient 5 % du capital

[618] *Ibid*., p. 95.
[619] *Ibid*., p. 38.
[620] « Bien que le BRGM n'ait que très peu participé à l'exploration, à l'exploitation ou au traitement des minerais de fer mauritaniens, sa participation financière a probablement été déterminante dans le développement de cette société purement minière, qui a été la plus importante mise en œuvre et gérée par des Français, avant sa nationalisation le 28 novembre 1974, et même pendant plusieurs années après celle-ci, dans beaucoup de ses aspects techniques. », GALLET, Marc, « La société des Mines de Fer de Mauritanie (MIFERMA) », *Réalités industrielles,* Aout 2008, p. 12 (12-14). L'auteur est le Chef du Département Mine à la MIFERMA de 1970 à 1974. Cet article complète les éléments historiques de l'histoire de la MIFERMA racontée par Jean Audibert dans son livre. Ajoutons que Jean Audibert est nommé Président du BRGM à partir de 1979.
[621] Lorsqu'il aborde la MIFERMA dans son ouvrage de référence sur les capitaux en Afrique, Jean Suret-Canal accorde une place prépondérante à la Banque Rothschild, au côté de l'État français, dans les affaires de la société. SURET-CANALE, Jean, *Afrique et capitaux : géographie des capitaux et des investissements en Afrique tropicale d'expression française*, L'Arbre verdoyant, 2 volumes, 1987, pp. 172-174 du tome 1. Voir également SURET-CANALE, Jean, « Géographie des capitaux en Afrique tropicale d'influence

(grâce à un prêt du gouvernement français). La participation de la MIFERMA au PNB de la Mauritanie atteint 47 % et le gouvernement aurait touché deux fois plus que les actionnaires depuis le début de l'exploitation : « après l'État, nous sommes, et de loin, le plus gros employeur et le plus gros investisseur. Outre cela, nous avons introduit une activité industrielle moderne qui a supplanté l'activité pastorale traditionnelle et déplacé, du Sud vers le Nord, le centre de gravité de l'économie, tandis que la construction de la voie ferrée et de deux agglomérations de 8000 à 9000 habitants modifiaient profondément la démographie et les courants d'échanges. »[622] En ce début des années 1970, la trésorerie de la société est abondante et la République islamique de Mauritanie fête son dixième anniversaire. Audibert met à la disposition de son responsable des relations extérieures, Ouzilleau, « 100 millions de francs CFA pour faire un investissement judicieux en Mauritanie »[623]. Dans sa quête d'une opération de communication à la hauteur de l'importance du rôle que joue la MIFERMA dans le fonctionnement de l'État mauritanien, l'homme de réseau de Dakar, découvre la pompe solaire SEGAL à l'IPM : « c'est ainsi que la ville sainte de Chinguetti aura une nouvelle école avec, sur le toit, des capteurs solaires actionnant une pompe, elle aussi solaire, destinée à extraire l'eau d'un puits. On en parlera dans le journal {c'est nous qui soulignons}. »[624] Il n'est donc pas question de promouvoir une sociotechnique déstabilisatrice en raison de ses potentiels d'autonomie, d'indépendance et de décentralisation dans la satisfaction d'un besoin essentiel, mais bien au contraire d'entretenir le *statu quo* en consolidant les relations entre la MIFERMA, le gouvernement mauritanien, sa clientèle et les populations des périphéries dominées. « Dans ce pays, dont il ne faut pas cesser d'épater les habitants, notre expansion est une nécessité ; elle a aussi le mérite de faciliter l'intégration des cadres mauritaniens »[625]. Cette opération est tout à fait anecdotique et nous comprenons mieux pourquoi une seule pompe est achetée sur les cinq proposées par Mengin et qu'aucun contrat de maintenance n'est conclu, la postérité du dispositif étant tout à fait secondaire. Cependant, l'opération dure trois ans et tombe au bon moment car les relations avec le gouvernement mauritanien sont tendues. Le Président Moktar se

française », *L'information géographique*, vol. 67, n°1, 2003 (initialement paru en 1985), pp. 105-115. Sur l'auteur : https://maitron.fr/spip.php?article173333

[622] AUDIBERT, Jean, *op., cit*., 1991, p. 160.

[623] *Ibid*., p. 174.

[624] *Ibid*.

[625] *Ibid*.

rapproche de l'Algérie, de la Lybie de Kadhafi et de l'URSS. Il reproche à la MIFERMA de ne pas faire assez pour le développement du pays, de ne pas accélérer la mauritanisation de l'entreprise malgré les efforts de formation de la main d'œuvre[626]. La nationalisation est dans les esprits, il faut négocier des indemnités. La MIFERMA permet au gouvernement de se maintenir au pouvoir et de se renforcer en lui offrant les moyens financiers dont il a besoin. Cette relation s'incère évidemment dans les conditions des accords de coopération que les anciennes colonies africaines signent avec la France en échange d'un accès aux matières premières stratégiques[627]. Accords que Moktar demande à réviser[628]. Or, cette stabilité du régime (Moktar est réélu pour la troisième fois consécutive en 1970 et devient Président de l'OUA) est une des conditions requises par la BIRD et par les investisseurs privés. La nationalisation de la MIFERMA est proclamée le 28 novembre 1974, le jour anniversaire de l'indépendance. La pompe solaire de Chinguetti est arrêtée cette même année, après seulement un an de fonctionnement, « *at Chinguetti, the pump ran a year without maintenance. We had only two incidents during that time, neither involving the solar engine* »[629].

La MIFERMA permet à l'État mauritanien de se maintenir, de se renforcer, d'auto-entretenir ses relations clientélistes. Ses liens de dépendance avec l'ancienne puissance coloniale ne sont pas rompus mais seulement actualisés sous une nouvelle forme au nom de la coopération et de l'aide au développement auxquels la MIFERMA se doit de participer en offrant son patronage à des opérations de prestige[630]. L'entreprise

---

[626] « La formation professionnelle à Miferma », « La soudure des rails à Miferma », « *Visite du Président Libyen El Ghadafi* », *MIFERMA-Informations*, n°22, juillet 1972, pp. 20-27, 42-44. En juillet 1973, le gouvernement mauritanien signe un accord avec la Libye pour un projet d'électrification et d'adduction d'eau à Chinguetti au moyen de l'installation d'une centrale thermique de conversion fossile. L'opération solaire est donc bien anecdotique. « Shortly, Water and Electric Power at Chinguetti », *Nouakchott-Information*, 19 juillet 1973, pp. 1-2, *in* U.S. Department of Commerce, Joint Publications Research Service, *Translations on Africa*, N° 1345, 2 Août 1973, p. 16.

[627] VAN BUU, Edouard, « Décolonisation et développement : les accords de coopération entre la France et la Mauritanie », *in* Centre de recherches et d'études sur les sociétés méditerranéennes et Centre d'étude d'Afrique noir (dir.), *Introduction à la Mauritanie*, 1979, pp. 343-401 ; PONDI, Jean-Emmanuel, « La coopération franco-africaine vue d'Afrique », *Revue internationale et stratégique*, volume 45, n°1, 2002, pp. 127-136 ; SURET-CANAL, Jean, *op. cit.*, 1987 et SURET-CANAL, Jean, *op. cit.*, 2003 ; DUMONT, René, *L'Afrique noire est mal partie*, Seuil, Paris, 1962 ; DUMONT, René, *Pour l'Afrique j'accuse*, Terre Humaine, Plon, Paris, 1986.

[628] FEUER, Guy, « La révision des accords de coopération franco-africains et franco-malgaches », *Annuaire français de droit international*, volume 19, 1973, pp. 720-739.

[629] « à Chinguetti, la pompe a fonctionné un an sans entretien. Nous n'avons eu que deux incidents pendant cette période, aucun n'impliquant le moteur solaire ». BEHRMAN, Daniel, *op. cit.*, 1979, p. 315.

[630] MENDE, Tibor, *De l'aide à la recolonisation*, Seuil, 1972 ; PETITEVILLE, Franck, « Quatre décennies de « coopération franco-africaine » : usages et usure d'un clientélisme, *Études internationales*, volume 27, n°3, 1996, pp. 571-601 ; SURET-CANAL, Jean, *op. cit.*, 1987 et SURET-CANAL, Jean, *op. cit.*, 2003.

minière est aussi un acteur emblématique de la société thermo-industrielle par ses activités particulièrement énergivores et prométhéennes : la construction d'infrastructures industrielles minières, ferroviaires, portuaires, électriques et urbaines en plein Sahara, l'acheminement de l'eau, du gas-oil, du minerai de fer et son exportation aux forges du monde entier. Un an avant la nationalisation de la MIFERMA, Jean George Audibert l'annonce à demi-mots dans une allocution. Les éléments de discours, agencés pour cette occasion inaugurale (car il s'agit bien d'une inauguration pré-nationalisation, le 8 novembre 1973, à Rouessa, d'une nouvelle usine de traitement du minerai), intègrent la pompe Mengin[631]. Au lieu de rappeler la réussite de la MIFERMA, comme il est de coutume en pareille occasion, le ton est nuancé. Il faut préparer les esprits à la nationalisation et la conjoncture macroéconomique de 1973-1974 tend à révéler que la phase de larges profits aisément transférables s'achève[632]. La MIFERMA ne se porte pas si bien et en transférer la souveraineté est peut-être aussi une solution[633]. La communication insiste sur les bienfaits apportés par l'aventure industrielle au pays hôte, et bientôt acquéreur, au prix d'une confortable indemnisation. Et d'énoncer les efforts menés de formation de la main d'œuvre, de promotion d'un urbanisme (les cités *ad hoc*) et d'équipements modernes, d'une industrialisation afférente en marche, etc. Tous ces points sont contestés par le discours-réponse du ministre mauritanien de la Planification et du Développement industriel qui illustre bien la crispation des relations franco-mauritaniennes un an avant la passation de pouvoir. En point d'orgue, pour appuyer son discours sur la modernisation du pays menée sous la houlette de la MIFERMA, l'entreprise s'enorgueillit d'offrir en gage de bonne foi à la nation mauritanienne, la

[631] « 8 novembre 1973. Inauguration de l'usine de Rouessa par Maître Moktar Ould Daddah, Président de la République », *MIFERMA-Informations*, n°25, Décembre 1973, pp. 12-19.
[632] BEL, Maïten, *op. cit*., 1989.
[633] « Il est difficile de dire si la nationalisation de la MIFERMA en 1974 a sérieusement atteint les intérêts Rothschild. Les investissements initiaux en étaient amortis, les gisements les plus productifs épuisés : le refus de négocier avec le gouvernement mauritanien un statut qui aurait mis fin à la position d'« État dans l'État » de la MIFERMA permet de dire que la société n'a rien fait pour empêcher la nationalisation, si même elle ne l'a pas provoquée. En tout état de cause, les difficultés nées de l'engagement du gouvernement mauritanien de l'époque dans la guerre du Sahara (fin 1975) ont conduit ce gouvernement à céder devant les exigences des actionnaires de la MIFERMA, en signant un accord d'indemnisation très avantageux pour ces derniers (28 janvier 1976) : 90 millions de $ d'indemnités, dont 40 payables comptant et le solde en cinq ans (19). Les difficultés d'exploitation nées de la guerre, puis la récession sur le marché du minerai de fer, ont rendu l'exploitation par la S.N.I.M. (Société nationale industrielle et minière), la société d'État qui a pris la succession de la MIFERMA, déficitaire à partir de 1978. La S.N.I.M. s'est transformée en société d'économie mixte en 1978, faisant appel pour 49 % de son capital à des apports des pays arabes pétroliers. », SURET-CANAL, Jean, *Afrique et capitaux : géographie des capitaux et des investissements en Afrique tropicale d'expression française*, L'Arbre verdoyant, volume 1, 1987, p. 173.

dernière technologie issue du savoir-faire français de production d'énergie grâce au rayonnement solaire, ressource abondante si l'en est une dans ce désert. Une pompe solaire thermodynamique est offerte et installée en milieu rural isolé dans la ville sainte[634]. La quintessence de la recherche et du développement de cet occident paternaliste.

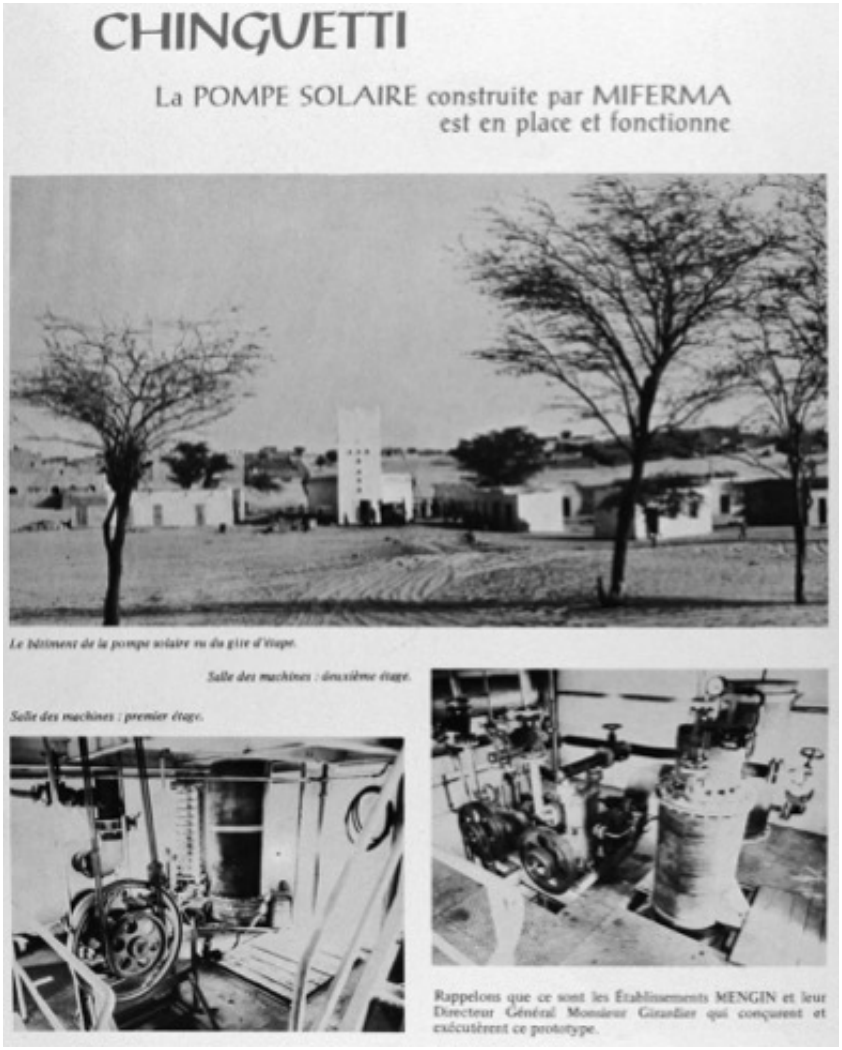


Figure 28 : Chinguetti, la pompe solaire construite par MIFERMA est en place et fonctionne. *MIFERMA-Informations*, n°25, décembre 1973, p. 20.

Un cadeau d'au revoir qui peut sembler provocateur en regard du bassin olympique de la piscine des cadres de Zouérate (en plein désert, rappelons-le !), que le bulletin interne de la MIFERNA de juillet 1972 présente, avec son installation de pompage et de régénération d'eau, actionnée par un moteur électrique alimenté par une

[634] *MIFERMA-Informations*, N°25, Décembre 1973, p. 20.

centrale thermique au fuel[635]. Chaque numéro du bulletin vente le caractère exceptionnel des travaux réalisés et des machines mobilisées, toutes plus surdimensionnées les unes des autres (train, minéraliers, engins de chantier, voie ferrée, centrale électrique, etc.), dans une ode au progrès technique et à la puissance, symptomatique de la geste moderniste : un culte aux carburants fossiles et à la puissance moteur[636]. L'épopée n'est pas isolée, bien au contraire, elle est la règle. Justement. En Guinée, la bauxite, si nécessaire à l'industrie de l'aluminium est à l'origine du complexe de FRIA[637]. Au Niger, Arlit est la ville de l'uranium[638]. En Algérie, Hassi-Rmel et Hassi-Messaoud sont celles du pétrole et gaz (il faudrait ajouter les bases militaires dédiées aux essais nucléaires et chimiques, comme la futuriste Reggane)[639]. Mais à cette époque de pétrole bon marché, tout cela n'est pas perçu comme une aberration. Le recourt à des convertisseurs solaires, à des alternatives, n'est pas perçu comme une nécessité. S'ils avaient voulu promouvoir le solaire avec l'opération Chinguetti, les responsables de la communication de la MIFERMA n'auraient pas seulement choisi une oasis ville sainte de l'Islam, mais ils auraient plutôt décidé de lancer un programme d'équipement solaire des villes nouvelles qu'ils érigèrent en plein Sahara, là où rien n'était possible sans convertisseur thermodynamique. Cela aurait participé à faire reconnaître l'existence d'un problème sociotechnique et à en proposer une solution alternative. Au lieu de cela, le béton, l'acier et le pétrole coulent à flot alors que le convertisseur solaire est instrumentalisé sur une marge symbolique sous la forme d'un cadeau vaguement porteur de valeurs d'émancipation, dont l'objectif est d'assurer une visibilité de prestige dans une relation quasi féodo-vassalique. La société de droit mauritanien, aux capitaux étrangers, administrée par la technocratie d'État moderniste qui exploite les ressources en fer du pays, semble avoir voulu, à la veille de sa nationalisation, offrir au gouvernement

[635] *MIFERMA-Informations*, n°22, Juillet 1972, pp. 10-11.
[636] Voir par exemple : *MIFERMA-Informations*, n°21, décembre 1971, pp. 2-26 ; *MIFERMA-Informations*, n°22, Juillet 1972, pp. 2-19 ; *MIFERMA-Informations*, n°25, décembre 1973, pp. 2-11.
[637] SURET-CANALE, Jean, « F. R. I. A. Un exemple d'industrialisation africaine », *Annales de Géographie*, tome 73, n°396, 1964, pp. 172- 188.
[638] PALLIER, Ginette, « L'uranium au Niger », *Cahiers d'outre-mer*, n° 146, avril-juin 1984, pp. 175-191. Voir par exemple un projet d'aménagement hydroagricole à Arlit, une « oasis nouvelle » avec un périmètre d'irrigation dont l'énergie est fournie par une centrale thermique. CEA, République du Niger, « Aménagement hydroagricole d'Arlit, Rapport d'activité de 1980 », Archives nationales, Fond André Giraud, dossier Relations bilatérales, Dossier Niger, répertoire 19880199, carton 66.
[639] BRUNET, Roger, « Le pétrole en Afrique française », *L'information géographique*, volume 22, n°1, 1958, pp. 26-35 ; CÔTE, Marc, « De quelques villes nouvelles au Sahara (Note) », *Méditerranée*, tome 99, 3-4, 2002, pp. 71-76.

mauritanien qu'elle fournit en capitaux, une opération de séduction bienveillante auprès des populations déshéritées des périphéries dominées. Le gouvernement et son partenaire minier, son premier soutien, apportent la preuve des bienfaits de l'innovation industrielle occidentale à tout un peuple assoiffé, alors que les retombées économiques de l'exploitation du minerai de fer national ne bénéficient qu'aux élites urbaines gouvernementales et à leur clientèle ouvrière sur les sites de la MIFERMA. Dans les années 1950, un colonel de l'armée française prévint Audibert que la mine apportera avec elle « les vices de la vie modernes », de nouvelles dépendances techniques, que « les Maures allaient être contraints de payer leur eau et d'acheter leur combustible »[640].

Ainsi, avant même sa naissance, l'existence de la SOFRETES est enracinée dans ce sol d'Afrique. L'opération Chinguetti est pour le convertisseur solaire thermodynamique basse température intégré, une première mise à l'épreuve technopolitique, au regard de laquelle, comme nous allons le découvrir, beaucoup d'éléments de l'histoire de la SOFRETES ne sont que continuité.

4.3 Chinguetti : une opération asymétrique

Pour les Etablissements Pierre Mengin, la PMI innovante en cours de diversification, la commande solaire de la MIFERMA est une opération de démonstration à long terme, investie de beaucoup d'espoir. Pour la multinationale minière coloniale, la mise en route de la pompe-école solaire de Chinguetti est une opération de prestige à court terme qui doit rester anecdotique. Ces postures contradictoires entre les acteurs d'un même projet traduisent une asymétrie de pouvoir (la multinationale coloniale *vs* la PMI), d'intention (intérêts à long terme pour un changement de paradigme énergétique *vs statu quo* des intérêts à court terme) et d'idées (proposition sociotechnique alternative *vs* hégémonie des fossiles et culte de la puissance machine).

Nonobstant, du point de vue de Mengin, le devenir de la pompe de Chinguetti se révèle être un succès en demi-teinte, car si elle autorise un retour d'expérimentation de terrain, l'installation est vite définitivement arrêtée.

[640] AUDIBERT, Jean, *op. cit*., p. 41.

Les principaux problèmes techniques des premières installations de la SOFRETES de type Chinguetti sont caractérisées grâce à cette première opération et le bureau d'étude apporte très vite des solutions. L'échangeur tubulaire vertical se révèle ne pas être le mieux adapté aux conditions de transport. Dans la plupart des chantiers, les conditions chaotiques d'acheminement des pièces sur les lieux de montage éloignés, difficiles d'accès, mettent à mal l'étanchéité des tubes de cuivres réalisée par dudgeonnage par les ouvriers de Mengin. Les fuites occasionnées diminuent les performances et participent à la corrosion générale du dispositif nécessitant ainsi de remplacer sur place les échangeurs, et augmentant d'autant les coûts d'entretien qui ne sont pas prévus, en raison de l'absence de contrat de maintenance. La possibilité de se fournir en échangeurs du commerce auprès de l'entreprise SECAN est étudiée (échangeurs à tubes inclinés), et des essais sont menés. Finalement, le choix se porte sur des échangeurs à plaque, utilisés dans l'industrie agro-alimentaire[641]. De plus, l'aluminium des collecteurs solaires de type *Roll-bond* (au fond des *canalétas*) participe à la corrosion interne du système de tuyauterie en cuivre des échangeurs[642]. D'ailleurs, la masse d'eau contenue dans les *canalétas* est trop importante, elle occasionne une forte inertie thermique qui diminue les performances quotidiennes du pompage (durée et quantité d'eau). Le MGS-2-1000 de première génération qui fonctionne au butane a des problèmes de segmentation au niveau des pistons en raison des réactions physico-chimiques occasionnées par la rencontre et le mélange gaz-huile, défaut qui est par la suite réglé grâce à des segments en Téflon, et l'adjonction d'un pot déshuileur pour séparer les deux fluides[643]. Mais ce n'est pas pour ces raisons que la pompe s'arrête. Elle fonctionne très bien (comme le préfet de Chinguetti le rapporte). Les remarques précédentes font état de détails à améliorer sur un prototype qui par définition requièrt des ajustements.

La pompe est arrêtée environ un an après sa mise en route car elle assèche la nappe d'eau malgré une tentative pour la brider. Elle pompe trop, et l'eau du puits détourne celle qui est destinée à l'irrigation de la palmeraie[644]. Ce mal-fonctionnement s'explique par

[641] https://www.secanaerospace.com/echangeurs/
[642] https://www.rubanox.com/fr/energies-fr/panneaux-thermodynamiques
[643] Etablissements Pierre Mengin, dossier « Pot déshuileur », plan et nomenclature industrielle, 1974, archives privée fonds usine Mengin.
[644] GIRARDIER Jean-Pierre, CAILLE Frédérique, Entretien du 7 juillet 2015 ; GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, p. 33.

un mauvais dimensionnement initial, par des mesures erronées du forage. En fait, la nappe n'est pas adaptée au pompage motorisé. Or, comme nous l'avons indiqué précédemment, c'est le BRGM, émanation du ministère français de l'Industrie, l'actionnaire majoritaire de MIFERMA, et le ministère de l'Équipement mauritanien, qui ont certifié la conformité du forage et donné leur feu vert. De plus, aucun suivi de l'installation n'est prévu dans le contrat, aucune maintenance, puisqu'il s'agit d'une opération de prestige ponctuelle et non d'un projet de démonstration technique comme Mengin l'imagine. En l'occurrence, aucune intervention sur la machine n'aurait changé quelque chose, puisque le problème lui est extérieur. Il faut un autre forage. Malheureusement, Mengin est rapidement happée par l'accélération des commandes solaires, et la PMI n'est pas en mesure de suivre la destinée de la pompe de Chinguetti au-delà d'une année, n'ayant ni la trésorerie, ni les moyens humains nécessaires pour assurer par elle-même la pérennité d'un dispositif sociotechnique dont la charge revient en fait aux pouvoirs publics, lesquels ont la mission d'assurer l'accès à l'eau des populations.

Le déroulé et l'issue de cette première opération permet de comprendre qu'un choix technique aussi déstabilisant pour l'ordre social (répartition des tâches villageoises, rapport à l'autorité en matière d'accès à l'eau, prix et gestion de la ressource, dépendance à la technologie, etc.) doit absolument être pensé en amont lors de la conception du projet, afin d'éviter qu'il apparaisse aux villageois comme le simple don d'un bien matériel du haut vers le bas. L'objet (sa conception et sa fabrication), ses usages et son entretien, sont des savoirs et des savoir-faire partiellement appropriables mais il faut les accompagner dans les cœurs et les esprits. Sinon le projet est perçu par les villageois comme un cadeau, et l'installation ne leur appartient pas. Un tel rapport à l'objet limite sa durabilité puisque la population ne se sent pas directement concernée. Il est alors difficile par exemple de s'investir dans une lutte politique pour sa pérennité[645]. Girardier comprend que c'est à la population elle-même, aux décideurs politiques et aux usagers-citoyens, d'organiser un programme d'équipement solaire volontariste socialement intégré : « nous n'avions

[645] En 1980, le politiste américain John Ashworth analyse les raisons et les formes que prennent les opérations de démonstration technique en matière d'énergie renouvelable dans les pays du tiers-monde en termes de nature des transferts technologiques envisagés. Il distingue notamment les projets pensés pour être « *implanted* » (avec peu de transférabilité mais plutôt un potentiel commercial) des projets « *transplanted* » (conçus pour et avec les populations locales). ASHWORTH, John, « Technology Diffusion through Foreign Assistance : Making Renewable Energy Sources Available to the World's Poor », *Policy Sciences*, Vol. 11, N°3, Technology and Public Policy : The Institutional Agenda, Feb. 1980, pp. 241-261.

vraisemblablement pas suffisamment mis dans le coup les populations et les responsables locaux. De fait rien de ce que nous avions imaginé ne s'est réalisé, et cela sans doute pour une raison très simple : ce n'était ni à notre mandataire, la MIFERMA, en Mauritanie, ni à nous d'imaginer l'utilisation de ces installations mais bien aux gens du pays. »[646]

A la même époque, Amulya K. N. Reddy établit le même constat de nécessité pour des politiques publiques de l'énergie dans les pays pauvres qui reposeraient sur des technologies appropriées :

> Une technologie est appropriée, dit-il, dès lors qu'elle favorise « la satisfaction des besoins humains fondamentaux, à commencer par ceux des plus démunis, la participation et le contrôle par son public et ses usagers, la préservation et la résistance de l'environnement naturel ». Ou, si l'on préfère, « le test de pertinence à cet égard consiste à savoir si la technique utilisée facilite la réduction des inégalités, le renforcement de l'autonomie, et l'harmonie avec l'environnement »[647].

Caille explicite les propos de Reddy pour faire comprendre que la planification politique est une nécessité absolue, car de telles propositions sociotechniques alternatives sont dépendantes des mêmes conditions de réussites que les dominantes : « en d'autres termes, les technologies de basse intensité énergétique et capitalistique, que Reddy estime nécessaires pour soulager la vie des populations modestes des pays des Suds, demandent une réflexion, une expérimentation, une planification dans l'usage et la diffusion aussi rationnelles et élaborées que celles des hautes technologies industrielles importées de type occidental. »[648] Pour faire le choix d'intégrer ce type de trajectoire sociotechnique à une politique publique de l'énergie, Caille montre comment Reddy se propose de raisonner en tant qu'expert et sur quelle grille d'analyse un système énergétique doit être évalué si l'on veut donner une chance à ce type de solution sociotechnique d'exister :

> Ainsi, pour expliquer, définir ou piloter un « système énergétique », s'efforce-t-il de montrer, il faut toujours repartir des grandes valeurs et priorités auxquelles ce dernier se propose de répondre (par exemple, historiquement, la grandeur et la puissance de l'État, le bien-être des élites ou, beaucoup plus rarement, la satisfaction des besoins fondamentaux des plus modestes), puis il convient de s'attacher aux modalités de son élaboration et de sa gouvernance (notamment les relations entre populations et experts, la participation des usagers, la répartition des coûts et des conséquences), enfin, il faut comparer et combiner les sources énergétiques et les options technologiques de conversion des énergies (par exemple choisir l'électricité, le biogaz ou l'hydrogène comme transporteurs/convertisseurs d'énergie), puis comprendre les usages réels et quotidiens, et non seulement se contenter

[646] *Ibid*., pp. 33-34.
[647] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2022, p. xvi.
[648] *Ibid*.

de la mise en regard des coûts nominaux par unité d'énergie et des capacités brutes de production[649].

Il faut une impulsion politique par le haut et par le bas, par le centre et par la périphérie, pour enraciner l'objet et valider sa trajectoire technique. Il semble difficile, voire impossible, de transférer une solution technique alternative d'une usine française à un village pauvre d'Afrique en dehors de toute action publique volontariste. Les conséquences sont graves pour la machine solaire (une solution) et pour les besoins humains à satisfaire (le problème) car les circonstances d'alors disqualifient la pompe solaire thermodynamique basse température. Plus encore, cette première opération solaire en Afrique saharienne donne à voir certains des mécanismes symptomatiques du processus technopolitique d'irrécupérabilité de la chaleur solaire que cette thèse se propose de déconstruire : instrumentalisation de l'objet technique sur le temps court et effets disqualifiant de la sociotechnique sur le temps long.

Ce qui devait être une opération de séduction très localisée, circonscrite aux relations entre la Métropole et son ancienne colonie, entre la multinationale minière et le gouvernement mauritanien, déborde soudainement dans la sphère des relations internationales, avec des répercussions imprévisibles.

Conclusion chapitre 1

Irriguer le désert avec le soleil au moyen d'un convertisseur thermodynamique qui récupère les faibles gradients de températures naturelles et industrielles n'est pas une solution technique orpheline et isolée. Elle n'est pas ignorée des sachants, des gouvernants et des industriels de l'énergie. Son existence historique, technique et politique révèle un *continuum* d'idées, d'objets, d'acteurs, de discours et d'actions sur le temps long, vraisemblablement au moins depuis le XIX^{e} siècle. Nous pensons qu'une question solaire existe déjà au moment de la politisation du solaire qui accompagne le choc pétrolier de 1973, le choix du tout nucléaire et le gouvernement de sa contestation. Cela signifie que la construction du référentiel de la politique publique de l'énergie (de la société thermo-industrielle fondée sur le choix du feu) intègre des représentations du

[649] *Ibid*., pp. xiv-xv.

solaire qui lui permet de l'exclure des choix et de légitimer ce non-choix. Ce volet solaire du référentiel sectoriel de l'énergie, établi par les agents et les institutions du système politico-énergétique, est la représentation que l'on se fait de ce qui ne doit pas être choisi[650]. Par conséquent, une solarité[651] divergente existe entre celle des défenseurs du moteur solaire et celle de ses adversaires.

Les petits moteurs solaires font l'objet de recherches et d'expérimentations parfaitement connues de la communauté scientifique solaire internationale, des organisations internationales, du ministère de l'Industrie, du ministère de la Coopération (et avant des administrations coloniales), et du gouvernement de la Recherche française. Le référentiel de la politique de l'énergie les conçoit comme des impossibles en invoquant des raisons technico-économiques pour expliquer leurs faiblesses : immatures, peu fiables, trop chers, trop peu puissants, irrégularité de leur fonctionnement, mauvais rendement. Ces représentations les disqualifient en tant que solution au problème de l'énergie posé en termes de puissance, de haute-technologie, de réseau centralisé (un réservoir infini[652]), de croissance sans limite, d'ubiquité, de régularité. En contradiction avec l'histoire des résultats de ses expérimentations, le moteur solaire est maintenu dans la catégories des solutions pour l'ailleurs et le plus tard. Les valeurs, les images, les normes et les algorithmes de l'action qui caractérisent le potentiel référentiel solaire divergent comme une alternative de politique publique de l'énergie, sont disqualifiés, irrecevables[653]. En effet, destinée aux périphéries dominées du tiers-monde, la proposition sociotechnique que Masson et Girardier prolongent est très désajustante pour le système politico-énergétique. La récupération locale de la chaleur existante, envisagée comme la solution au problème de l'accès à l'eau et à la force motrice, est rudimentaire,

[650] MULLER, Pierre, « Référentiel », *in* BOUSSAGET Laurie, JACQUOT Sophie, RAVINET Pauline, *op. cit*., 2014, pp. 555-561 ; JOBERT Bruno, MULLER Pierre, op. cit., 1987, pp. 51-78 ; PAYRE Renaud, POLLET Gilles, op. cit., 2013, pp. 26-27.

[651] Comme expliqué en introduction du chapitre, le terme désigne ici l'ensemble des représentations de l'énergie solaire et de ses applications (usages) comme solution à un problème de l'énergie (des possibles et des impossibles) ainsi que l'ensemble des relations sociales par et dans ces usages. Cette solarité est une construction sociohistorique qui impacte fortement l'action publique, « *the career of solar as a powerful ideological form has an extended history* » (« la carrière du solaire en tant que puissante forme idéologique a une longue histoire). Lire SZEMAN Imre, BARNEY Darin, « From Solar to Solarity », *The South Atlantic Quarterly*, « Solarity », Volume 120, Issue 1, January, Duke University, 2021, pp. 1-11 (p. 2 pour la citation).

[652] BRUYERRE, Philippe, *op. cit*. 2020, pp. 109-115.

[653] MULLER explique « qu'en tant que structure de sens, le référentiel articule ainsi quatre niveaux de perception du monde, des valeurs, des normes, des algorithmes et des images », puis il en détaille les caractéristiques. MULLER, Pierre, *op. cit*., 2014, pp. 556-557.

robuste, communautaire, autonome, indépendante, peu capitalistique, décentralisée et partiellement appropriable. Ce convertisseur offre un instrument technique pour repenser la souveraineté énergétique et alimentaire des populations.

Le politiste américain Laird en arrive aux mêmes conclusions dans son analyse de la place du solaire dans la politique publique de l'énergie des Etats-Unis depuis la fin de la Seconde guerre mondiale. Il n'emploie pas le concept de référentiel, mais son équivalent en identifiant un ensemble d'idées et de valeurs institutionnelles normatives, qui empêchent le choix solaire en le présentant comme incompatible avec les termes de la définition du problème à résoudre[654].

On observe donc bien une solarité divergente comme nous l'avons démontré au cours de ce chapitre en convoquant les travaux de Masson-Girardier et leur filiation ainsi que les arguments de leurs contradicteurs. Cependant, cette divergence de point de vue n'est pas si manichéenne.

En effet, il n'y a pas de consensus sur les possibles solaires au sein même de la communauté savante qui les soutient. Aux défenseurs du convertisseur de faible puissance, de fabrication rudimentaire, conçu pour être approprié par l'utilisateur et porteur d'un potentiel d'émancipation politique, s'opposent les tenants du convertisseur des hautes températures, obtenues par concentration avec des dispositifs sophistiqués et grandioses, qui reproduisent les rapports de dépendance existant entre l'utilisateur et le détenteur de technologie. Les deux trajectoires, qui procèdent certes de la même idée de la récupération de la chaleur solaire, n'impliquent pas du tout les mêmes assujettissements techniques et socio-économiques, ni les mêmes potentiels sociotechniques et politiques. La solarité est de ce fait doublement divergente.

Au sein du référentiel de la politique de l'énergie se trouve le refus de la récupération de la chaleur perdue. Cependant, il intègre certains principes de la seconde trajectoire solaire, celle des attributs de la puissance (même solaire) : la concentration, les hautes températures, le réseau centralisé de distribution, la sophistication, le gigantisme. Aussi, cette seconde trajectoire solaire est-elle inscrite dans les orientations de la Recherche nationale pour faire exister le solaire thermodynamique en entretenant son imaginaire futuriste. Il y a bien institutionnalisation d'un solaire en particulier, qui

[654] LAIRD, Frank N., *op. cit.*, 2001.

correspond aux éléments de solarité acceptés dans le volet solaire du référentiel sectoriel de l'énergie.

Quand Masson et Girardier fabriquent et expérimentent le MGS 2-1000, cette solution technique applicable par exemple au problème de l'accès à l'eau pour les populations pauvres des régions arides est également recherchée par d'autres acteurs scientifiques et industriels. En Israël, Tabor et Bronicki sortent des prototypes du laboratoire avec la société commerciale ORMAT. Le physicien africain Abdou Moumouni Dioffo qui revient d'un séjour en URSS, prend la direction de l'ONERSOL de Niamey, et entreprend la construction de dispositifs solaires thermodynamiques à basse température. A la fin des années 1950, l'entreprise italienne SOMOR vend ses pompes en Afrique. Aux États-Unis, de nombreuses tentatives pour récupérer les faibles gradients de chaleur naturelle ou industrielle au moyen d'ORC sont menées dans les années 1950-1970, comme celles de *Barber-Nichols, General Electric, General Motors, Thermo Electron Corporation*, etc[655]. *Idem* en Italie par l'entreprise milanaise *Gemmindustria* (qui devient *Turboden* dans les années 1980)[656]. S'ajoutent sans doute à ces quelques exemples toutes les initiatives dont nous ignorons l'existence et sur lesquelles il conviendrait d'enquêter.

Les prototypes de Masson-Girardier ne sont pas orphelins de pères, ni isolés de leurs pairs, ni de leur environnement industriel et institutionnel.

D'abord, sur le plan industriel, leur conception et leur fabrication est permise par les acteurs et les technologies environnants : principes communs à toute les machines thermodynamiques, assemblage d'éléments déjà existants souvent détournés et modifiés (pompe SOMOR, capteurs Radiasol, pompe Mengin, etc.) ; utilisation de matériaux de grande consommation disponibles dans le commerce (bronze, acier, cuivre, aluminium, verre, isolants, fluide gazeux liquéfiables issus de la pétrochimie, etc.) ; amortissement des coûts de la diversification solaire grâce à l'activité traditionnelle des Etablissements Pierre Mengin qui sont bien positionnés dans leur secteur ; savoir-faire à l'export, réseau commercial et contacts de Mengin en Afrique. Le constat que fait Philippe Bruyerre, dans sa thèse sur l'histoire sociotechnique des éoliennes, peut être ici transposée à la machine solaire Masson-Girardier : « cette machine reprend des éléments aux autres machines

[655] BRONICKI, L. Y., *op. cit*., 2017, pp. 36-37.
[656] *Ibid*., pp. 33-34.

sans créer de techniques spécifiquement éoliennes : elle se présente comme une synthèse des techniques de son époque qu'elle adapte à ses besoins propres. Les fabricants d'éoliennes sont avant tout des ingénieurs système, pour reprendre une expression actuelle, des intégrateurs de composants dans un ensemble technique. »[657]

Ensuite, de nombreuses institutions suivent et participent à l'élaboration de cette proposition sociotechnique dans le temps long. C'est déjà le cas à l'époque des expérimentations sur l'énergie thermique des mers dans lesquelles l'agent de l'EDF Nizery intègre l'universitaire Masson. Les résultats de notre étude démontrent clairement que depuis les premiers travaux de Masson dans les années 1950, jusqu'à la mise en route de la pompe de Chinguetti en 1973, les pouvoirs publics, par le biais de différentes institutions, les accompagnent : EDF, CNRS, Université de Dakar, DGRST, ministère de l'Industrie, ministère de la Recherche, ministère de la Coopération, gouvernements du Sénégal, du Niger, de la Haute-Volta, de l'Algérie, du Mali, de la Mauritanie, BRGM, ANVAR, SOFINNOVA. A tous ces acteurs publics s'ajoutent de très nombreux partenaires industriels : des leaders sectoriels de l'électromécanique aux fournisseurs en passant par les clients et les partenaires industriels et commerciaux des Etablissements Pierre Mengin, en Métropole et ailleurs dans le monde.

Nonobstant, l'action publique qui accompagne les travaux de Masson-Girardier s'apparente plus à une veille technologique qu'à un soutien décisif. Une forme de contrôle mou, qui circonscrit la solution au laboratoire, c'est-à-dire à un hypothétique futur. Une sorte d'administration de la question solaire restreinte à de la R&D et qui n'initie absolument pas un programme de promotion d'une solution industrielle. Car une telle posture reviendrait à acter d'un déjà possible, d'un dispositif reconnu comme opérationnel, bref, d'un problème et de sa solution solaire. Dans les faits, les aides budgétaires sont bien modestes, il s'agit plus d'une présence institutionnelle latente aux côtés d'une initiative entrepreneuriale familiale sous l'impulsion d'un laboratoire universitaire très périphérique (africain).

Pourtant, le processus d'invention[658] que nous restituons débouche sur l'installation d'un MGS 2-1000 en situation d'usage.

---

[657] BRUYERRE, Philippe, *op. cit*. 2020, p. 216.

[658] Pour Gilbert Simondon l'invention est « la solution d'un problème au sein d'une situation concrète ». Ludovic Duhem dans son analyse des travaux de Simondon « pointe avec force que cette voie qui met en valeur le processus d'invention et son mode opératoire, en particulier, le rôle de l'analogie, doit être

Avec SECRA, il est possible de faire fonctionner une pompe solaire thermodynamique basse température à Dakar, sans rien fabriquer de nouveau, simplement en assemblant des éléments déjà existants. Le principe du moteur ORC est connu depuis le XIX^{e} siècle, il transforme un faible gradient de températures naturelles ou industrielles en force motrice au moyen du changement d'état d'un fluide gazeux liquéfiable couramment utilisé dans les dispositifs frigorifiques. Avec ITTEC, l'irrigation et l'électricité deviennent des possibles solaires en Afrique. Avec NADJE, le moteur à piston peut être amélioré. Avec SEGAL, le MGS 2-1000 est fonctionnel, mais il faut attendre les améliorations apportées au problème de lubrification pour que deux brevets industriels soient déposés en juin 1973 par Les Etablissements Pierre Mengin[659]. Avec ONERSOL, l'installation complète est testée hors laboratoire et proposée à l'appropriation partielle grâce à la collaboration du laboratoire solaire national nigérien dirigé par Abdou Moumouni Dioffo. Avec EIER, la pompe solaire est intégrée à la formation des ingénieurs africains en Haute-Volta, le butane commercial testé comme fluide de travail et le MGS 2-1000 raccordé à un alternateur pour produire de l'électricité. En 1972, avec un programme sénégalais de cinq pompes solaires en négociation, l'intérêt des gouvernements maliens et algériens, le projet d'une installation pour l'hôpital de Niamey et la commande en cours de la MIFERMA, le MGS 2-1000 approche le stade préindustriel.

Ni orphelin, ni isolé, ni ignoré, disons-nous du petit moteur solaire. Allons plus loin encore dans l'énoncé de son intégration à la civilisation thermo-industrielle dont il

privilégiée par rapport à une histoire centrée soit sur le sujet, soit sur l'objet ou encore sur les éléments de contexte (politique, socio-économique). Toute tentative de chronologie de l'invention est ainsi vouée à l'échec… Faire l'histoire de l'invention, c'est donc aussi, de manière réflexive, se donner la possibilité de restituer et de faire perdurer des schèmes techniques, de les rendre disponibles pour inventer à nouveau ». BAUDRY Jérôme, BLANC Jan, HILAIRE-PEREZ Liliane, RATCLIFF Marc, WENGER Sylvain (dir.), *Produire du nouveau ? Arts-techniques-sciences en Europe (1400-1900),* Paris, CNRS Éditions, 2021, p. 18.

[659] GIRARDIER, Jean-Pierre, « Système énergétique comportant un moteur actionné par l'expansion d'un fluide gazeux liquéfiable », brevet industriel n°7321679, déposé par les Etablissements Pierre Mengin, 14 juin 1973. GIRARDIER Jean-Pierre et PARQUET Philippe, « Moteur à piston utilisant un fluide gazeux liquéfiable », brevet industriel n°7322276, déposé par les Etablissements Pierre Mengin, 19 juin 1973. En décembre 1973, Girardier dépose un nouveau brevet de pompe d'assainissement afin de poursuivre le développement commercial de l'activité traditionnelle de Mengin sur laquelle, ne l'oublions pas, repose la capacité d'amortissement de la nouvelle activité solaire. GIRARDIER, Jean-Pierre, « pour une station de relèvement d'eaux usées », brevet industriel n°7344472, déposé par les Etablissements Pierre Mengin, 13 décembre 1973.

désajuste paradoxalement le fondement principal, celui du choix du feu, en suggérant celui de la « chaleur perdue ».

Ce premier chapitre permet de saisir la configuration industrielle et africaine originale dans laquelle émerge cette nouvelle proposition de moteur solaire, mais également d'identifier la méthode que nous allons suivre par la suite pour l'analyse des différentes opérations SOFRETES à l'étranger.

En effet, la solution solaire Masson-Girardier bénéficie d'un double ancrage : africain et métropolitain. Cette configuration contrarie le modèle diffusionniste du progrès technique censé trouver son impulsion au centre (la France), pour en répandre les bienfaits aux périphéries dominées du tiers-monde considérées comme étant en retard de développement et dénuées de capacités d'invention technique. Ce qui fait écrire à des historiens dix-neuvièmistes que « depuis les années 1990, de nombreux travaux ont analysé la manière dont les colonies sont devenues des espaces d'expérimentation et de production des savoirs métropolitains, voire comment la science et les savoirs coloniaux furent coproduits par les indigènes »[660]. A l'IPM de Dakar, le centre de recherche et d'expérimentation originel, s'ajoute l'outil industriel des Etablissements Pierre Mengin, une PMI française familiale d'un secteur traditionnel. Cette configuration est cohérente avec le premier objectif : réaliser une machine solaire par et pour les africains. Le rôle de l'IPM, la thèse sénégalaise de Girardier, la collaboration avec Abdou Moumouni Dioffo, le prototype de formation à l'EIER de Ouagadougou, vont dans le sens d'un processus d'appropriation et de diffusion progressif de la sociotechnique depuis Dakar vers les pays sahéliens voisins. Bien sûr, l'objectif des Etablissements Pierre Mengin est de commercialiser un objet, mais ni Masson, ni Girardier, n'y voient une contradiction avec la volonté d'y associer à plus long terme les populations d'utilisateurs. L'opération Chinguetti fait prendre conscience à Girardier qu'atteindre ce résultat n'est pas du ressort d'une PMI, mais d'un État.

La pompe de Chinguetti se présente au final comme une opération politique de démonstration dont l'analyse prouve l'existence entre ses acteurs d'intérêts et d'idées divergentes, voire contradictoires. La méthode dite des « trois i »[661] semble pertinente

[660] FUREIX Emmanuel, JARRIGE François, *La modernité désenchantée. Relire l'histoire du XIX^e siècle* français, Paris, La Découverte, p. 361.
[661] SUREL, Yves, *in* BOUSSAGET Laurie, JACQUOT Sophie, RAVINET Pauline, *op. cit*., 2014, « Trois I », pp. 650-657.

pour traiter des opérations SOFRETES afin d'établir les modalités de l'action publique solaire à l'étranger et ses effets sur la PME, ses machines et sa proposition sociotechnique. C'est d'ailleurs celle préconisée et suivie par Laird dans sa sociohistoire de la politique publique solaire américaine[662]. La déconstruction de cette première opération en Mauritanie nous permet d'établir une distinction centrale pour la suite de notre développement : la nature duale de l'installation[663]. Elle est objet technique en société, mais aussi un instrument d'opération politique. L'une de ces caractéristiques ne doit pas recouvrir l'autre, quand il s'agit de rechercher les responsabilités de son arrêt puis de son abandon. Autrement dit, les dysfonctionnements de l'opération politique peuvent en partie expliciter le mal-fonctionnement de l'objet. C'est là lui découvrir une existence politique forte. Peut-être s'agit-il de sa principale singularité, car la carrière du moteur solaire Masson-Girardier s'explique d'abord par les répercussions inattendues de l'opération Chinguetti. C'est l'objet du prochain chapitre.

[662] LAIRD, Frank N., *op. cit*., p. ix.

[663] Bruyerre parle de nature duale de l'objet technique qui est à la fois matériel et humain (une technique en société) : « une entité matérielle dotée de structures et d'opérativités auxquelles un groupe humain attribue une fonction d'usage dans un contexte d'action, au sein d'un processus de production déterminé. » Ce n'est donc pas dans ce sens restreint que nous utilisons ici le qualificatif dual. Ce qui ne nous empêche pas évidemment de souscrire à la vision de Bruyerre. BRUYERRE, Philippe, *op. cit*. 2020, pp. 24-27.

Chapitre 2 Faire face à l’imprévisible

Introduction chapitre 2

La SOFRETES a-t-elle l'attention du ministère du Développement Industriel et Scientifique (MDIS) en 1973 ?

Dans ce chapitre 2, nous tentons d'identifier et de caractériser la présence d'une question solaire au MDIS en 1973 et la place qu'y occupe la SOFRETES. Notre objectif est triple.

D'abord, connaître les termes d'un « intérêt pour le solaire » s'il existe, ou tout au moins savoir si les convertisseurs solaires (et lesquels) sont discutés et dans quelles dimensions (technique et/ou sociale, voire politique). Il s'agit d'apprécier la continuité de la connaissance des propositions solaires par les gouvernants et des représentations qu'ils s'en font et qu'ils en véhiculent. Nous poursuivons ainsi notre compréhension des éléments constitutifs de la solarité du point de vue des dominants, celle que nous nommons la solarité hégémonique, celle qui constitue le volet solaire du référentiel de la politique publique de l'énergie dans lequel il est disqualifié et écarté des solutions (*cf. supra* chapitre 1).

Puis, savoir si cette attention solaire est purement conjoncturelle, c'est-à-dire si elle revêt un aspect tactique très circonstanciel (ou circonstancié), ou si elle soulève des problèmes plus structurels de politique de l'énergie, ou les deux à la fois. En effet, à l'été 1973, la pompe de Chinguetti fonctionne et acquiert une certaine visibilité nationale et internationale. Certains événements solaires sont à l'agenda médiatique et peut-être à l'agenda ministériel. S'il n'y a pas de problème public solaire en 1973, la discrète carrière du solaire thermodynamique basse température se poursuit avec la création de la SOFRETES et de nouvelles commandes auxquelles les pouvoirs publics sont confrontés de manière très inattendue[664].

Enfin, identifier l'action publique proposée pour contrôler la SOFRETES à sa naissance en octobre 1973 et en orienter le futur développement. Certains agents du MDIS s'engagent dans les affaires de la SOFRETES dans la continuité des soutiens apportés par les pouvoirs publics aux expérimentations antérieures de Masson et de Girardier dans les années 1960. Il est pertinent de savoir qui sont ces acteurs publics, à quel niveau de la

[664] CEFAÏ, Daniel, « La construction des problèmes publics. Définitions de situations dans des arènes publiques », *Réseaux*, volume 14, n°75, 1996, pp. 43-66 ; SHEPPARD, Elisabeth, « Problème public », *in* BOUSSAGUET Laurie, JACQUOT Sophie, RAVINET Pauline (dir.), *op. cit*., 2014, pp. 530-538.

hiérarchie administrative ils interviennent, et de quelle façon ils catégorisent et évaluent l'activité de la PME. Ainsi, nous pouvons plus clairement saisir dans quel système (institutions, intérêts, idées) son existence s'enracine alors que survient le premier choc pétrolier à l'automne 1973.

Notre étude repose en premier ressort sur l'analyse et la mise en perspective d'archives du cabinet de Jean Charbonnel[665], ministre de l'Industrie à l'été 1973, qui contiennent des dossiers « énergie solaire ». Nous présentons notre interprétation des faits en trois temps.

Premièrement, nous évoquons l'actualité solaire au MDIS à l'été 1973. En juillet, une éclipse de soleil, un événement astronomique et scientifique international, braque les projecteurs sur Chinguetti grâce à l'organisation d'un vol du Concorde 001 spécialement conçu pour l'occasion. Un hasard accélère la carrière internationale de la proposition sociotechnique Masson-Girardier. Elle acquiert une visibilité imprévue qui s'avère riche de conséquences pour les Etablissements Pierre Mengin et pour le petit moteur solaire. Peut-être aussi pour les pouvoirs publics. C'est également un moment médiatique qui nous permet d'apprécier le contenu des évaluations de la machine et de mesurer la nature de la solarité en cours de structuration dans les opinions des observateurs qu'ils soient vulgarisateurs, institutionnels ou leaders sectoriels privés. Au même moment à Paris, Girardier présente une réplique fonctionnelle de la pompe solaire de Chinguetti au congrès de l'UNESCO, « Le soleil au service de l'homme ».

[665] Jean Charbonnel (1927-2014) est normalien et énarque. « Attaché de recherche au Centre national de la recherche scientifique (CNRS) (fondation Thiers) (1951), Élève à l'École Nationale d'Administration (Ena) (promotion Guy Desbos, 1954-56), Auditeur à la Cour des comptes (1956), Conseiller technique au cabinet de Bernard Chenot (ministre de la Santé publique puis ministre de la Justice) (1959-62), Conseiller référendaire à la Cour des comptes (1962), Secrétaire d'État aux Affaires étrangères, chargé de la Coopération (1966-67), Ministre du Développement industriel et scientifique (1972-74), réintégré à la Cour des comptes (1974), Conseiller-maître à la Cour des comptes (1983), admis à faire valoir ses droits à la retraite (1992) ; Député de la Corrèze, inscrit aux groupes de l'Union pour la nouvelle République (UNR), du Rassemblement pour la République (RPR) puis non inscrit (1962-66, 1968-72, 1973 et 1986-93) ; Conseiller général de la Corrèze (1964-88), Maire de Brive (1966-95), Maire honoraire de Brive (2008), Président de la commission des finances de l'Assemblée nationale (1971-72) ; Membre du secrétariat national de l'UNR-Union démocratique du travail (UDT) (1967-68), Secrétaire général adjoint de l'Union des Démocrates pour la République (UDR) (1968-71), Président de la Fédération des républicains de progrès (1976), Délégué général du RPR (1980-81) ; Président-directeur général (1968-72) puis Président honoraire de la Société pour le développement économique du Centre et du Centre-Ouest (Sodecco), Vice-président (1987), Président (1998-2003), Président d'honneur (depuis 2003) de France-Algérie, Cofondateur (1998) et Président (depuis 2004) d'Action pour le renouveau du gaullisme social ; Maître de conférence à l'Institut d'études politiques (IEP) de Paris (1957-63) ». https://www.whoswho.fr/decede/biographie-jean-charbonnel_10561

Dans un deuxième temps, nous questionnons le suivi de cette rencontre internationale de la communauté scientifique solaire par le MDIS. Plus généralement, cela nous renseigne-t-il sur l'existence d'une veille solaire au MDIS ? Et si c'est le cas, le moteur solaire MGS 2-1000 est-il mentionné ? Est-il évalué ? Si ce congrès de l'UNESCO offre une tribune au moteur solaire MGS 2-1000, qui s'avérera déterminante puisqu'elle sert de caisse de résonnance au succès de l'opération Chinguetti, c'est aussi car les faits se déroulent dans le contexte particulier de ce début des années 1970 qui voit s'affirmer de nouveaux problèmes publics dans lesquels le solaire se trouve progressivement intégré (ses technologies et ses acteurs) : les préoccupations environnementalistes (lutte contre les pollutions et la prolongation de la pétrolisation), les oppositions civiques au nucléaire civil, la diffusion internationale d'analyses de prospectives alternatives au modèle de l'intensité énergétique du PIB et de la croissance économique infinie (Club de Rome en 1972), la critique du développementalisme des institutions internationales et des politiques de coopération, notamment leur inertie face à la Grande sécheresse qui touche le Sahel depuis la fin de la décennie 1960. Ces éléments de contextualisation ont un impact favorable sur l'existence politique de la proposition solaire thermodynamique basse température de la SOFRETES en ce qu'ils sont propices à soutenir, à l'échelle internationale, sa commercialisation et son évaluation, à la fois par ses supporters voire par ses détracteurs, qui peuvent l'instrumentaliser pour servir leurs intérêts respectifs, mêmes contradictoires. Leurs conséquences commencent à être visibles sur l'intérêt du public pour les questions d'énergies alternatives et sur les affaires de la SOFRETES au moment de sa naissance en 1973, mais il convient de garder à l'esprit que la question solaire est, même du côté africain, extrêmement secondaire. Si, comme nous l'avons montré (*cf. supra* chapitre 1), les pompes solaires Masson-Girardier semblent susciter un intérêt des gouvernements sénégalais et nigériens par exemple, elles se positionnent sans doute très à la marge de leurs préoccupations et ils ne l'ont pas forcément encore bien intégré à leurs stratégies dans leurs relations avec la France et avec leurs populations. Au demeurant, certains indices confirment qu'un contexte propice à la future considération à accorder à un moteur solaire se met en place, notamment en réaction aux problèmes environnementaux et d'échanges de matières premières énergétiques.

Par exemple au Sénégal, face à l'avancée du désert, qu'une déforestation massive et continue renforce alors que sévit la Grande sécheresse, le Président de la République sénégalaise, Léopold Sédar Senghor, profite de la récente tenue de la conférence de Stockholm sur l'environnement pour solliciter l'intervention du Président de la République française, George Pompidou, « auprès des aides bilatérales et multilatérales » afin de débloquer des financements extérieurs pour la mise en place d'une politique de reboisement[666]. En réponse, une note interne des services de la Coopération stipule que l'origine principale de la désertification ne serait pas l'épisode de sécheresse climatique des années 1960-1970 (le précédent date de 1935-1945), mais bien les processus d'anthropisation à l'œuvre, notamment l'« absence du maintien de la fertilité des terres, en raison des dégâts provoqués par l'agriculture dite minière, c'est-à-dire concentrée sur la production exclusive d'un seul produit »[667]. La note explique s'appuyer sur les travaux d'agronomes (sans les dénommer, mais nous reconnaissons là les thèses développées à l'époque par René Dumont déjà mentionnées) qui dénoncent les méfaits de l'agriculture intensive d'exportation (d'origine coloniale, fortement monopolistique, centralisée et reposant sur un très fort usage des hydrocarbures) et de son système d'organisation de gestion du sol, c'est-à-dire de la propriété foncière et de son organisation sociale afférente, qui de plus accroît la pression du surpâturage des troupeaux des populations nomades[668]. La question de l'accès à l'eau (où ? par qui ?), de ses modalités (par quoi ? avec ou sans essence ?) et de ses usages (pour quoi et pour qui ?) est donc centrale. Dans ces conditions locales et ce contexte international, nous comprenons bien qu'il y a là une fenêtre d'opportunité pour une proposition alternative solaire que le congrès de l'UNESCO prolonge depuis les années 1950 en projetant sur l'éventaire des possibles un dispositif déjà en fonction dans une oasis saharienne en 1973 (Chinguetti).

---

[666] Lettre du 4 novembre 1972, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000137, carton 19. René Journiac, Conseiller technique du Secrétaire Général pour la Communauté et les Affaires Africaines et Malgaches à la Présidence de la République, demande à Jacques Perrilliat, Directeur de cabinet du Secrétariat d'État aux Affaires Étrangères chargé de la Coopération, des éléments de réponse à la lettre de Senghor du 4 novembre 1972 relative aux progrès de la désertification au Sénégal. Les services techniques de la Coopération rédigent une lettre de réponse N°005027 adressée le 6 février 1973 au Secrétaire Général pour la Communauté et les Affaires Africaines et Malgaches à la Présidence de la République, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000137, carton 19.

[667] *Ibid*., p. 1.

[668] Senghor critique dès les années 1950 les méfaits de la mécanisation agricole coloniale qui participe à l'appauvrissement des sols et aux inégalités sociales liées à l'agriculture d'exportation. Voir PLESSIS, Céline, *op., cit*., 2015, p. 149.

Prenons un autre exemple, au Niger cette fois. Dans une lettre que l'Ambassadeur de France au Niger adresse au ministre des Affaires Étrangères en décembre 1973, il le prévient que les difficultés révélées par la sécheresse sont renforcées par l'augmentation des prix du pétrole. Il fait état de la réaction du gouvernement nigérien à cette conjoncture qu'il rapproche de celle de son homologue gabonais. Tous deux s'opposent à la décision des compagnies pétrolières d'augmenter leurs prix de vente. Ce rapport de force les pousse à réfléchir en retour « sur la dépendance dans laquelle il (le gouvernement gabonais et par imitation le gouvernement nigérien) se trouve encore, tant pour ce qui est des approvisionnements en produits essentiels, qu'en ce qui concerne la commercialisation de sa propre production »[669]. Cette dernière remarque est accompagnée d'une référence explicite à leurs tentatives en réaction pour « s'assurer un contrôle plus étroit de la commercialisation de l'uranium »[670]. Nous le voyons, en 1973, en Afrique francophone sahélienne, les enjeux environnementaux, énergétiques et les rivalités politiques qu'ils peuvent aiguillonner, sont à la fois très éloignés de la question solaire, tout en lui étant parfaitement concomitants et profitables, puisqu'un convertisseur solaire pourrait très bien trouver là un terreau propice à l'expression de ses capacités de séduction politique auprès des gouvernements du tiers-monde et auprès de leurs populations. S'il ne semble pas encore question d'utiliser un instrument solaire (le moteur SOFRETES par exemple) dans la politique étrangère française, son existence doit être bien comprise en regard du contexte dans lequel il va être projeté à travers le monde en 1973 (depuis Chinguetti, depuis l'UNESCO à Paris, puis du Mexique), et la place qu'il va y acquérir, serait-elle justement marginale.

Dans une troisième et dernière partie, nous analysons les termes de la création de la SOFRETES en octobre 1973, au moment du premier choc pétrolier. Comment les pouvoirs publics participent-ils à sa création ? Comment interpréter cette prise de position ? Cela nécessite d'identifier les partenaires initiaux et les relais de la SOFRETES

---

669 Lettre de Paul-Henri Gaschignard, Ambassadeur de France au Niger, à Michel Jobert, ministre des Affaires Étrangères, *via* la Direction des Affaires Africaines et Malgaches, 4 décembre 1973, p. 3, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000137, carton 50.

670 *Ibid*. En 1974, Hamani Diori, Président du Niger, est renversé par un coup d'État alors qu'il cherche à nationaliser l'exploitation de l'uranium. Voir par exemple, LUCAS, N.J.D., *op. cit*., 1979, p. 34. Pour une mise en perspective historique et politique de l'uranium nigérien, notamment à travers les accords de défense signés au moment des indépendances du Gabon et du Niger (officiels et secrets – ceux de la « Françafrique » mise en œuvre par Jacques Foccart) ainsi que son caractère « extra-commercial », lire également HECHT, Gabrielle, « l'empire nucléaire », *in* PESSIS Céline, TOPÇU Sezin, BONNEUIL Christophe (dir.), *op. cit*., 2015, pp. 164-167 et HECHT, Gabrielle, *op. cit*., 2016.

au MDIS. Par quels agents, avec quelles idées et selon quelles modalités, les pouvoirs publics s'engagent-ils dans ses affaires ? Dans le même temps, un ministre mexicain invite la SOFRETES pour une mission commerciale à l'issue de laquelle une commande gouvernementale de pompes solaires est engagée dans le cadre d'un programme de coopération franco-mexicain. Cette action publique mexicaine révèle deux dimensions importantes que revêt alors la machine : le moteur est opérationnel, peut-être même industrialisable, et il est un instrument de prestige au service du politique. En étant projetée dans les relations internationales, la solution sociotechnique s'affirme alors comme un instrument au potentiel très technopolitique (comme nous l'avons suggéré précédemment dans notre interprétation de l'opération Chinguetti). Comment les pouvoirs publics français réagissent-ils à cette demande alors que l'attention du MDIS est accaparée par la politique pétrolière et nucléaire ?

1. Dans l'ombre du Concorde : quelle actualité solaire au MDIS à l'été 1973 ?

Un événement astronomique - l'éclipse totale de soleil du 30 juin 1973 -, parfaitement prévu, attendu et mis en communication, va jouer soudainement le rôle, totalement imprévisible, de catalyseur pour précipiter la pompe solaire de Chinguetti dans l'actualité, au moment où s'ouvre à Paris le Congrès de l'UNESCO « Le soleil au service de l'homme ». Les circonstances sont favorables à Girardier qui participe au congrès et y présente une réplique fonctionnelle à grandeur réelle du moteur solaire installé en Mauritanie.

Comment la petite opération solaire de démonstration et de prestige de Chinguetti acquiert-elle alors une visibilité internationale qui suscite de nombreux intérêts et évaluations en 1973-1974 ? Cette concordance de temps et de lieux peut-elle nous éclairer sur la relation du Ministère du Développement Industriel et Scientifique (MDIS) au solaire à l'été 1973 ? Une fois encore, notre analyse doit prendre en considération l'enchaînement chronologique des faits puisque des éléments conjoncturels ont un impact sur l'existence politique de la proposition sociotechnique de Girardier.

A la fin du mois de juin 1973, le solaire est à l'agenda médiatique du MDIS[671]. L'actualité solaire c'est le vol du « Concorde 001 Éclipse Solaire 1973 » qui est en préparation depuis le mois d'avril[672].

L'éclipse totale de soleil qui survient le 30 juin 1973 est la mieux observable depuis le désert du Sahara, le long d'une ligne est-ouest traversant les États d'Afrique francophone de la Mauritanie au Tchad. La verticale du point d'observation optimal depuis la Terre se trouve aux alentours d'Atar en Mauritanie. Cependant, l'observation scientifique des éclipses de soleil en vol embarqué est envisagée depuis les débuts de l'aviation[673]. Depuis la surface terrestre la durée d'observation d'une éclipse solaire est réduite (7 minutes ici), alors qu'en suivant le plus rapidement possible la course de la Terre il est possible d'allonger cette durée. Aussi, l'éclipse de 1973 sert-elle de prétexte au MDIS pour l'organisation d'un vol d'observation spécial du Concorde 001, le prototype d'essai[674], équipé pour l'occasion d'appareillages de mesure et embarquant à son bord une équipe de scientifiques américano-franco-britanniques qui doit mener cinq expériences pendant 74 minutes à la vitesse de Mach II[675]. Il s'agit donc d'une opération scientifique doublée d'une opération de communication du gouvernement destinée à soutenir sa politique de développement industriel et technique dans le secteur de l'aéronautique (le projet franco-britannique d'avion de transport supersonique

---

671 Jean Charbonnel (1927-2014) est ministre du Développement Industriel et Scientifique de juillet 1972 à février 1974. « En 1967 il quitte le gouvernement mais il y revient de juillet 1972 à février 1974 en tant que ministre du Développement industriel et scientifique. Il s'occupe du programme Ariane et prépare le plan de l'électronucléaire français. Il fait également face à l'affaire LIP, entreprise d'horlogerie, de mécanique et d'armement en difficulté, dès octobre 1973. En février 1974 il n'est pas reconduit à son poste suite à un remaniement ministériel, constitutif du 3e gouvernement Messmer. » Archives Jean Charbonnel, répertoire numérique détaillé établi par Alice Talpin, sous la direction de Dominique Parcollet, Sciences Po Centre d'Histoire, mai 2016, pp. 4-5.

672 « Observation de l'éclipse solaire du 30 juin 1973 – Calendrier », Bureau du Cabinet de Jean Charbonnel, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

673 « To Watch Eclipse From A Seaplane Far Above Clouds », *New York* Times, 14 mai 1919, p. 1.

674 La prototype Concorde 001 F-WTSS cumule 397 vols, le dernier a lieu trois mois et demi après le vol de l'éclipse, le 19 octobre 1973. « Concorde prototype 001 F-WTSS », Musée de l'Air et de l'Espace, https://www.museeairespace.fr/aller-plus-haut/collections/bac-sud-aviation-concorde-prototype-001-f-wtss/ Voir également « Le concorde en quelques dates » http://museedelta.free.fr/concorde/dates.htm et ISNARD, Jacques, « L'avion supersonique concorde s'est posé au Bourget après son premier grand voyage », *Le Monde,* 28 mai 1971.

675 « Aménagement de l'avion Concorde 001 en vue de l'observation de l'éclipse solaire du 30 juin 1973 », Bureau du Cabinet de Jean Charbonnel, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69. Voir la vidéo de « L'exposition Éclipse 73 » sur le vol F-WTSS 376 (le 376ème vol du prototype 001) du Musée de l'Air et de l'Espace, https://www.museeairespace.fr/aller-plus-haut/collections/bac-sud-aviation-concorde-prototype-001-f-wtss/ et lire CHARLES Michel, FORT Bernard, LENA Pierre, CRIFO Françoise, VIALA Yves, « Les éclipse de soleil. La Terre à l'ombre de la Lune », *Le Monde*, 27 juin 1973.

Concorde[676]), particulièrement emblématique des orientations techniques de la politique de modernisation gaulliste censée assurer à la France sa grandeur, c'est-à-dire son rayonnement et son prestige dans le monde[677]. Jean Charbonnel charge Pierre Aigrain alors Délégué Général à la Recherche Scientifique et Technique (DGRST) des remerciements et vœux de réussite pour l'opération[678]. Comme nous l'avons mentionné plus haut, Pierre Aigrain est également spécialiste de la conversion solaire thermoélectrique. Le choix de son parrainage est donc à la fois institutionnellement légitime et symboliquement justifié.

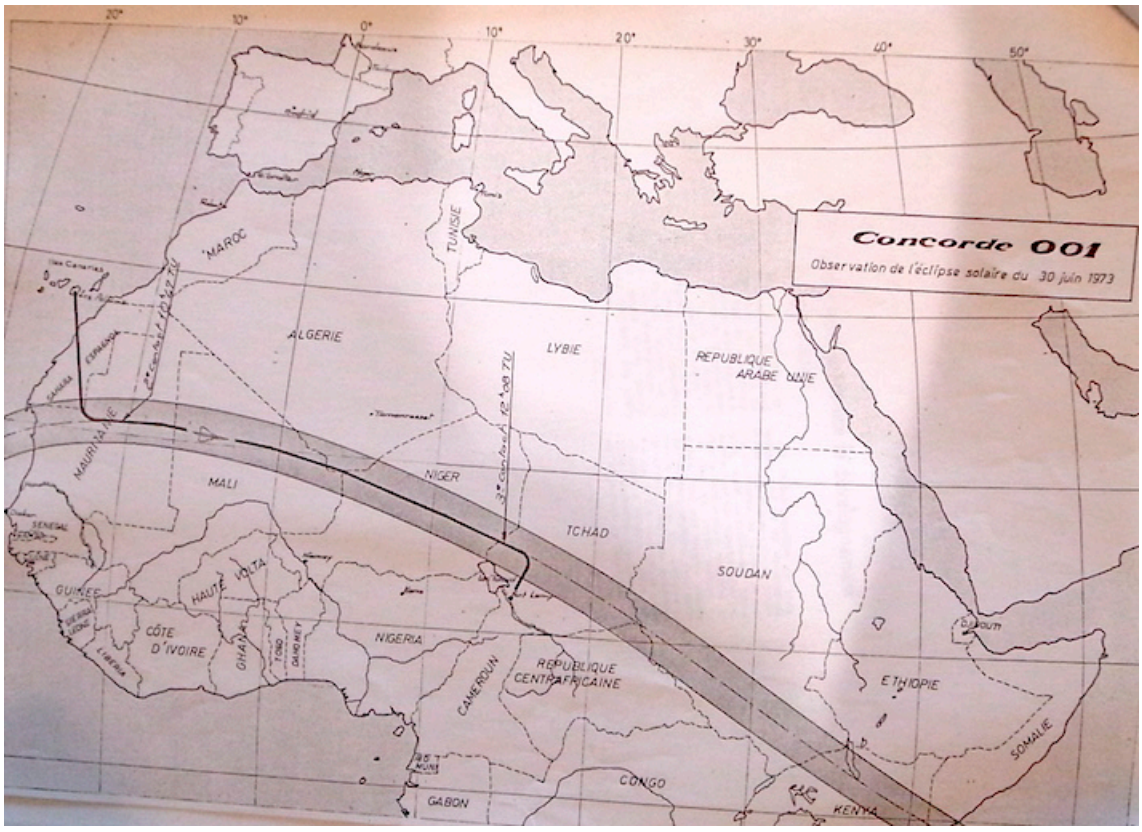


Figure 29 : plan de vol du Concorde 001 le 30 juin 1973. Bureau du Cabinet de Jean Charbonnel, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

[676] BERTHOUT, David, « Le programme de transport supersonique concorde : de l'innovation à la patrimonialisation », *Livraisons de l'histoire de l'architecture*, 2017, pp. 73-85.
[677] Voir par exemple BARRIERE Jean-Paul, DE FERRIERE Marc (dir.), *Aéronautique, Marchés, Entreprises*, Lille, Publications de l'Institut de recherches historiques du Septentrion, 2004. Voir aussi https://www.charles-de-gaulle.org/blog/2019/10/21/nouvelle-video-pedagogique-de-reseau-canope-le-concorde-et-la-modernisation-de-la-france/
[678] Courrier du 27 juin 1973 de Bailly du Bois (adjoint de Pierre Aigrain à la DGRST) au Cabinet de Jean Charbonnel, Note de Jean Charbonnel du 29 juin 1973, Bureau du Cabinet de Jean Charbonnel, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

Le plan de vol est lui aussi particulièrement symbolique puisqu'il offre la possibilité de parcourir la zone saharo-sahélienne de l'ancienne Afrique coloniale française en survolant Atar où les journalistes convergent pour couvrir l'événement. Girardier profite de leur attente pour les faire emmener voir fonctionner le moteur solaire dans l'oasis de Chinguetti où une équipe américaine d'astronomes est installée (ce qui permettra à l'information d'être relayée en Amérique du Nord et au Mexique comme nous le verrons). L'occasion est très belle pour la presse de filer la métaphore solaire, d'autant plus que la pompe solaire Mengin ne s'arrête pas quand le ciel s'obscurcit :

> Les articles publiés lors de la mise en place de Chinguetti en 73 ont eu beaucoup d'influence[679]. Nous avons eu la chance, à cette époque, qu'il y ait eu une éclipse du soleil à observer depuis cette région d'Afrique. Des dizaines de journalistes spécialisés avaient été envoyés là. Et ils avaient un peu de temps devant eux en attendant l'éclipse. Nous les avons emmenés à Chinguetti. Cela a été décisif. Le grand public s'est intéressé à ce sujet. Le monde politique, économique, financier l'a pris plus au sérieux. Pour nous, c'était déterminant[680].

Parmi ces articles, trois nous semblent représentatifs de l'intérêt soulevé à l'occasion de la médiatisation de l'opération Chinguetti. La nature des trois publications ainsi que les termes communs à leurs évaluations nous permettent de mesurer le spectre de l'écho occasionné par la soudaine visibilité de la pompe solaire mauritanienne et

---

[679] Ces publications sont bien trop nombreuses pour que nous puissions toutes les relever ici. Nonobstant voici un panel qui illustre leur diversité (nationale/internationale, grand public/spécialisé, institutionnelle). Voir par exemple : DE LATIL, Pierre, « La Mauritanie à l'heure de l'éclipse », *Le Figaro*, 30 juin-1er juillet 1973 ; « La Mauritanie pendant six minutes dans l'obscurité totale », *Le Figaro*, 2 juillet 1973 ; « Satisfaction des astronomes après l'éclipse de soleil », *Le Figaro*, 3 juillet 1973 ; « En Mauritanie dans l'oasis de Chinguetti. L'Énergie solaire a pris la relève des hommes et des enfants pour puiser l'eau », *Le Figaro*, 12 juillet 1973 ; DE CLOSET, François, « Un moteur pour le soleil », *Sciences et avenir*, Octobre 1973, n°320, pp. 960-965 ; BRABYN, Howard, « Le puits du savoir », *Le Courrier de l'UNESCO*, Janvier 1974, pp. 28-32 ; MOUMOUNI, Abdou, « Energy Needs and Problems in the Sahelian and Sudanese Zones : Prospects of Solar Power », *Ambio,* Vol. 2, N°6, Energy in Society : A Special Issue, 1973, pp. 203-213 ; FINES, Guy, « A la lumière du soleil », *Butane-Propane*, n°9, Été 1974, pp. 31-38 ; « Mauritania – A Solar Pump for Industrial Use », *Le Moniteur Africain*, Dakar, 26 juillet 1973, p. 5, *In* U.S. Department of Commerce, Joint Publications Research Service, *Translations on Africa*, n° 1345, 2 Août 1973, p. 14 ; « The Chinguetti Pump », *Saturday Review World*, Volume 1, N°17-26, 1974 ; « Solar Energy Experiments in West And Central Africa », *From the UNICEF Waterfront*, N°1-33, 1975, p. 17 ; le professeur indien BHATTACHARJEE, R.C. (Indian Institute of Technology) rend compte des travaux de Girardier avec la pompe de Chinguetti en 1974 dans la revue *Invention Intelligence* (Volume 9, 1974, pp. 247-260) de la National Research Development Corporation of India ; en Iran, l'université de Shiraz publie en 1975 un article consacré au « Prospects for solar energy utilization in Iran » qui mentionne la pompe de Chinguetti, *Iranian Journal of Science and Technology*, Volume 4-7, p. 65 ; GERMAIN, Pierre, « L'énergie, du dessillement aux décisions », *La Revue administrative*, n°158, Mars-Avril 1974, pp. 140-153.

[680] GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, p. 35 ; GIRARDIER Jean-Pierre, CAILLE Frédéric, *op. cit*., 2016.

d'identifier la présence de certains acteurs qui auront un impact sur l'existence administrative de la SOFRETES.

Premièrement, en France, c'est la revue de vulgarisation scientifique *Sciences et avenir* qui propose à ses lecteurs l'évaluation la plus complète. Dans un effort didactique remarquable, François de Closets[681] angle son propos sur une analyse critique de la recherche effrénée de la performance technico-économique des moteurs qui aurait privilégié la trajectoire technique des fossiles plutôt que celle des petits moteurs solaires à faible gradient de température naturelle. L'auteur fait reposer son argumentaire sur l'analyse sociotechnique de la pompe de Chinguetti, et démontre que c'est justement dans sa conversion en force mécanique d'un faible gradient de température naturelle (et naturellement perdue) que réside l'idée de progrès : « elle paraissait (l'aventure des moteurs à basse température) aller à contre-progrès, mais il peut suffire de peu de chose pour que change le sens du progrès »[682]. Il reprend tous les éléments de solarité associés à cette proposition sociotechnique appropriable et compétitive par rapport au moteur Diésel que nous avons détaillés au chapitre précédent. Il rappelle que les différences de températures naturelles se trouvent partout et que cela fait bien longtemps que des dispositifs sont expérimentés, tels ceux de George Claude. Puis il extrapole rapidement sur les possibilités offertes par cette machine de récupérer les chaleurs perdues industrielles :

> Toutes les sources géothermales sont à moins de 100°C. Le pétrole et le gaz jaillissent à des températures de 50 à 80°. Qui plus est l'industrie produit en quantité des calories qui sont rejetées sous forme de pollution thermique. Et cette production de chaleur parasite ne fait que commencer, elle va prendre une ampleur extraordinaire avec la mise en service des nombreuses centrales nucléaires actuellement en construction ou en projet. On sait que les 2/3 de l'énergie produite par les fissions nucléaires sont rejetées sous forme de chaleur. Là encore se trouve une source gratuite de calories à 80° ; qui plus est une source encombrante faute d'emploi, car cette chaleur rejetée dans les rivières risque de provoquer un réchauffement qui perturberait les équilibres écologiques[683].

Le raisonnement De Closets l'amène donc tout naturellement à énoncer en conclusion que ce qu'il faut voir dans le cahier des charges de la pompe solaire de Chinguetti, maintenant qu'elle est fonctionnelle dans les régions arides des pays pauvres, c'est sa capacité de transférabilité aux usages des populations des pays riches fondée sur

[681] François de Closets (1933-) est un célèbre journaliste scientifique et écrivain français.
[682] DE CLOSETS, François*, op. cit*., 1973, p. 965.
[683] DE CLOSETS, François, *op. cit*., 1973, pp. 962-963.

son principe moteur : « mais il ne faudrait pas limiter cette réalisation à un problème africain de pompage ou d'irrigation. Le fait important est qu'il existe désormais un moteur capable de fonctionner sans entretien avec une différence de 30° seulement entre sources chaudes et froides. »[684] En d'autres termes, on peut lire en 1973, dans une revue de vulgarisation, sous la plume d'un journaliste scientifique très établi (mais souvenons-nous de ce que Réméniéras disait au sujet du peu de crédibilité à accorder aux avis des journalistes scientifiques trop enthousiastes) que l'opération de démonstration de Chinguetti permet une inversion des directions de l'innovation particulièrement déstabilisatrice et provocatrice pour le système politico-énergétique, car de l'Afrique pauvre et a-technique viendrait une proposition sociotechnique alternative viable. La pragmatique alternative solaire portée par l'objet technique industrialisable apparaît alors pour ce qu'elle est vraiment, un renversement de paradigme. Afin de donner à ses conclusions un poids supplémentaire, il mobilise les propos de Philippe Simonnot[685] qui ramènent l'attention sur la responsabilité des choix techniques énergétiques qui incombent au pouvoir politique, et aux moyens qui sont à sa disposition pour soutenir ou pour marginaliser certaines trajectoires au bénéfice d'autres :

> Il existe certes, une sorte « d'impérialisme » des techniques dominantes. Et le nucléaire est en train d'en profiter grandement. Cet impérialisme, qui se manifeste en particulier dans l'allocation des crédits publics de recherche, tend à étouffer les autres inventions possibles, d'autant qu'il s'appuie sur l'inertie considérable de l'appareil de production. Le Pouvoir manque d'imagination, surtout parce qu'il n'en a pas les moyens[686].

Deuxièmement, à l'échelle internationale, *Le Courrier de l'Unesco* consacre un article très favorable à la pompe de Chinguetti. Dans « Le puits du savoir », Howard Brabyn choisit d'orienter son évaluation sur la capacité d'une pompe solaire intégrée au bâti d'engendrer une modification de l'organisation sociale, en l'occurrence ici la possibilité offerte aux enfants d'accéder à l'École par le biais du choix d'un objet technique particulier d'exhaure de l'eau. Une fois de plus, c'est la dimension sociale du convertisseur qui est avancée comme étant déterminante dans son appréciation. Les autres éléments de langage sont les mêmes que ceux auxquels De Closets a recours pour dresser

[684] *Ibid*., p. 965.
[685] Philippe Simonnot connaît quelques années plus tard un succès éditorial et critique avec son livre *Les nucléocrates.* SIMONNOT, Philippe, *Les nucléocrates*, Presses universitaires de Grenoble, 1978. Philippe Simonnot (1941-2022) est un économiste et journaliste français.
[686] SIMONOT, Philippe, « Point de vue de l'économiste/Le soleil n'est pas au rendez-vous… », *in* DE CLOSETS, François, *op. cit*., 1973, p. 965.

le portrait technicoéconomique et historique de la proposition sociotechnique solaire basse température. Brabyn aboutit à des conclusions similaires, même s'il ne va pas aussi loin que De Closets, à savoir qu'il convient de désorienter la grille d'évaluation classiquement construite pour valoriser les convertisseurs énergétiques conventionnels lorsqu'il s'agit d'estimer honnêtement les potentiels sociopolitiques que représente la perspective d'industrialiser la pompe de Chinguetti :

> Il s'agit peut-être là de la première réalisation technique conçue tout autant à partir de considérations sociologiques que sur la base d'impératifs techniques. En vérité, tous ceux qui prennent à cœur le développement du Tiers Monde, qui tiennent à ce que la technologie convenable soit utilisée à l'endroit convenable, au moment convenable et de façon convenable, seraient bien avisés de faire le voyage de Chinguetti : ils y verraient ce petit bout de corde à nœuds (la corde de l'ancien puits tirée par les enfants qu'ils ont abandonnée) et boiraient au puits de la connaissance [687].

Troisièmement, une publication spécialisée des leaders sectoriels de l'industrie pétrolière s'empare du sujet pour en faire la Une du « plus important tirage de la presse pétrolière »[688], la revue des gaz de pétrole *Butane-Propane*. Le numéro fait sa couverture sur la pompe solaire au Butane de Chinguetti, osant en sous-titre, non sans équivoque : « l'homme prend au désert tout ce qu'il peut lui arracher. »[689] Les grands annonceurs de la revue sont Total Gaz et Elf. Un ingénieur de Elf-Monogaz, Guy Fines, signe l'article sur le moteur solaire Masson-Girardier[690]. Une fois de plus l'auteur mène une évaluation très positive du dispositif de la pompe-école, notamment en insistant sur sa polyvalence puisque son architecture solaire intégrée lui permet d'assurer une climatisation des locaux et que « dans un avenir proche, il sera possible de produire également du froid et de l'électricité »[691]. Bien évidemment, c'est l'usage du Butane comme fluide de travail qui sert ici de prétexte à la rédaction de l'article. Cependant, on comprend bien que c'est un aspect anecdotique (le moteur peut fonctionner, comme nous l'avons expliciter, avec bien d'autres fluides gazeux liquéfiables issus de la pétrochimie), et que l'intérêt soudain des pétroliers pour ce type de moteurs et leurs services rendus doit être recherché ailleurs. En effet, comme l'écrit Fines, « le choix du Butane (Butane commercial) dans cette application a été fait en considération des possibilités locales : seul ce produit est aussi

[687] BRABYN, Howard, « Le puits du savoir », *Le Courrier de l'UNESCO*, janvier 1974, p 32.
[688] *Butane-Propane*, n°69, été 1974, p. 29.
[689] *Butane-Propane*, *op. cit*., 1974, p. de couverture ; MOUTHON, Alexandre, *op. cit*., 2020.
[690] FINES, Guy, « A la lumière du soleil », Butane-Propane, n°69, été 1974, pp. 31-38.
[691] *Ibid*., p. 38.

facilement disponible, grâce à ses bouteilles qui se laissent partout transporter, même dans les endroits les plus isolés. Il suffit d'ailleurs, d'une très faible quantité de butane – de 50 à 60 kg par cheval-vapeur de puissance installée ! – pour faire tourner le moteur solaire »[692]. Or, le cycle du butane est fermé. Cela signifie donc que ce moteur solaire n'en consomme pas. La perspective d'un hypothétique marché du Butane solaire n'existe pas. Ce type de moteur apparaît plutôt comme un concurrent aux dispositifs mécaniques de pompage, de climatisation, de réfrigération, et de génération électrique alimentés par des combustibles fossiles. Cette très apparente contradiction est centrale puisque quelques années après la mise en route de Chinguetti et sa médiatisation, un pétrolier (CFP-Total) et un frigoriste-pétrochimiste (Technigaz) entrent au capital de la SOFRETES respectivement dans les volets « Climatisation » et « Froid » de son programme de R&D solaire[693] (les motivations et les actions solaires de ses acteurs font l'objet d'un questionnement et d'une analyse approfondis dans les prochains chapitres)[694]. En conclusion de son évaluation, Fines énonce les traits caractéristiques du moteur solaire Masson-Girardier. Elle est tout à la fois une mise en garde et une sincère reconnaissance d'un potentiel :

> L'on peut reprocher aux pompes solaires un inconvénient commun à toutes les machines solaires : leur faible rendement. Le capteur restitue environ la moitié de la chaleur reçue, le moteur solaire douze pour cent de l'énergie qui lui est transmise, si bien que le rendement global tombe à quelques pour cent. Ce défaut toutefois ne semble pas d'une importance majeure, si l'on considère que la source d'énergie est gratuite et l'entretien à peu près inexistant. Les premiers ensembles qui sont en service depuis plusieurs années ont montré une excellente fiabilité et n'ont subi aucune révision majeure[695].

Tout cela fait de cette évaluation une publication très ambiguë à interpréter et particulièrement intéressante à identifier, car pareil constat pour un pétrolier ou un motoriste, semble écarter la possibilité de marginaliser le dispositif, notamment en invoquant des insuffisances théoriques d'analyses calculatoires thermodynamiques.

---

[692] *Ibid*., pp. 35-36.
[693] Dossier SOFRETES de demande d'aide au développement à la DGRST, 1975, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.
[694] Nous renvoyons à notre article sur le solaire par le froid : CAILLE Frédéric, MOUTHON Alexandre, *op. cit*., 2020, notamment la quatrième partie « Le lien solaire-froid à la rencontre des acteurs des industries fossiles des gaz et du froid », pp. 106-111.
[695] *Ibid*. p. 38.



Figure 30 : photographie du bâtiment de la pompe-école de Chinguetti en Une de la revue *Butane-Propane*, n°69, été 1974. Archives privées de Georges Alexandroff.

Par un enchaînement de circonstances favorables, liées à une opération solaire et aéronautique de prestige au service du rayonnement de la France, la pompe solaire de Chinguetti accède donc à une certaine visibilité aux échelles nationales et internationales, à la fois auprès du grand public et des leaders sectoriels des industries fossiles. Les commentateurs mobilisent tous les éléments de solarité positive sur lesquels reposent les propositions solaires thermodynamique à bas potentiel. Le contraste entre le programme Concorde qui instrumentalise une actualité solaire, et le petit moteur qui, dans son ombre, pompe l'eau d'une oasis saharienne, dépasse de beaucoup la simple anecdote initiale. Il est à nouveau symptomatique de la divergence entre les attributs de la puissance du référentiel de politique publique de l'énergie et les déterminants de la solarité positive d'une alternative de politique publique : le plus puissant rencontre le moins puissant, la technologie sophistiquée rencontre la technologie appropriable, les carburants fossiles

rencontrent la récupération de chaleur, Mach 2 *vs* 1 kW, le turboréacteur *vs* le moteur à vapeur à piston, le Kérosène *vs* la chaleur solaire, le très coûteux et très polluant[696] *vs* les externalités socio-environnementales positives.

2. Le soleil au service de l'homme : quel suivi du congrès de l'UNESCO par le MDIS ?

A l'été 1973, la visibilité de l'opération de démonstration de Chinguetti se prolonge du désert du Sahara à Paris, où se tient le congrès de l'UNESCO « Le soleil au service de l'homme », qui réunit la communauté scientifique solaire, dans la continuité des grandes rencontres précédentes des années 1950-1960 sur les enjeux de la zone aride et des nouvelles sources d'énergies (*cf. supra* chapitre 1). Jean Charbonnel ouvre le congrès en évoquant l'éclipse. Girardier est dans la salle, une réplique de la pompe solaire de Chinguetti est en fonction dans les jardins du Palais de l'UNESCO où les participants sont invités à l'expérimenter. Les termes du discours inaugural du ministre du Développement Industriel et Scientifique nous permettent-ils de caractériser la position du gouvernement par rapport aux applications de l'énergie solaire ? Quelle solarité véhiculent-ils ? Inversement, les résultats expérimentaux présentés par les intervenants corroborent-ils la posture ministérielle (par exemple, la définition des problèmes et des solutions sociotechniques est-elle similaire ?) ? Enfin, quel bilan les services du MDIS dressent-ils de leur suivi du congrès solaire ?

2.1 Une solarité divergente qui se prolonge

L'allocution de Charbonnel a lieu le 2 juillet 1973. Son discours reprend tous les éléments de la solarité hégémonique (celle des impossibles) que nous avons précédemment identifiés, en séparant bien l'analyse du ministre de l'Industrie de celle du ministre de la Recherche scientifique.

[696] CRESPY Cécile, JOUVENET Morgan, « Politique de recherche nationale et risque environnemental global. L'action de la DGRST pour les sciences de la stratosphère face à la « crise de l'ozone » (1976-1981) », *Revue française de sociologie*, vol. 61, 2020, pp. 17-42.

Selon lui, les technologies solaires sont porteuses d'espoirs, mais elles sont pour le moment immatures, « mais il ne faut surtout pas se décourager. Après tout, elles n'en sont qu'à leurs débuts »[697]. Elles sont donc encore trop éloignées de la phase industrielle. La conversion solaire, à des coûts compétitifs et à des puissances suffisantes, « dont l'importance puisse se chiffrer en méga ou en gigawatt-heures »[698], est un problème de recherche et non de choix politique, ces derniers découleraient d'évidences technicoéconomiques et non l'inverse. La responsabilité en incombe donc aux chercheurs et aux ingénieurs et pas aux pouvoirs publics et aux industriels, qui, eux, ne font que se saisir en aval d'une technique devenue suffisamment rentable et puissante en amont. Les solutions ne sont donc pas encore trouvées et les efforts doivent se poursuivre :

> Si l'industrialisation de cette énergie est infiniment moins avancée que celle de l'énergie de l'atome, et surtout du pétrole, c'est probablement parce qu'elle n'est pas apparue, jusqu'ici, comme suffisamment rentable. Autrement dit, c'est aux partisans et aux pionniers de l'énergie solaire de la faire progresser de façon que les grands industriels, les organismes nationaux et les États puissants puissent la considérer, non plus comme anticipation de science-fiction, mais comme une recherche appliquée rentable, susceptible de réalisation industrielle d'envergure[699].

D'ailleurs, pour appuyer l'idée que les applications solaires seraient une préoccupation récente, le ministre déclare au sujet du congrès : « qu'il s'agit de la première réunion de cette nature, non seulement en France, mais dans le monde. »[700] Or, comme nous l'avons montré plus avant, c'est loin d'être le cas. Charbonnel loue les mérites de la Recherche nationale (CNRS et CNES) et de leurs résultats pour les fours solaires et les applications spatiales des photopiles, mais il déplore leur impossible rentabilité terrestre. Il regroupe ensuite les autres procédés de conversion dans la catégorie « corps noir »[701], c'est-à-dire les dispositifs qui reposent sur des capteurs plans. Son évaluation ne mentionne pas les solutions techniques comme les petits moteurs solaires à vapeur et à piston, mais énonce plutôt certains services rendus, ce qui permet d'éviter de parler de conversion de la chaleur solaire en force mécanique : « les cultures en serre ou de la distillation des eaux saumâtres… », « les utilisations proprement

[697] Jean Charbonnel, Allocution pour le congrès « Le soleil au service de l'homme », p. 7, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.
[698] *Ibid*., p. 8.
[699] *Ibid*.
[700] *Ibid*., p. 1.
[701] *Ibid*., p. 4.

domestiques, pour éclairer l'habitation, la chauffer, en assurer la climatisation. »[702] Pas un mot sur le pompage de l'eau et ses potentiels d'irrigation, de réfrigération et de génération électrique. Surtout, le ministre conclut sur deux idées discutables : « à vrai dire, les installations de cette catégorie ne sont encore qu'à l'état expérimental » et « c'est le cas dans plusieurs pays en développement, représentés ici par des techniciens porteurs de solutions ingénieuses ; c'est notamment celui des pays méditerranéens qui ont fondé la COMPLES, et je ne doute que, dans cette direction, ne s'ouvre une voie pleine de promesses. »[703] La première est contredite par les faits, comme le succès de l'opération de démonstration de Chinguetti le prouve, ainsi que par l'histoire des expérimentations solaires que nous avons mise en perspective au chapitre précédent. La seconde révèle une attitude contradictoire du gouvernement. En effet, des documents du Cabinet, archivés dans le même carton, attestent du refus du gouvernement de soutenir financièrement la COMPLES, dont le Président-Fondateur Marcel Perrot fait partie du Comité exécutif du Congrès de l'UNESCO.

Une note de présentation rédigée en 1972 par Marcel Perrot rappelle que la COMPLES est créée après le congrès des Nations Unies à Rome de 1961 par une poignée de scientifiques du bassin méditerranéen, qui constatent une trop forte inertie des réalisations solaires depuis le début des années 1950[704]. Ils souhaitent ainsi fédérer leurs efforts et trouver des financements pour promouvoir des applications de l'énergie solaire adaptées aux besoins quotidiens des populations les plus démunies des pays les plus pauvres. Le texte présente ensuite toutes les étapes institutionnelles du renforcement de la COMPLES (nombres de membres, statuts, rencontres internationales, réalisations, partenariats, géographie des activités, publications, etc.), jusqu'à la veille du congrès de l'UNESCO de l'été 1973. Les échanges de lettres entre la direction de la COMPLES et les ministères de l'Industrie et de l'Éducation nationale révèlent que de 1966 à 1968, le

[702] *Ibid*.
[703] *Ibid*.
[704] « La Coopération méditerranéenne pour l'énergie solaire », par M. Perrot, Président de la COMPLES, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69. Voir les travaux de PEHLIVANIAN et de MAREC sur la COMPLES : PEHLIVANIAN, Sophie, « Construire une histoire de l'énergie solaire. L'exemple d'une initiative originale d'une recherche solaire méditerranéenne », *Rives méditerranéennes*, 2015, pp. 121-134 ; PEHLIVANIAN, Sophie, *op, cit*., 2014 pp. 124-153 ; MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, p. 473, pp. 506-510.

gouvernement français accorde une subvention de 10 000 Frs à la COMPLES[705]. A partir de 1970, le soutien financier du gouvernement s'arrête et Perrot reçoit une lettre de Jacques Giscard d'Estaing, alors Directeur adjoint du Cabinet du ministre de l'Éducation nationale, qui lui annonce le retrait de la subvention (Jacques Giscard d'Estaing sera quelques années plus tard administrateur de la SOFRETES en tant que Directeur financier et comptable du Commissariat à l'énergie atomique (1971-1982))[706]. En 1972, Pierre Lucas, député des Bouches-Du-Rhône, sollicite Xavier-François Ortoli, alors ministre du Développement Industriel et Scientifique pour qu'il réactive le soutien financier à la COMPLES. Dans sa lettre du 3 juillet 1972, Ortoli (Charbonnel le remplace justement en juillet 1972) écrit pour faire patienter le député, « j'ai demandé que cette affaire soit examinée avec une particulière attention », alors qu'une note manuscrite en bas de sa copie de la lettre stipule « pas de suite »[707]. Le 15 juin 1973, quelques semaines avant le congrès de Paris, Perrot écrit au Chef de Cabinet de Charbonnel pour attirer son attention sur le désengagement du gouvernement depuis 1969 vis-à-vis de la COMPLES et donc des efforts en faveur du solaire alors que le ministre doit participer à l'ouverture de l'événement[708]. Il joint à son courrier, pour appuyer sa demande de révision de la position du ministère, le dernier numéro de la *Revue internationale d'héliotechnique* de la COMPLES, précisément celui qui rend hommage au professeur Masson décédé quelques mois plus tôt (*cf. supra* chapitre 1). Ce numéro propose également un article qui rend

[705] Lettre du Secrétariat général de l'Industrie du 6 novembre 1965 qui accorde une subvention de 10 000 frs ; lettre de l'AFEDES à la COMPLES, 5 mai 1967, au sujet du versement de la subvention du ministère de l'Industrie de 10 000 Frs à la COMPLES ; lettre du conseiller technique au cabinet du ministre de l'Éducation nationale, 13 janvier 1969, qui accorde une subvention de 10 000 Frs pour 1968, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

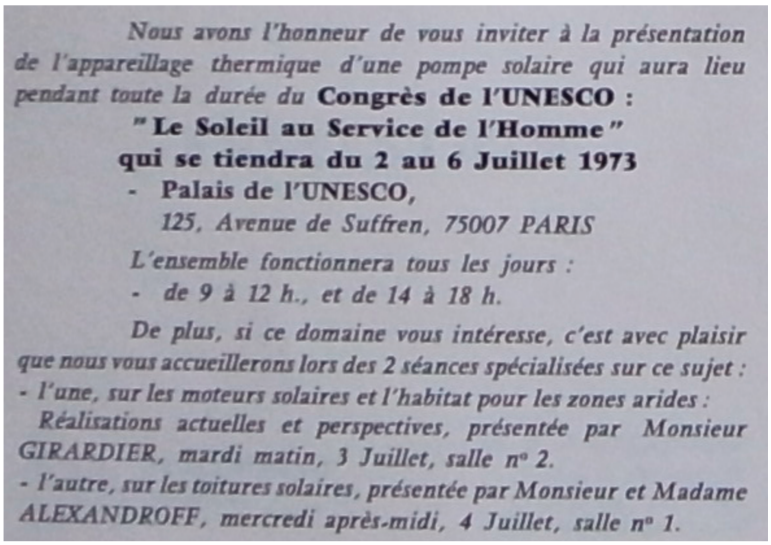
[706] Lettre de Jacques Giscard d'Estaing, alors Directeur adjoint du Cabinet du ministre de l'Éducation nationale (Olivier Guichard), à Marcel Perrot, 9 juillet 1970, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69. Jacques Giscard d'Estaing (1929-2012) est en fonction dans l'administration financière et comptable du CEA tout au long des années d'activités de la SOFRETES, il en sera même un des administrateurs, nous y reviendrons en temps utile : « Directeur adjoint du cabinet d'Olivier Guichard (ministre de l'Éducation nationale) (juin 1969-février 1971), Directeur financier et comptable du Commissariat à l'énergie atomique (1971-82), Administrateur ou Membre du conseil de surveillance de la Société technique pour l'énergie atomique (Technicatome) (1972-89), de la Cogema (1976-89), Président de la Société des mines de l'Aïr au Niger (Somair) (1975-99) et de l'Entreprise de promotion de l'innovation au CEA (Epicea) (1984-94), Conseiller financier de l'administrateur général du Commissariat à l'énergie atomique (1982-89) », extrait de sa notice du Who's Who, https://www.whoswho.fr/decede/biographie-jacques-giscard-d-estaing_14675.

[707] Lettre de Xavier-François Ortoli, ministre du Développement Industriel et Scientifique (de juin 1969 à juillet 1972), à Pierre Lucas, Député des Bouches-Du-Rhône (de juin 1968 à avril 1973), 3 juillet 1972, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

[708] Lettre de Marcel Perrot au Chef de Cabinet du ministre du Développement Industriel et Scientifique, 15 juin 1973, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

compte des améliorations proposées au Zaïre par des scientifiques Belges qui essayent d'augmenter une pompe SOMOR à partir des termes d'une évaluation sociotechnique identique à celle menée par Masson-Girardier dix ans plus tôt[709].

L'hypocrisie dans la position du gouvernement par rapport au solaire apparait donc assez clairement dans les éléments de langages mobilisés pour l'occasion par le ministre Charbonnel (et repris dans la presse[710]). Le ministre, en remerciant la COMPLES, que le gouvernement refuse de financer, assure soutenir le développement de la recherche (seulement nationale) d'une technique récente immature, tout en en faisant reposer sa responsabilité sur les chercheurs et les ingénieurs, sans jamais parler de la trajectoire technique des petits moteurs à vapeur à piston alors en fonction dans les jardin du congrès[711].



Nous avons l'honneur de vous inviter à la présentation de l'appareillage thermique d'une pompe solaire qui aura lieu pendant toute la durée du **Congrès de l'UNESCO :**

"Le Soleil au Service de l'Homme"

qui se tiendra du 2 au 6 Juillet 1973

- **Palais de l'UNESCO,**
  125, Avenue de Suffren, 75007 PARIS

L'ensemble fonctionnera tous les jours :

- *de 9 à 12 h., et de 14 à 18 h.*

De plus, si ce domaine vous intéresse, c'est avec plaisir que nous vous accueillerons lors des 2 séances spécialisées sur ce sujet :

- *l'une, sur les moteurs solaires et l'habitat pour les zones arides : Réalisations actuelles et perspectives, présentée par Monsieur GIRARDIER, mardi matin, 3 Juillet, salle n° 2.*
- *l'autre, sur les toitures solaires, présentée par Monsieur et Madame ALEXANDROFF, mercredi après-midi, 4 Juillet, salle n° 1.*

Figure 31 : carton d'invitation à venir observer fonctionner la réplique de la pompe solaire de Chinguetti dans les jardins de l'UNESCO. Archives privées de Jean-Pierre Girardier.

---

[709] SCHUEPP, W., « Études sur le fonctionnement de la pompe SOMOR et des améliorations possibles », *Revue internationale d'héliotechnique*, avril 1973, pp. 56-58. Nous avons démontré l'intérêt de cet article dans CAILLE Frédéric, MOUTHON Alexandre, *op. cit*., 2020.

[710] Ministère du Développement Industriel et Scientifique, Service de Relations publiques et d'information, « Note d'information (destinée à la presse) - Congrès de l'énergie solaire à l'UNESCO », 2 juillet 1973 ; coupure de presse, « M. Charbonnel préconise le développement de l'énergie solaire », journal inconnu, 3 juillet 1973 ; dépêche de l'AFP, Actualité économique, « L'industrialisation de l'énergie solaire », 3 juillet 1973, cette dernière fait cependant remarquer que « des moteurs solaires de petite puissance, qui actionnent des pompes, ont été installés par des français dans certains pays africains, comme le Sénégal, qui jouissent d'un ensoleillement important », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

[711] « Afrique, les dividendes du soleil », *Le Courrier de l'UNESCO*, Janvier 1974, pp. 30-31 ; carton d'invitation à venir observer fonctionner la réplique de la pompe solaire de Chinguetti dans les jardins de l'UNESCO, Archives privées de Jean-Pierre Girardier.

Charbonnel assène dans son discours ce qu'il faut bien considérer comme une contre-vérité, qui nie l'existence de la proposition sociotechnique et industrielle solaire des Etablissements Pierre Mengin, et qui rappelle le choix étatique national de l'électronucléaire :

> Comme l'écrivait M. Peychès, elle (l'énergie solaire) n'a pas suscité jusqu'ici les grands enthousiasmes collectifs générateurs d'innovations : la « pompe » industrielle ne s'est pas amorcée ; on n'a pas vu poindre l'étincelle, l'idée originale qui déclencherait l'explosion initiale. Hommes de science et techniciens se concentrent sur d'autres recherches qui donnent déjà plus que des promesses : les surrégénérateurs, la fusion thermonucléaire contrôlée ; à côté de ces travaux, appuyés sur des expériences précises, les projets relatifs à l'énergie solaire ne paraissent-ils pas ressortir trop souvent d'une prospective incertaine ?[712]

Les 600 délégués des 60 pays représentés au congrès « Le soleil au service de l'homme » assistent pendant cinq jours (du 2 au 6 juillet 1973) à la présentation d'un large panel de résultats d'expérimentations solaires. Ces dernières infirment plutôt l'évaluation générale menée par le ministre lors de son discours inaugural, puisqu'elles couvrent l'entièreté du spectre des applications de l'énergie solaire en faisant, entre autres, la part belle aux solutions de conversion à basse température destinées à satisfaire les besoins quotidiens : pompage, réfrigération, chauffage, dessalement, séchage, électricité, architecture, stockage[713]. Nous ne pouvons évidemment pas développer ici une analyse critique de chacune des centaines de contributions du congrès. Cependant, nous relevons qu'elles prolongent toutes la solarité des possibles, véhiculée par les expérimentateurs des propositions solaires alternatives depuis la fin du XIX^{e} siècle, mais divergente de celle construite par le volet solaire du référentiel de la politique de l'énergie sur lequel Charbonnel s'appuie et que nous avons identifiée et caractérisée au chapitre précédent. Autrement dit, rien de nouveau en termes de solution technique mais encore plus de solutions, et il est remarquable de saisir que le problème est envisagé sur tous les continents, soit par des scientifiques des pays riches (y compris l'URSS), soit par leurs homologues des pays en développement. Le séminaire « Conversion de l'énergie solaire

[712] Jean Charbonnel, Allocution pour le congrès « Le soleil au service de l'homme », p. 6, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.
[713] « Programme officiel détaillé du congrès », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69. Les actes du congrès sont disponibles en ligne sur le site de la bibliothèque numérique de l'UNESCO (L'UNESDOC)
https://unesdoc.unesco.org/search/df43380d-871f-4faf-88df-90c3b61eb378.

en petites ou moyennes puissances », alors qu'il réunit les contributions de Moumouni[714] (Niger), Girardier et des Alexandroff[715] (France-Sénégal), offre également une tribune à des expérimentations d'autres moteurs solaires à basse température, comme celle menée dans une université nigériane[716], ou encore une autre à l'Université de Floride[717]. Mais, à l'image de Girardier et des Etablissements Pierre Mengin, des industriels sont aussi présents aux côtés des chercheurs académiques et certains deviendront, comme nous le verrons, des partenaires de la SOFRETES (ainsi que des acteurs majeurs du secteur de la thermoélectricité), telle la firme américaine *Thermo Electron Corporation*, qui présente un moteur à cycle de Rankine et à collecteurs plans[718].

L'intervention de Girardier et des Alexandroff le 3 juillet 1973 prend une tournure assez différente des autres, car elle s'appuie sur la réussite de l'opération Chinguetti dont nous venons de voir qu'elle bénéficie d'une conjoncture favorable au moment de l'éclipse et de l'ouverture du congrès. D'autant plus que les congressistes peuvent visiter une réplique de la pompe solaire installée pour l'événement en plein Paris, ce qui n'est pas sans rappeler l'installation de Mouchot à l'Exposition universelle de 1878, machine à laquelle fait référence Girardier dans ses propos introductifs[719]. Il souligne ainsi l'absence de développement industriel de la conversion solaire thermodynamique basse température depuis cette époque, et il cherche « à déterminer les causes de cet échec apparent »[720]. Pour y répondre, Girardier démontre comment son moteur surmonte les trois principales contraintes les plus souvent présentées comme les facteurs limitant toute conversion viable de la chaleur solaire en force mécanique. C'est-à-dire qu'il répond à la question en ingénieur, en invoquant des causes techniques et en prouvant qu'il les a

[714] MOUMOUNI A., MAHAMANE I., « Étude d'un dispositif comportant un groupement mixte d'éléments réfrigérateurs thermoélectriques », E80, Congrès international *Le soleil au service de l'homme*, Paris, UNESCO, 1973 ; MOUMOUNI A., WRIGHT A., « Étude expérimentale d'un cylindro-parabolique », E81, Congrès international *Le soleil au service de l'homme*, Paris, UNESCO, 1973.
[715] ALEXANDROFF J.-M. et G., GIRARDIER J.-P., « Les moteurs solaires et l'habitat pour les zones arides : réalisation actuelles et perspectives » et « Toitures solaires », EH82 et E109, Congrès international *Le soleil au service de l'homme*, Paris, UNESCO, 1973.
[716] HARRISON, P. L. (Nigeria), « A simple steam-driven water pump », Congrès international Le soleil au service de l'homme, Paris, UNESCO, 1973.
[717] FARBER, E. A., « Solar powered vapored engine », E7, Congrès international *Le soleil au service de l'homme*, Paris, UNESCO, 1973 et « The university of Florida Solar energy laboratory », EH106, Congrès international *Le soleil au service de l'homme*, Paris, UNESCO, 1973.
[718] TEAGAN William Peter, SARGENT Stephen L., « A solar powered combined heating/cooling system with the air conditioning unit driven by an organic Rankine-cycle engine », EH94, Congrès international *Le soleil au service de l'homme*, Paris, UNESCO, 1973.
[719] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., à paraître.
[720] ALEXANDROFF J.-M. et G., GIRARDIER J.-P., *op. cit*., 1973, p. E.82-2.

surmontées, écartant ainsi toute infaisabilité technicienne. Premièrement, dit-il, il faut privilégier pour le moment la zone tropicale en raison de son fort ensoleillement, ce qui nécessite une machine simple, robuste et sans entretien pour pallier le déficit de moyens des populations et aux difficultés du terrain, d'où le choix des capteurs plans. Deuxièmement, il faut privilégier le pompage de l'eau, qui est un besoin immédiat essentiel et qui ne nécessite pas de stockage. Enfin, il faut construire un convertisseur à très haut rendement, très fiable, qui transforme un faible gradient de température et dont l'industrialisation fera baisser les coûts. Il prend ainsi à contre-pied les arguments invoqués par Charbonnel et qui sont parfois repris dans la presse[721] : l'immaturité de la technique, l'inutilité d'un faible rendement et d'une faible puissance, l'irrégularité du rayonnement, les coûts. En bref, Girardier résume dix ans d'avancées pratiques et prouve avec sa machine qu'aucun argument empirique ne peut contredire son existence et ses potentiels.

En regard, les propos solaires du ministre ne font finalement qu'entériner la position de son gouvernement sur la politique publique de l'énergie de la France qui, à cette époque, se concentre sur le développement de l'électronucléaire et des approvisionnements en pétrole[722]. Le solaire n'est donc qu'anecdotique dans son agenda, car il n'est considéré ni comme une alternative, ni comme un potentiel, et encore moins comme un problème public, mais plutôt comme un champ de recherche à circonscrire au service de l'entretien d'un imaginaire énergétique futuriste, lequel doit se maintenir dans le domaine intellectuel de l'anticipation afin de soutenir les efforts pragmatiques en matière d'augmentation de la capacité nucléaire à installer, et de la sécurisation des

[721] Notamment par l'article au ton plutôt très défavorable que le journal *Le Monde* propose en bilan du congrès : REBEYROL, Yvonne, « Des applications concrètes dans les pays sous-développés », *Le Monde*, 8-9 juillet 1973, p. 6.

[722] En avril 1973, « la Commission Péon (commission consultative pour la production d'électricité d'origine nucléaire) propose d'accélérer le programme nucléaire en le portant de 8 000 MW à 13 000 MW pour la période 1973-1977 ». SIMONNOT, Philippe, *op. cit*., 1978, p 304. Voir la « chronologie nucléaire de la France » de SIMONNOT aux pp. 299-305. Ainsi que la brochure « Énergie » du MDIS qui présente sa politique de l'énergie exclusivement pétrolière-gazière et électronucléaire en 1973 (publication au 4ème trimestre 1973 à partir des statistiques nationales de 1972), Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 8. Voir également le Rapport de la Commission d'enquête parlementaire sur la situation de l'énergie en France par M. Claude COULAIS, Première session ordinaire de 1974-1975, Annexe au procès-verbal de la séance du 5 novembre 1974, notamment sur le solaire : « L'énergie solaire : énergie de demain ou de l'an 2000. », pp. 114-119, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19890567, carton 6.

approvisionnements en hydrocarbures[723]. D'ailleurs, les dépenses nationales de recherche et développement concernant l'énergie pour l'année 1974 ne créditent l'énergie solaire que de 12 MF[724] (sans distinction de filières, et il s'agit ici de la Recherche nationale qui exclut le solaire thermodynamique basse température), contre 477 MF pour l'accroissement des ressources nationales en combustibles fossiles, 1150 MF pour l'énergie nucléaire (soir 100 fois plus que pour le solaire), 143 MF pour la transformation, le transport et le stockage de l'énergie électrique et des fossiles[725].

Nonobstant, les services du MDIS assurent une veille solaire de laquelle émergent clairement Girardier et son moteur[726].

2.2 Une veille solaire au MDIS

Certains commentateurs du congrès dans la presse retiennent particulièrement l'intervention de Girardier[727]. Cette attention se retrouve dans le rapport-bilan sur les

[723] Ce que montre très bien le répertoire détaillé des archives de Jean Charbonnel établi par Alice Talpin, sous la direction de Dominique Parcollet, Sciences Po Centre d'Histoire, Mai 2016, aux pp. 21-24. En effet, le solaire en est complétement absent, notamment des sections « Discours du ministre » (celui au congrès solaire de l'UNESCO n'est pas archivé), « Déplacement du Ministre » (*idem*), « Dossiers du Ministre » (aucune mention du solaire dans les sous-dossiers « Dossiers du Ministre sur le débat sur l'énergie », « Énergie et documentation », « Questions d'énergie », « Énergie et industrie »).

[724] 12 MF de 1974 correspondent à environ 10 M€ en 2022 d'après l'INSEE.

[725] « Note d'information sur la politique française de recherche et de développement dans le domaine de l'énergie », ministère de l'Industrie et de la Recherche, p. 13, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19890567, carton 6.

[726] D'ailleurs, la brochure « Énergie » du MDIS qui présente sa politique de l'énergie exclusivement pétrolière-gazière et électronucléaire en 1973 (publication au 4ème trimestre 1973 à partir des statistiques nationales de 1972) ne réserve, dans la partie consacrée aux sources d'énergie non-conventionnelles, que quatre lignes au solaire mais qui font implicitement référence au convertisseur thermodynamique basse température Masson-Girardier (en en limitant les applications) : « le soleil n'est pas la seule source d'énergie à laquelle on peut songer. Son utilisation en masse poserait des problèmes de transport et de stockage mais il semble pouvoir satisfaire les besoins des pays désertiques, notamment pour des utilisations en petites quantités : pompage de l'eau dans les villages, besoins domestiques », non paginé, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 8.

[727] Le journal *L'Humanité*, par exemple, publie une photographie de Girardier et de son moteur exposé à l'UNESCO : « 1 kilowatt par mètre carré. C'est l'énergie que le Soleil, chaque seconde, envoie à la Terre. Mais est-elle utilisable ? », *L'Humanité*, 11 juillet 1973. C'est aussi le cas de *L'Express* de la semaine du 9-15 juillet 1973 (p.39). Voir également la dépêche de l'AFP, Actualité économique, « L'industrialisation de l'énergie solaire », 3 juillet 1973, Dossier « Presse » dans les archives du Cabinet Charbonnel., Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69. L'édition spéciale de *Systèmes solaires* du 3 octobre 2013, le magazine édité par Observ'ER (en partenariat avec l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie ADEME, le CNRS et l'UNESCO), consacré au 40ème anniversaire du congrès de l'UNESCO Le soleil au service de l'homme (1973-2013), rend hommage à la mémoire de l'intervention de Girardier et des Alexandroff (pp. 28-31).

applications de l'énergie solaire du 23 juillet 1973 que rédige le Service de la Recherche Industrielle et de l'Innovation (RII)[728] de la Direction de la Technologie, de l'Environnement Industriel et des Mines (DITEIM)[729] du MDIS à l'attention de M. le Secrétaire Général à l'Énergie[730]. Au même moment, la DITEIM reçoit un dossier de veille stratégique sur les applications de l'énergie solaire établi quelques mois plutôt.

Au printemps 1973, le Secrétariat général à la défense national (SGDN)[731] du Premier Ministre compose un dossier d'information documentaire sur la « R&D solaire

[728] Service puis Division de la Recherche Industrielle et de l'Innovation. « Jusqu'en 1978, cette division participait à l'application des mesures concernant l'aide au développement. Elle suscitait ou effectuait les études visant à accroître l'efficacité des recherches industrielles et à favoriser l'exploitation de leurs résultats. En 1979, (elle devient) la Délégation à l'Innovation et à la technologie (DIT) dont l'attache au ministère de l'Industrie était maintenue jusqu'en juillet 1981. Cette délégation était chargée de promouvoir le développement de l'innovation et du progrès technologique dans l'Industrie. Elle était notamment responsable des procédures d'aide à l'innovation dépendant du Ministère », Archives nationales, ministère ou secrétariat d'État chargé de la Recherche, notice introductive au répertoire 19920549/1-19920549/46.

[729] « La D.I.T.E.I.M. naît en 1970 à l'occasion d'une refonte générale des structures du ministère de l'Industrie. A l'ancienne Direction des mines (considérée comme une directions dite « énergétique » du ministère de l'Industrie à la différence des directions dites « industrielles sectorielles »), dépendant du Secrétariat général de l'énergie, succède la D.I.T.E.I.M., rattachée à la Direction industrielle. Cette réforme traduit administrativement l'importance du mouvement d'expansion économique commencé pendant l'été 1968 et arrêté brutalement en 1975. L'État cherche à se donner les moyens de contrôler et d'orienter efficacement l'effort industriel, comme en témoigne la substitution à la Direction des mines de la D.I.T.E.I.M., dont l'intitulé annonce l'ambition des objectifs. La D.I.T.E.I.M. a en effet pour mission, outre son rôle traditionnel d'animation de la politique minéralogique française, de "promouvoir le développement technologique de l'industrie, en particulier par la formation et le perfectionnement des hommes, par l'amélioration des liaisons entre l'enseignement, la recherche et l'industrie, et par une meilleure valorisation des résultats de la recherche dans l'industrie" *Bottin administratif*., éd. 1971, p. 285. Cependant l'ancienne dénomination de Direction des mines, quoiqu'inexacte, reste fréquemment employée. En 1975, la Direction des mines est recréée, reprenant les attributions de la D.I.T.E.I.M. Il n'est pas indifférent de noter que la courte existence de cette dernière correspond aux années 1970-1975, ère de spectaculaire développement économique, que les spécialistes ont baptisée, peut-être un peu hâtivement, "période japonaise de l'économie française" », Archives nationales, Conseil général des Mines, notice introductive au répertoire 19810586/1-19810586/13.

[730] Le Secrétariat général de l'énergie est « créé en 1963, il regroupe la direction des Mines, la direction des Carburants et la direction du Gaz et de l'Électricité. Ce secrétariat se transforme en Délégation générale à l'énergie, en 1973, après le premier choc pétrolier. Ces instances supérieures ont pour mission d'élaborer et de mettre en œuvre les mesures nécessaires à l'approvisionnement de la France en énergie, tout en orientant les activités des directions énergétiques du ministère…Créée en 1978, la direction générale de l'Énergie et de Matières premières (DGEMP) prend la succession de la délégation générale à l'Énergie ». VUILLET, Bernard, « Sources pour l'histoire de la politique énergétique, XIX^{e}-XX^{e} », *in* BELTRAN Alain, BOUNEAU Christophe, BOUVIER Yves, VARASCHIN Denis, WILLIOT Jean-Pierre (dir.), *État et énergie XIX^{e}-XX^{e} siècle*, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Paris, IGPDE, 2009, pp. 18-19. Jean Couture (1913-2006), X-Mines, est Secrétaire général à l'énergie de 1963 à 1973 https://www.whoswho.fr/decede/biographie-jean-couture_17143

[731] « Service du Premier ministre travaillant en liaison étroite avec la Présidence de la République, le Secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale (SGDSN) assiste le chef du Gouvernement dans l'exercice de ses responsabilités en matière de défense et de sécurité nationale », http://www.sgdsn.gouv.fr.

à l'étranger »[732]. Il compile principalement des articles américains sur le programme de recherche nationale solaire envisagé à partir du rapport « *Solar Energy as a National Ressource* » de la NSF/NASA[733] et sur la technologie photovoltaïque (l'objectif est d'en apprécier, entre autres, les possibilités de transfert à des applications terrestres), mais une note annonce que l'Institut d'ingénierie du ministère de la bonification et de l'hydraulique rurale de l'URSS a mis au point pour les régions arides « un hydro-élévateur solaire {…} à moteur pulsif » fonctionnant grâce à « un liquide bouillant à basse température »[734]. La conversion thermodynamique à basse température de la chaleur solaire a donc sa place dans ce rapport d'intelligence technologique étrangère. Quelques mois plus tard, le RII de la DITEIM assiste au congrès de l'UNESCO et s'entretient avec les scientifiques présents. Le rapport du 23 juillet 1973 résume les informations recueillies sur l'énergie solaire « et pose le problème de la politique industrielle dans ce domaine »[735]. Or, ce sont les dispositifs de petites puissances, photovoltaïques (première partie du rapport)[736], et de

[732] Ce dossier est transmis par le Colonel Rouge, Chef du CERST du SGDN, au ministre du Développement Industriel et Scientifique par le biais du RII de la DITEIM en octobre 1973. Dossier avec bordereau d'envoi n°3462/SGDN/CERST/E.7, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

[733] NSF/NASA Solar Energy Panel, « Solar Energy as a National Energy Ressource », December 1972. Ce rapport présente, selon la NSF et la NASA, les trois filières solaires qui sont à privilégier : le chauffage des locaux, la production de carburant artificiel et la génération d'électricité (photovoltaïque et centrale solaire thermodynamique à concentration (hautes températures-grande puissance)). La conversion thermodynamique à basse température est donc écartée. Ce rapport est aussi commenté dans LUSTIG, Harry, « L'énergie solaire : état de la technique et technique des États », *rapport sur les activités déployées dans l'ensemble du monde et sur les possibilités de coopération internationale*, UNESCO, 15 février 1974, pp. 74-76.

[734] Note sans titre du dossier transmis par le Colonel Rouge, Chef du CERST du SGDN, au ministre du Développement Industriel et Scientifique par le biais du RII de la DITEIM en octobre 1973. Dossier avec bordereau d'envoi n°3462/SGDN/CERST/E.7, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

[735] DITEIM RII N°46/3, « Note à l'attention de Monsieur le Secrétaire général à l'énergie. L'énergie solaire », MDIS, 24 juillet 1973, p. 1, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

[736] Le rapport dresse un état des lieux très complet de la situation technique et commerciale de la filière photovoltaïque dans le monde en 1973. Il préconise, dans le cas de la France, de soutenir un programme de développement du photovoltaïque terrestre en privilégiant d'abord l'industrialisation d'un unique modèle de panneau (un module à assembler en série) de petite puissance, fabriqué en monocristaux de silicium. Il propose de construire ce programme avec deux entreprises françaises déjà existantes dans ce secteur, la SAT et la RTC. La Société anonyme de télécommunication (SAT) est une filiale du CNES, elle travaille à transférer la technologie photovoltaïque spatiale à des applications terrestres. La Radiotechnique-Compelec (RTC), filiale du groupe Philips, souhaite également commercialiser des cellules terrestres notamment pour balises et relais (TV, radio, etc.). Elle bénéficie des travaux de recherche du Laboratoire d'électronique et de physique appliquée (LEP) de Philips France. La seconde étape consisterait à « créer une nouvelle petite ou moyenne entreprise qui, à partir des modules produits par ces deux sociétés, fabriquerait des ensembles complets et intégrés d'installations solaires. Il serait aussi nécessaire d'utiliser un réseau commercial, ou plusieurs, des sociétés déjà bien implantées dans les pays de l'Afrique et de l'Asie pour assurer la prospection et la vente de ces dispositifs solaires ». *Ibid*., pp. 2-5. Comme nous le verrons, cette préconisation sera actée avec la création de Photowatt en 1979 par la SAFT et la CIPEL, deux filiales de la

« conversion en énergie mécanique en utilisant le cycle thermodynamique à faible différence de température » (deuxième partie du rapport)[737], qui retiennent l'attention de la DITEIM car « il semble qu'un marché est en train de s'ouvrir »[738], notamment pour « l'alimentation en eau par pompage de petits villages dans les pays en voie de développement (plusieurs installations fonctionnent déjà en Afrique) »[739], là où « l'approvisionnement en carburant et en pièces détachées dans ces régions est souvent compliqué et coûteux. De plus, les groupes diésel demandent un entretien régulier et une présence constante de techniciens. {...} A titre d'exemple, d'après certaines informations en Algérie, sur 6000 moteurs diésel 3 à 4000 se trouveraient hors service par manque de pièces de rechange »[740]. La seconde partie du rapport présente le dispositif solaire de Girardier et les fabrications des Etablissements Pierre Mengin. L'évaluation est très positive :

> « Ces moteurs qui sont maintenant tout à fait opérationnels développent une puissance allant jusqu'à 10 CV. Ils sont actuellement utilisés en petit nombre pour le pompage de l'eau dans les pays africains ayant un bon ensoleillement : Sénégal, Niger, Mauritanie, Haute Volta, …{…} Ces installations qui ont, pour l'instant, le caractère de stations pilotes fonctionnent bien et rendent déjà un service appréciable à la population et au bétail de ces régions en les alimentant en eau {…} Ces installations ont montré une excellente fiabilité. Les premiers ensembles, qui sont en service depuis plusieurs années, n'ont subi aucune révision {…} les prix pourraient diminuer dans le cas d'une fabrication en série. »[741]

Mais ces termes ne s'arrêtent pas là. En effet, le rapport mentionne les autres services que ce moteur peut rendre : générer de l'électricité et convertir la chaleur géothermique à bas potentiel. Ces deux fonctionnalités ouvrent d'immenses perspectives. La conversion géothermique en électricité permet d'envisager des usages hors de la zone tropicale, « afin de fournir de l'électricité à bon marché aux stations de pompage du pétrole en mer et sur terre », par exemple, où à d'autres installations de transformations industrielles[742]. Enfin, le rapport stipule que les Etablissements Pierre Mengin sont bien implantés en Afrique francophone et qu'ils souhaitent étendre leur activité solaire à

CGE (auxquelles s'ajoutent le partenariat de Elf et son réseau commercial en Afrique en 1980, puis de la RTC en 1981). Nous verrons également que cette action publique se fera pour partie au détriment de la SOFRETES, la CGE entrant à cette époque dans son capital (*cf. infra* chapitre 5).

[737] *Ibid*.
[738] *Ibid*.
[739] *Ibid.*
[740] *Ibid*., p. 3.
[741] *Ibid*., p. 5-6.
[742] *Ibid*.

l'Éthiopie et aux pays limitrophes, mais, que, malheureusement, il leur manque les capitaux nécessaires pour accélérer la fabrication en petite série de leur moteur : « la Société Mengin a été aidée par l'ANVAR et la SOFINNOVA mais il n'est pas certain que cet apport suffise à assurer une véritable industrialisation de cette technique dont les possibilités sont maintenant évidentes {c'est nous qui soulignons}. »[743] L'intérêt général pour ce convertisseur semble bien se confirmer puisque « la société américaine *THERMO ELECTRON* de Boston et l'Université Mc Gill de Montréal chercheraient à acheter ce procédé en vue de prendre une part du marché africain »[744]. Le RII de la DITEIM conclut qu'une « stratégie industrielle offensive » permettrait à la France de prendre une place de leader dans ce « créneau mondial », et que par la même occasion, elle pourrait tirer profit de l'image très positive véhiculée par cette technique solaire dé-carbonée (pas de pollution ni de consommation d'hydrocarbures) au profit des pays pauvres. Autrement dit, le convertisseur solaire d'un faible gradient de température, outre la certitude qu'il fonctionne, possède « une certaine séduction politique » dans le contexte de l'époque[745]. Nous le voyons, tout comme la MIFERMA, le MDIS semble voir dans le moteur solaire Masson-Girardier un potentiel outil de prestige au service du rayonnement de la France. Le rapport s'achève sur des suggestions d'ordre pratique, c'est-à-dire sur les actions publiques à mettre en place qui apporteraient une réponse au « problème de la politique industrielle dans ce domaine »[746].

Premièrement, il convient, selon le rapport, de demander au CEA de « coopérer à cette opération », notamment le CENG de Grenoble qui travaille au stockage de l'énergie sous forme de chaleur[747]. Le rôle joué par le CEA dans l'action publique solaire à l'étranger *via* son implication directe dans les affaires de la SOFRETES sera développé tout au long de notre étude. Cependant, nous pouvons d'ores et déjà préciser qu'ici la suggestion du RII de la DITEIM de faire se rapprocher la SOFRETES et le CEA répond prioritairement à la nouvelle mission de diversification des activités du CEA mise en place en 1970 par son nouvel Administrateur Général, André Giraud (1924-1997,

[743] *Ibid*.
[744] *Ibid*. Nous avons déjà mentionné la société *THERMO ELECTRON*, et nous y reviendrons puisqu'elle sera un partenaire de la SOFRETES dans une opération solaire franco-américaine au Sénégal à la fin des années 1970.
[745] *Ibid*., p. 7.
[746] *Ibid*., p. 1.
[747] *Ibid*., p. 7.

X 44)[748], qui consiste à établir des coopérations industrielles non nucléaires : « il s'agit de valoriser les technologies de pointe qu'il a développées pour ses propres besoins, en en recherchant des applications à d'autres secteurs industriels. »[749] Nous verrons cependant que d'autres objectifs, vraisemblablement liés aux relations internationales qui se nouent autour de l'exploitation de l'uranium, semblent émerger avec le développement de l'activité internationale de la SOFRETES (*cf. infra* chapitre 5).

Deuxièmement, le MDIS doit apporter une aide aux Etablissements Pierre Mengin « pour lui permettre de développer et d'industrialiser son moteur solaire »[750].

Troisièmement, il faut rechercher d'autres partenaires financiers « (Banque Mondiale, SOFINNOVA, etc.) afin d'aider la réalisation du programme qu'on pourrait fixer »[751].

Enfin, le réseau commercial doit être renforcé et étendu à l'Asie, « la Société Creusot Loire qui entretient des bonnes relations avec la société Mengin pourrait aider celle-ci dans la prospection et la vente en Iran et en Irak. Il semble que cet accord commercial soit possible à réaliser entre ces deux sociétés »[752]. Cette dernière préconisation est intéressante. En plus d'envisager la filialisation de la PME par un grand groupe (qui est en contact avec la branche traditionnelle Mengin), elle lie le solaire thermodynamique basse température aux acteurs du nucléaire civil dans les relations internationales, notamment le CEA, à une époque où le marché concurrentiel des ventes de technologies et de matières nucléaires est en plein développement, et que la France importe son uranium[753]. Or Creusot-Loire est un leader sectoriel de l'industrie électronucléaire, puisqu'elle participe à la construction des réacteurs du programme

[748] Sur André Giraud, lire « Un technocrate charismatique : André Giraud » dans DEVAUX, Jean-Baptiste, *op. cit*., 2021, pp. 283-290.
[749] NOLLET, Patrick, « La coopération industrielle non nucléaire du CEA », *Annales des Mines*, mai 1973, p. 25. Nous développons cet aspect au chapitre 5.
[750] *Ibid*., p. 8.
[751] *Ibid*.
[752] *Ibid*.
[753] Le politiste Florent POUPONNEAU montre comment le ministère de l'Industrie et le CEA, jusqu'en 1976, sans trop tenir compte de la non-prolifération, cherche à favoriser les exportations nucléaires françaises (technologies, savoir-faire, matière). POUPONNEAU, Florent, « Les changements de la politique française d'exportations nucléaires (1974-1976) : un triple double jeu », *Critique internationale*, n° 58, 2013/1, pp. 95-116. Voir également POUPONNEAU, Florent, *La politique française de non- prolifération nucléaire. De la division du travail diplomatique*, Bruxelles, P.I.E. Peter Lang, 2015. Sur les importations d'uranium africain voir par exemple HECHT, Gabrielle, *op. cit*., 2016. Nous reviendrons au cours des prochains chapitres sur les relations qui vont s'établir entre l'activité extractive du CEA au Niger par exemple et ses activités solaires au sein de la SOFRETES.

national au sein de Framatome[754]. L'Iran et l'Irak sont des clients pour les réacteurs français à l'export (réacteurs de recherche, réacteurs électronucléaires, savoir-faire, voire usines de retraitement), et pour son combustible uranium dans le contexte de la consolidation des alliances et des aires d'influences pendant la Guerre froide, ainsi que de la sécurisation des approvisionnements en pétrole du Moyen-Orient[755].

Cette suggestion de rapprochement industriel entre des acteurs du nucléaire (civil et militaire, du cycle du combustible et de la fabrication des réacteurs) autour d'un petit moteur solaire à l'export serait-elle justement motivée par sa capacité de séduction politique ? Autrement dit, serait-ce là une nouvelle preuve que ce convertisseur solaire est d'abord (seulement ?) perçu (et ce dès le départ ?) comme un instrument de prestige au service du rayonnement de la France, et, qu'à ce titre, il pourrait se voir instrumentalisé dans des programmes de coopération avec des partenaires stratégiques du Golfe (militarisation des régimes, endiguement du communisme) servant aussi des intérêts

[754] Création de Framatome en 1958 par le groupe Schneider. Framatome obtient l'exploitation de la licence PWR de l'américain Westinghouse pour quinze ans. Cette filière PWR est celle choisie par le Gouvernement en 1969 (année de création de Creusot-Loire) pour l'équipement du programme électronucléaire national. Lire DEBEIR Jean-Claude, DELEAGE Jean-Paul, HEMERY Daniel, *op. cit*., chapitre 9 « Un nucléaire très cartésien », 2013, pp. 367-417 ; LUCAS, N.J.D., *op. cit*., 1979 ; BEAUD, Claude, « Le drame de Creusot-Loire : échec industriel ou fiasco politico- financier ? », *Entreprises et histoire*, 2001/1, n° 27, pp. 7-22 ; BOULIN Philippe *et al.*, « Les grands naufrages des années 1974 à 1984 », *Entreprises et histoire* 2001/1, n° 27, pp. 104-112.

[755] L'Iran du Shah est au Moyen-Orient un allié du bloc de l'Ouest dans la Guerre froide (dispositif d'endiguement du communisme). Il est le principal relai et appui des USA et d'Israël dans la région (coopération militaire, achat d'armement, et approvisionnement en pétrole). Une coopération nucléaire existe depuis les années 1950 avec les États-Unis et la France (formation de la main d'œuvre et fourniture d'un réacteur atomique de recherche). L'Iran investit dans l'usine française d'enrichissement d'uranium Eurodif à Pierrelatte, dont le chantier débute en 1974, afin de bénéficier de combustible pour son programme électronucléaire national (il commande également deux centrales à Framatome et accorde un prêt d'un milliard de dollars au CEA) et de consolider les termes de l'approvisionnement français en pétrole iranien. La question nucléaire est au cœur des relations franco-iraniennes dans les années 1970. Nous y reviendrons lorsque nous étudierons la commande solaire négociée entre l'IRAN et la SOFRETES en 1978. L'Irak, quant à lui, achète en 1975 un réacteur nucléaire de recherche français. GUISNEL, Jean, « La France, premier proliférateur nucléaire », *in* FALIGOT Roger et GUISNEL Jean (dir.), *Histoire secrète de la Vème République*, La Découverte, 2007, pp. 246-250. Le changement dans la politique de vente de matériel nucléaire à l'étranger orchestré par la Présidence de la République à partir de 1976 va d'ailleurs conduire « à la renégociation de la coopération amorcée avec l'Irak et l'Iran », POUPONNEAU, Florent, *op. cit*., 2013, p. 113. Sur les relations franco-iraniennes et le nucléaire, lire par exemple : GUISNEL, Jean, *op. cit*., 2007, pp. 250-252 ; LUCAS, N.J.D., *op. cit*., 1979 ; MOSSAVAR-RAHMANI, Bijan, *Energy policy in Iran*, Pergamon Press, 1981 ; BARZIN, Nader, « L'Économie Politique de Développement de l'Énergie Nucléaire en Iran (1957- 2004) », thèse de doctorat, sous la direction de KHOSROKHAVAR, Farhad, École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS), 2004 ; COHEN, Samy, *La monarchie nucléaire, les coulisses de la politique étrangère sous la V^e^ République*, Paris, Hachette, 1986 ; COHEN Samy, SMOUTS Marie-Claude (dir.), *La politique extérieure de Valéry Giscard d'Estaing*, Paris, Presses de la fondation nationale des sciences politiques, 1985 ; ROUSSOT, Pierre, « Marianne, Aryamehr et l'ayatollah : la diplomatie française en Iran de 1969 à 1979 », Mémoire de quatrième année de l'IEP de Strasbourg, sous la direction de CARREZ, Maurice, Juin 2016.

industriels pétroliers et nucléaires ? Pour les gouvernements acheteurs, une installation solaire médiatique de prestige, destinée à leurs populations les plus démunies, leur permettrait-elle d'entretenir les relations de domination intérieures dans une opération de politique politicienne, par exemple, tout en bénéficiant (à l'international et à l'échelle nationale) d'une image positive assise sur les potentiels décarbonés, décentralisés, autonomistes, et de justice sociale classiquement véhiculés par le solaire ? Pour le gouvernement vendeur, une opération solaire de démonstration en Iran ou en Irak lui assure-t-elle, sous couvert de coopération scientifique et technique à forte charge développementaliste (l'argument du transfert de technologie et de l'industrialisation induite vont tout particulièrement dans ce sens), des dividendes de bonne réputation et d'excellence technique, dans une politique de puissance, comme nous l'avons énoncé dans nos hypothèses initiales ? Finalement, les deux parties de l'opération solaire contracteraient donc une entente technopolitique. Des questions qui se posent avec acuité maintenant, et sur lesquelles nous reviendrons (*cf. infra* chapitre 3).

Il semble que les propositions d'actions publiques solaires de la DITEIM pour soutenir les Etablissements Pierre Mengin dans leur développement industriel illustrent bien ce que nous avons proposé de nommer en introduction un *soft power* solaire en construction.

A l'automne 1973, la proposition de la DITEIM obtient le soutien du Secrétaire Général à l'Énergie, puis elle est transmise au ministre du Développement Industriel et Scientifique dans une note à son attention[756]. Mais avant d'en étudier les termes, nous devons porter notre attention sur les Etablissements Pierre Mengin qui créent au même moment la SOFRETES.

3. La naissance de la SOFRETES : quels relais au MDIS ?

Le 10 octobre 1973, comme annoncé au Conseil d'administration de juin, les Établissements Pierre Mengin créent la SOFRETES, leur filiale d'ingénierie solaire à l'export, avec l'aide d'un organisme public, l'ANVAR, qui soutient les améliorations apportées au MGS 2-1000 depuis 1972, et d'une société de capital-risque parapublique,

[756] « Note à l'attention de Monsieur le Ministre du Développement Industriel et Scientifique », DITEIM RII N° 60.2, 17 décembre 1973, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

la SOFINNOVA (*cf. supra* chapitre 1). Un mois plus tard, la SOFRETES part pour une mission commerciale au Mexique sur invitation d'un membre du gouvernement de ce pays, alors qu'au MDIS l'orientation de l'action publique solaire proposée par la DITEIM, juste après le congrès de l'UNESCO, est à l'étude.

Comment ces trois dynamiques se recoupent-elles ? Leur analyse nous permet-elle d'identifier une action publique solaire au MDIS en train de s'organiser en réponse à l'activité de la SOFRETES ? Nous tâcherons dans un premier temps de comprendre comment la SOFRETES s'intègre dans les institutions, les instruments et les idées qui animent l'action publique d'aide à l'innovation en France et aux PME, en questionnant la présence de l'ANVAR et de la SOFINNOVA dans le capital de la société au début des années 1970. Puis nous aborderons la position du MDIS sur le solaire et les affaires de la SOFRETES, notamment à l'occasion de l'ouverture du dossier mexicain.

3.1 La création de la SOFRETES : une PME dans l'action publique d'aide à l'innovation en France en 1973

Pour les Etablissements Pierre Mengin, sa maison mère, la SOFRETES a pour objet de concevoir les dispositifs techniques solaires et d'en assurer la commercialisation tout en facturant leur fabrication à l'usine Mengin : *«* la société a pour objet l'étude et le développement par toutes actions des applications des procédés de transformations de l'énergie thermique, et en particulier l'énergie solaire en énergie mécanique ou en électricité »[757]. Les objectifs industriels et commerciaux sont ici très clairement énoncés : les convertisseurs SOFRETES cherchent à transformer les gradients naturels de températures (géothermie ou solaire par exemple) ou industriels (récupération de la chaleur dissipée). La filiale exploite le brevet de Masson-Girardier déposé en 1965 ainsi que les deux brevets industriels déposés par les Etablissements Pierre Mengin en juin 1973 : « Système énergétique comportant un moteur actionné par l'expansion d'un fluide gazeux liquéfiable » et « Moteur à piston utilisant un fluide gazeux liquéfiable »[758]. Le

[757] Statuts de la société SOFRETES, publiés dans *L'éclaireur du Gâtinais* en octobre 1973, Archives privées de Marc Jacquet-Pierroulet.
[758] Brevet de Jean-Pierre GIRARDIER, « Système énergétique comportant un moteur actionné par l'expansion d'un fluide gazeux liquéfiable », 14 juin 1973, n°7321679 ; Brevet de Jean-Pierre GIRARDIER et Philippe PARQUET, « Moteur à piston utilisant un fluide gazeux liquéfiable », 19 juin 1973, n°7322276.

capital initial de la PME est de 800 000 francs (779 717 euros en 2022). Il se répartit entre les Etablissements Pierre Mengin (33,97 %), son PDG Girardier (8,48 %), les héritiers Masson (7,09 %), des petits porteurs (2,28 %), l'organisme public de valorisation de la recherche nationale, l'ANVAR (24,49 %), et une récente société de capital-risque parapublique, la SOFINNOVA (23,69 %), dirigée par Christian Marbach (1937-)[759], polytechnicien et ingénieur des Mines, Directeur adjoint de la Direction des Études et Recherches (ou Programmes) au MDIS. L'ANVAR est représentée par Bérard (son Directeur) et Deflandre (CNRS), la SOFINNOVA par Marbach et son adjoint Allerat[760].

La SOFRETES est donc créée avec le soutien des pouvoirs publics dans le prolongement des expérimentations du professeur Masson, de Girardier et des prototypes Mengin, qui, comme nous l'avons montré au chapitre précédent, bénéficièrent tous, à un moment particulier, des aides de l'État. Pour rappel, en 1968, la DGRST accorde une aide au développement aux Etablissements Pierre Mengin pour un programme de trois ans puis, en 1972, l'ANVAR soutient les améliorations apportées au MGS 2-1000 (collaboration avec le laboratoire HEF). Aussi, lors de sa création en 1973, la SOFRETES est, dans une certaine continuité, liée aux institutions et aux mécanismes de l'aide à la recherche et au développement industriel, qui, au début des années 1970, tendent, sous l'impulsion d'agents du MDIS, à mieux coopérer, dans des tentatives de politique d'innovation. A cette époque (jusqu'en 1978-1979[761]), « trois instances administratives s'occupent d'innovation et de recherche industrielle »[762] : la DGRST qui octroie l'aide au

[759] Dans sa thèse, Jean-Baptiste Devaux propose une analyse sociologique des rôles et des postures des deux hauts-fonctionnaires du corps des Mines qui élaborent la politique d'innovation de la France de 1971 à 1978 : Christian Marbach (1935-) et Thierry Gaudin (1940-). DEVAUX, Jean-Baptiste, « L'Etat technologique - Rationalisations et institutionnalisation d'un territoire bureaucratique : l'innovation (1963-2003) », thèse de doctorat en science politique, sous la direction de TAIEB Emmanuel, KALUSZYNSKI Martine, Université de Lyon 2, 2021, p. 221.

[760] Dossier DGRST de demande d'aide au développement « Programme de développement des pompes solaires Sofretes », 1975, Dossier SOFRETES (1972-1979), Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

[761] L'arrivée d'André Giraud (1925-1997) au ministère de l'industrie en 1978 va s'accompagner d'une réorganisation administrative (nous avons mentionné plus avant la création de la DGEMP par exemple) qui va impacter les institutions de l'aide à l'innovation notamment par la réforme de l'ANVAR qui sera justement menée par Christian Marbach (l'aide au développement devient aide à l'innovation et est gérée par la direction du développement industriel de l'ANVAR par décret n° 79-616 du 13 juillet 1979 qui récupère également l'aide au pré-développement de la DITEIM, et l'ANVAR organise une régionalisation de ses activités). Pour une présentation et une analyse de la réforme de l'ANVAR, voir ZETING, Liu, *Politiques d'innovation et PME en France. Une histoire de liens faibles*, L'Harmattan, 2013, notamment pp. 85-93.

[762] Archives nationales, ministère ou secrétariat d'État chargé de la Recherche, notice introductive au répertoire 19920549/1-19920549/46, p. 7.

développement, l'ANVAR qui aide à valoriser (sous la forme de prise de brevets par exemple) les inventions des laboratoires publics et des entreprises privées (en essayant d'intégrer les PME) dans l'industrie[763], et le MDIS où la DITEIM accorde l'aide au pré-développement. Il existe deux procédures d'aide à l'innovation qui interviennent après le stade du développement pour soutenir les stades industriel et commercial. Il s'agit d'une aide à l'industrialisation sous la forme des Crédits d'Action de Politique Industrielle (CAPI) dont la procédure est instruite par la Direction des Industries Métallurgiques, Mécaniques et Electriques (DIMME), et des Lettres d'agrément par lesquelles l'État accorde sa garantie financière par le biais de la Caisse Nationale des Marchés de l'État (CNME), la DITEIM intervenant dans l'instruction des dossiers[764]. Enfin, l'Institut du Développement Industriel (IDI) peut également participer au lancement industriel et commercial d'une nouvelle production[765]. Marbach confirme cette organisation des structures du financement de l'innovation en France en 1973 qui interviennent aux quatre étapes du processus (« le démarrage, le lancement, l'industrialisation, la croissance »[766]) : « à l'une des extrémités l'action de l'ANVAR, les procédures d'aide au développement facilitent la naissance de l'invention et la mise au point des prototypes ; à l'autre extrémité, l'IDI, le Crédit National, les établissements financiers spécialisés et les

[763] MARBACH Christian, LINDE Pierre, *L'innovation au pouvoir*, Fayard, 1973, pp. 333-335.
[764] *Ibid*., pp. 4-8.
[765] ZETING, Liu, *Politique d'innovation et PME en France. Une histoire de liens faibles*, L'Harmattan, 2013, p. 293. L'IDI est créée en 1970, l'État est actionnaire à 48 % aux côtés d'établissements bancaires et financiers. « L'IDI a pour vocation essentielle d'intervenir sous forme de fonds propres, c'est-à-dire en prenant des participations ou en souscrivant à des émissions d'obligations convertibles. Il s'agit d'un organisme original qui, tout en étant doté d'une mission d'intérêt général — le développement de l'industrie française — s'apparente aux banques d'affaires par la nature de son activité et par les techniques qu'il met en œuvre », BRISAC, Pierre, « L'Institut de Développement Industriel (IDI), partenaire des entrepreneurs privés », *in* KUMPS Anne-Marie, GRAND-JEAN Paul, WITTERWULGHE (dir.), *Entreprises en difficulté et initiative* publique, Presses de l'Université Saint-Louis, Bruxelles, 1978, p. 235. Nous reviendrons sur la présence de l'IDI dans le système d'acteurs qui, à la fin des années 1970, soutient le développement de Photowatt tout en proposant de restructurer la SOFRETES au moment de sa disparition sous la forme d'une nouvelle société de conseil (*cf. infra* chapitres 5 et 6). L'IDI est totalement privatisée en 1987 (https://www.lemonde.fr/archives/article/1988/10/05/apres-son-rachat-par-ses-salaries-l-institut-de-developpement-industriel-a-entierement-rembourse-sa dette_4091574_1819218.html), elle se présente aujourd'hui comme une société de capital investissement (https://www.idi.fr/fr).
[766] MARBACH Christian, LINDE Pierre, *op. cit*., 1973, p. 391. Cependant, Devaux écrit au sujet de Marbach et Gaudin que « les ingénieurs en charge d'élaborer une politique d'innovation s'opposent donc à l'approche linéaire promue par l'administration de la recherche (la DGRST) qui consiste à séquencer le processus technologique entre une première phase de recherche à laquelle succède le développement puis la commercialisation » (DEVAUX, Jean-Baptiste, *op. cit*., 2021, p. 223). Nonobstant, ce n'est pas ce que Marbach écrit dans son livre en 1973. A cette époque, ses propos s'insèrent dans la vision linéaire du processus d'innovation. Sur ce modèle lire : GODIN, Benoît, « The linear model of innovation : The historical construction of an analytical framework », *Science, Technology and Human Values*, 2006, vol. 31, n°6, pp. 639-667.

établissements bancaires soutiennent la croissance et la maturité. Le financement des phases intermédiaires était en revanche assuré de façon plus aléatoire, et vient d'être en partie complété par la SOFINNOVA. »[767]. Au moment de sa création, la SOFRETES ne bénéficie d'aucune aide spécifique à l'innovation en dehors de la présence de l'ANVAR et la SOFINNOVA dans son capital initial. C'est plus tard qu'elle demandera l'aide au développement de la DGRST (en 1975*, cf. infra* chapitre 4) et, comme nous venons de le montrer, la DITEIM du MDIS réfléchit à un possible montage industriel avec un leader sectoriel (Creusot-Loire) et le CEA puisque son rapport mentionne bien que les aides de l'ANVAR et de la SOFINNOVA ne seront sans doute pas suffisantes.

Figure 8 L'intervention financière des organismes publics dans diverses étapes de l'innovation[32]

Les étapes	Conception	Recherche	Prospection Evaluation Protection	Pré-développement	Développement	Commercialisation	Lancement industriel et commercial
De l'idée au produit	L'idée	Le résultat de recherche	Le traitement du résultat	L'étude de faisabilité	Le prototype industriel	La diffusion et la recherche (2) d'exploitation	La fabrication et la vente du produit
L'intervention financière au profit de tiers			Anvar	Anvar	Anvar (1)	Anvar	
de l'Anvar et de divers organismes publics		DGRST (AC)(3) CNRS CNES CNEXO DIRME etc.		DGRST (AC) MDIS (5) et Centres techniques professionnels, etc.		DGRST (AD)(4)	IDI (6) CNME (7) (lettre d'agrément) etc.

(1) Pour opération de faible ampleur financière (inférieure è 500 000 F ou 76 224,51 €).
(2) Négociation d'un brevet, d'une licence, etc.
(3) Actions concertées.
(4) Aides au développement.
(5) Ministère du Développement Industriel et Scientifique.
(6) C'est seulement en principe que l'Institut de Développement Industriel n'intervient que dans une phase de développement industriel et commercial.
(7) Caisse Nationale des Marchés de l'Etat.

[32] Source : Rapport d'activité de l'Anvar 1970

Tableau 2 : l'intervention financière des organismes publics dans divers étapes de l'innovation. ZETING, Liu, « L'évolution des politiques du soutien à l'innovation dans les PME en France. Le cas de l'ANVAR », thèse de doctorat en sciences économiques, sous la direction de SCHMEDER, Geneviève, Cnam, 2011, p. 60.

[767] *Ibid*., p. 392. Voilà ce que Marbach écrit dans le Livre Blanc de l'innovation en 1971 au sujet du financement de la phase intermédiaire entre l'invention et le marché dans laquelle la SOFINNOVA souhaite intervenir : « en France, les institutions et les procédures existantes n'apportent que des solutions partielles au problème du financement. Les capitaux privés montrent peu d'empressement pour investir dans des activités nouvelles. Les Sociétés de développement régional ne jouent qu'incomplètement le rôle des S.B.I.C. américaines. Les sociétés de financement, filiales de groupes bancaires, commencent seulement à mener une politique de souscription (SOPROMEC, BANEXI, VALORIND, etc.). Quant aux sociétés de « capital-risque », elles sont encore peu nombreuses (EED, HERSA-FINANCE, etc.). La récente création de l'Institut de Développement Industriel (I.D.I.) apporte, bien entendu, des possibilités nouvelles. Cependant, la part de ses ressources que le nouvel organisme pourra consacrer au financement de l'innovation restera réduite, étant donné la diversité de ses activités. » *Annales des Mines*, février 1972, p. 75.

Bérard[768], le Directeur de l'ANVAR[769] en 1972, présente le soutien apporté à l'amélioration technique du moteur solaire Masson-Girardier comme un exemple d'engagement de l'organisme public en faveur d'une coopération avec le tiers-monde, dans une logique développementaliste qui prône le transfert de technologies (brevets et licences d'exploitation) comme levier de la croissance, l'innovation étant son principal moteur[770]. Dans le cas de la pompe solaire Masson-Girardier, Bérard la mentionne pour

[768] Jean-Pierre Bérard intègre le Conseil d'État après avoir été administrateur civil de la France d'outre-mer. https://entrepreneurs-pour-la-france.org/Edito/La-BPI-un-nouveau-Titanic ; ZETING, Liu, *op. cit*., 2013, p. 40.

[769] L'ANVAR est « un Établissement Public à Caractère Industriel et Commercial (EPIC) doté de l'autonomie financière… Créée par la loi n°67-7 du 3 janvier 1967 pour « accélérer le progrès technique et réduire le temps séparant l'exploitation des technologies et l'expansion économique ». La tutelle de l'ANVAR appartient au ministre de l'Éducation nationale mais est déléguée au CNRS. La nouvelle agence est initialement fondée par la réunion de deux services internes du CNRS : le service de brevets… et le service des relations industrielles. » ZETING, Liu, *op., cit*., 2013, pp. 39-40. Lire également N. V., « L'agence nationale pour la valorisation de la recherche détient un portefeuille de près de trois mille brevets », *Le Monde*, 26 mai 1972 ; « M. Ortoli a mené une politique scientifique réaliste », *Le Monde*, 8 juillet 1972 ; BERARD, Jean-Pierre, « Nécessité d'une véritable coopération », *Le Monde*, 22 novembre 1972 ; « L'Agence pour la valorisation de la recherche va s'intéresser plus spécialement aux petites et moyennes entreprises », *Le Monde*, 1 juin 1973 ; « L'ANVAR et l'énergie solaire », *2000 Revue de l'aménagement du territoire*, DATAR, n°27, 1974, p. 38 ; GIROLAMO Ramunni, DEFLANDRE Jean, « Faire face à la crise du pétrole : l'énergie solaire au CNRS », *La revue pour l'histoire du CNRS* [En ligne], 4 | 2001 ; entretien avec Christian MARBACH, 12 octobre 2018.

[770] BERARD, Jean-Pierre, « Nécessité d'une véritable coopération », *Le Monde*, 22 novembre 1972. Nous pouvons y relever deux remarques d'ordre général, qui peuvent intéresser notre enquête. Bérard mentionne le rôle de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI) pour permettre aux pays du tiers-monde l'accès « aux sources d'informations technologiques dont ils peuvent avoir besoin » et le cas du Mexique qui se dote d'une institution nationale ayant le même objectif. En effet, les pompes SOFRETES vont vite devenir connues de l'ONUDI qui mènera plusieurs missions d'évaluation en Afrique sahélienne au cours des années 1970 dans lesquelles elles seront intégrées. L'ONUDI financera d'ailleurs une pompe SOFRETES pour l'IPM de Dakar afin d'étudier les possibilités d'un programme sénégalais de transfert de technologie solaire qui inclura la création d'une filiale sénégalaise de la SOFRETES (la SINAES sur laquelle nous reviendrons). Voici les documents en notre possession qui attestent des liens entre la SOFRETES et l'ONUDI : ONUDI, « Assistance pour la création d'une entreprise fabriquant des appareils utilisant l'énergie solaire », RP/SEN/75/001, Sénégal, Rapport final, Établi pour le Gouvernement sénégalais par l'ONUDI, d'après les travaux de M. J. CESBRON, 5 février 1976 ; ONUDI, « Report on the activities of the Brace Research Institute and their relation to development and technology transfert », 16 septembre 1976, pp. 7-9, 15-16, 22 ; ONUDI, « The development of solar energy utilisation in developing countries », 17 octobre 1976, p. 100 ; ONUDI, « International forum on appropriate industrial technology » New Dehli, 20-30 November 1978, Working group N°11, 12 octobre 1978, pp. 82-85, 167-171 ; UNIDO, *Information sources on non-conventional sources of energy*, UNIDO Guides to Information Sources N°30, 1978, p. 12. ; ONUDI, « Programme de recherche relatif aux applications de l'énergie solaire au Sénégal, au Mali et au Niger », RP/RAF/77/014, Rapport final, 4 janvier 1978, pp. 7-11. ; ONUDI, « Rapport de mission en Haute-Volta : Ouagadougou, 19 au 24 mars 1979, Développement et promotion de sources d'énergie non conventionnelles », 16 mai 1979, pp. 13, 18, 21-24. ; DURAND Jean-Paul, CLEMOT Max, GIRARDIER Jean-Pierre, VERGNET Marc, « Utilisation de l'énergie solaire dans le développement des zones arides : pompes à eau solaires » ; ONUDI, Techniques d'utilisation de l'énergie solaire, Série « Mise au point et transfert des techniques », N°5, 1980, pp. 64-66 ; ONUDI, « Étude de faisabilité d'une unité industrielle de production de matériel solaire », Rapport final, Gouvernement de la République du Mali, Décembre 1984, pp. 19-20, 22. En ce qui concerne le Mexique, le Conseil national pour la science et la technologie (CONACYT) du Mexique est un acteur du programme solaire mexicain dans lequel intervient la SOFRETES (*cf. infra* chapitre 3).

illustrer le fait que le transfert de technologie entre les pays industrialisés et ceux du tiers-monde peut également se faire dans le sens inverse et que l'ANVAR l'encourage. Le ton est volontiers promotionnel et Bérard ne détaille pas la réalité originale du partenariat IPM de Dakar-Etablissements Pierre Mengin qui est, en fait, à l'origine du projet industriel, faisant ainsi la part belle au rôle supposé de l'ANVAR, alors que l'initiative et l'essentiel des efforts reviennent à un laboratoire de recherche sénégalais et à une PMI française.

> En sens inverse, on peut citer le cas d'une invention apparue dans un pays du tiers-monde, en l'occurrence à l'université de Dakar, au Sénégal. Il s'agit d'un moteur utilisant l'énergie thermique du soleil pour actionner des pompes. L'ANVAR a d'abord apporté son aide pour la réalisation, en France, d'études de fiabilité. Mais pour le développement de cette technique d'avant-garde il a encore été fait appel à des organismes africains : le laboratoire Onersol, de Niamey, au Niger, et l'École inter-état du génie rural d'Ouagadougou, en Haute-Volta. Parmi les premières applications envisagées, figurent des stations automatiques de pompage de l'eau des puits en zones arides. Voilà une innovation originaire d'un pays tropical qui aura été enrichie du savoir-faire d'un pays industrialisé, mais dont la mise au point aura été faite à nouveau en milieu tropical, où elle pourra ainsi être utilisée dans les meilleures conditions[771].

Les bonnes intentions solaires du Directeur de l'ANVAR sont néanmoins contrariées par de nombreux exemples d'échecs de brevets qui ne trouvent pas de débouchés, tels celui du moteur solaire à membrane de Michel Brémond que l'ANVAR dépose en octobre 1973[772], ou encore le brevet d'habitat solaire des Alexandroff en 1975[773].

---

[771] *Ibid*.

[772] Brevet ANVAR de Pierre THUREAU et Michel BREMONT, « Dispositif de pompage utilisant l'énergie solaire », 19 octobre 1973, n°7337374 ; brevet ANVAR de Pierre THUREAU et Michel BREMONT, « Dispositif de pompage utilisant l'énergie solaire », 5 juillet 1974, n°7423399 ; brevet ANVAR de Pierre THUREAU et Michel BREMONT, « Dispositif de pompage utilisant l'énergie solaire », 12 juillet 1974, n°7424278. Michel Brémond est ingénieur à l'IUT de Dakar dans les années 1970. Il rencontre à plusieurs reprises Girardier, puis les activités de la SOFRETES. Ne parvenant pas à industrialiser son brevet de moteur solaire il abandonnera ses recherches au profit de la technologie éolienne, notamment les éoliennes Savonius à axe vertical qui sont mises au point et expérimentées à l'IUT de Dakar (BREMOND M, MARIE J, *Étude et réalisation d'une éolienne adaptée aux pays des zones tropicales et subtropicales*, IUT Dakar, 1976, cités dans BENAMOUR, André, Comité interafricain d'études hydrauliques, *Les moyens d'exhaure en milieu rural*, étude financée par la Banque mondiale pour la République du Tchad, Mars 1977, p. 38). De retour en France, il intègre l'AFME dans les années 1980 comme chargé de mission « énergie éolienne ». Il est ensuite professeur à l'ENS de Cachan. Michel Brémond nous a accordé un bref entretien le 13 décembre 2018.

[773] Brevet ANVAR, de George et Jeanne Marie ALEXANDROFF, « Habitation à chauffage solaire », 25 avril 1975, n°7513001.

Marbach décrit les motivations de l'ANVAR et de la SOFINNOVA à l'entrée dans la SOFRETES en termes différents. Avant d'en peser les mots, il convient de rappeler ce qu'est la SOFINNOVA.

Il s'agit de la première Société Financière d'Innovation (SFI) française fondée en 1972[774] sur le modèle du *Venture capital*[775] américain (capital-risque) par le Crédit National. Les SFI ont pour objectif[776] :

> De favoriser le développement des entreprises qui innovent : elles ont été créées afin de répondre à la nécessité de constituer en France un tissu industriel solide de PMI de haut niveau technologique, capables d'exporter. L'activité de ces sociétés doit jouer un rôle d'entraînement pour le système financier français en vue de l'inciter à investir davantage dans l'innovation industrielle. Elles jouent vis-à-vis des petites entreprises un rôle de conseil, facilitant leurs relations avec le système bancaire et les pouvoirs publics et formant les responsables. Leur moyen d'action principal est d'apporter des fonds propres à ces entreprises en prenant des participations à leur capital, soit au moment de leur création, soit au cours de leur existence. Le but de cette action étant tourné vers le lancement industriel des innovations, ces prises de participation sont d'une durée limitée dans le temps : au terme d'une certaine période, le succès ou l'échec de l'innovation peut en général être constaté. Si l'innovation a réussi, l'entreprise doit poursuivre son essor sans l'intervention du "capital-risque". Dans ce cas, la SFI cède ses participations et enregistre une plus-value[777].

Dans la vie d'une PME-PMI, les SFI sont donc censées lui permettre de passer au stade de l'industrialisation mais elles ne l'accompagneront pas sur le moyen-long-terme[778].

---

[774] Conformément aux décisions prises lors du Conseil interministériel du 18 juin 1971, est créée, en novembre 1971, la Société d'Études pour le Financement de l'Innovation (SEFINNOVA), dont la mission est d'étudier l'opportunité de mettre en place une société de capital-risque, la future SOFINNOVA. *Annales des Mines*, février 1972, p. 80. Lire DELEAGE, J., « Innover pour l'acquisition du savoir », *Annales des Mines*, février 1972, pp. 59-65. Deléage est alors Chargé de mission à la SEFINNOVA, il travaille avec Marbach au sein de la Direction des études et programmes du MDIS.

[775] Marbach donne sa version des origines du *Venture Capital* dans son livre MARBACH Christian, LINDE Pierre, *L'innovation au pouvoir*, Fayard, 1973, pp. 395-406. Voir également GÖNENÇ, Rauf, « Venture Capital : Key Ingredient in High-Tech Start-ups », *The OCDE Observer*, Nov 1, 1984, pp. 11-14 ; TYEBJEE Tyzoon, VISKERY Lister, « Venture Capital in Western Europe », *Journal of Business Venturing*, 1988, pp. 123-136.

[776] Marbach développe le rôle primordial que peuvent jouer SFI auprès des PME dans le Livre Blanc de l'innovation (1971) que le numéro de février 1972 des Annales des Mines reproduit pour partie. Lire « Les Sociétés financières d'innovation », *Annales des Mines*, février 1972, pp. 76-78.

[777] Archives nationales, ministère ou secrétariat d'État chargé de la Recherche, notice introductive au répertoire 19960090/1-19960090/14, pp. 3-4.

[778] Voir le bref historique et l'analyse critique que Francis Tabourin propose du phénomène de *Venture-capital* en France en 1988 avec lequel il conclut que les montants et les formes d'engagement des SFI dans les PME sont insuffisants, trop émiettés, et investis sur des durées trop courtes pour réellement bénéficier aux PME. TABOURIN, Francis, « Le capital risque en France. Principes et bilan. », *Cahier de recherche n°8901*, Université Paris Dauphine, 1988. http://www.crefige.dauphine.fr/cahiers/ca8901.htm. Voir également le dossier « Le financement de l'industrie : efficacité allocative des marchés et des intermédiaires financiers » dans *La revue d'économie financière*, n°16, 1991 et notamment les contributions de MARBACH, Christian, « Présentation », *La revue d'économie financière*, n°16, 1991, pp. 35-39 et

Selon Marbach[779], les investissements de la SOFINNOVA sont guidés par la recherche du profit à court terme, rien d'autre, et ce, en parfaite conformité avec l'esprit du *Venture Capital* américain[780]. Il n'y a pas de volonté de développer le solaire, ni à la SOFINNOVA, ni d'ailleurs au gouvernement. Marbach rappelle aujourd'hui que : « des bases scientifiques solaires existaient mais il ne fut jamais décidé de les transformer en objectifs solaires (au sens d'objectifs d'une politique solaire). »[781] Contrairement à la SOFINNOVA, Girardier n'a pas pour objectif de faire de l'argent, il était animé par la recherche de l'intérêt général. La SOFINNOVA prend des parts dans trois entreprises solaires de l'époque, « qui sont SOFRETES, AEROWATT[782] et une troisième dont j'ai oublié le nom, qu'on a vendu au groupe ELF, qu'on a bien vendu mais sans plus, ce n'était pas terrible. Si on a fait ça c'est parce que c'étaient des opérations qui correspondaient à la politique de *venture capital*, c'est-à-dire possibilité de plus-value importante. C'est tout. C'était ça notre politique. Donc, il se trouve qu'à un moment donné on a dit que SOFINNOVA est complètement impliquée dans le solaire, ce n'était pas exact, SOFINNOVA dans sa vingtaine, sa trentaine de très bonnes participations, en avait trois dans le solaire. Il se trouve que toutes les trois ont été vendues »[783]. En effet, comme nous le verrons au chapitre 5, la SOFINNOVA (tout comme l'ANVAR) vend presque toutes ses parts du capital de la SOFRETES à CFP-TOTAL et au CEA en 1975 (c'est André Giraud, alors Administrateur Général du CEA, qui rachète également AEROWATT[784] à la SOFINNOVA). D'ailleurs, selon Girardier, la SOFINNOVA aurait à cette occasion multiplié sa mise de départ par quarante[785]. A propos de la prise de participation de

SOULIGNAC, Charles, « Mesure des performances financières du capital-investissement en France », *La revue d'économie financière*, n°16, 1991, pp. 79-103.

[779] Entretien du 12 octobre 2018 avec Christian Marbach. Nous restituons ici les propos tenus par Christian Marbach.

[780] Gaudin rappelle sans ambage les objectifs de plus-values du capital-risque en reprenant les propos d'un *venture capitaliste* américain : « les gens se lancent dans le capital risque pour faire de l'argent. Depuis plusieurs années, beaucoup d'argent a été gagné en investissement dans des petites compagnies technologiques. C'est la taille du gain qui attire les capitaux. Certains ont suggéré qu'il existait chez ceux du *venture capital* une motivation plus haute d'encourager l'esprit d'entreprise ou l'avancement de la science. Ce sont là d'importants à-côtés dont on se réjouit en cas de succès. Mais si l'investissement rate, le fait d'avoir fait progresser l'état de l'art est une bien piètre consolation. Leur métier est de faire de l'argent avec l'argent qui leur est confié. » GAUDIN, Thierry, « Éléments sur l'innovation », *Annales des Mines*, février 1972, p. 16.

[781] Entretien du 12 octobre 2018 avec Christian Marbach.

[782] Nous avons déjà mentionné AEROWATT au chapitre précédent et nous y reviendrons au chapitre 5.

[783] Entretien du 12 octobre 2018 avec Christian Marbach.

[784] « C'est Giraud aussi qui m'a acheté AEROWATT. Et qui, d'ailleurs, comme il voulait à tout prix l'arracher à je ne sais pas qui, me l'a acheté un bon prix ! », *ibid*.

[785] CAILLE Frédéric, GIRARDIER Jean-Pierre, entretien du 7 juillet 2015.

l'ANVAR dans la SOFRETES, Marbach explique que c'est la SOFINNOVA qui l'aide à réaliser cette opération car il s'agit d'une action très éloignée de sa mission première puisqu'en l'occurrence ici l'objectif de l'ANVAR est également le profit à court terme[786] :

> Le Patron de l'ANVAR en ce temps-là c'était Berard. Il ne savait pas très bien comment faire, il savait que s'il présentait un dossier de prise de capital ça ne marcherait pas, alors on l'a aidé à présenter son dossier ANVAR pour prendre du capital, ce qui était, disons, quelque chose d'assez contraire à la culture de l'ANVAR à l'origine… L'ANVAR, là-dedans, n'a pas été terriblement actif parce qu'ils avaient un patron qui, encore une fois, n'avait pas forcément la cote, dans les milieux… Ça faisait des années qu'il était là-dedans, il avait remplacé ce brave Maurice Ponte[787], qui était un ancien grand chercheur qui venait de la CSF je crois, bon… Les débuts de l'ANVAR ont été chaotiques et foireux… Parce que les bons laboratoires, qui avaient vraiment quelque chose, ne voulaient pas travailler avec des entreprises ou bien ils préféraient travailler en catimini avec des entreprises dans des conditions où ils étaient un peu plus libres que s'il fallait montrer un tas de dossier au CNRS, au Contrôleur d'État… Donc les laboratoires publics qui faisaient de la valorisation ne passaient pas forcément par une agence de type ANVAR… Avec ce coup-là (la SOFRETES) ils ont fait un peu d'argent, tant mieux pour eux[788].

Nous le voyons, la création de la SOFRETES en 1973, replacée dans les actions des institutions de l'aide à l'innovation semble, par certains aspects, assez éloignée des objectifs théoriques d'une politique de développement industriel soutenue par l'innovation dans les PME que des instruments comme l'ANVAR et la SOFINNOVA sont supposés animer. Marbach précise qu'en 1972 les PME innovantes sont très peu nombreuses, « en France des PME de forte croissance il n'y en avait pas une centaine à l'époque. Ce n'est pas comme aujourd'hui avec les *startups* »[789]. La SOFINNOVA se retire finalement très vite, avant tout constat possible de réussite ou d'échec de l'invention, beaucoup plus motivée par la réalisation d'une plus-value (financiarisation de l'innovation ?) que par la pérennisation d'une nouvelle société et de l'industrialisation de son produit, qui, en l'occurrence ici, ne se fera jamais puisque la SOFRETES et sa

[786] Dans le Livre Blanc de l'innovation (1971) Marbach explique que bien que ses statuts lui interdisent de participer à la création de sociétés commerciales, l'ANVAR est en mesure de proposer : « un apport de brevets ou de fonds à une société existante sous forme de prises de participation pouvant aller jusqu'à 20 % du capital. Dans ce cas, une fois au stade de l'exploitation industrielle, l'ANVAR pourrait théoriquement conserver ses parts malgré le nouvel objet commercial de la société. », *Annales des Mines*, Février 1972, p. 70.
[787] « M. Maurice Ponte devient directeur de l'Agence pour la valorisation de la recherche », *Le Monde*, 20 avril 1968 ; JACQ, François, « Pour une approche dynamique des systèmes de recherche et d'innovation : éléments pour une analyse historique du cas français », *Revue d'économie industrielle*, volume 79, 1997, L'économie industrielle de la science, pp. 175-189.
[788] Entretien du 12 octobre 2018 avec Christian Marbach.
[789] *Ibid*.

proposition sociotechnique disparaissent ensemble en 1983. En 1975, elle conserve cependant un strapontin (2 %) au capital de la SOFRETES, tout comme l'ANVAR (2 %)[790]. Pourquoi ? Cette part est trop faible pour leur permettre d'être en mesure d'influencer les choix d'orientation de la politique d'administration de l'entreprise qui passe aux mains de grands groupes industriels (publics et privés) qui filialisent la PME innovante en en prenant ainsi le contrôle, ce qui ne signifie d'ailleurs pas forcément que leur objectif est d'en développer sa proposition technique (cela reste à démontrer). Serait-ce pour y assurer une veille plus politique de la PME en maintenant la présence du MDIS ? Marbach aidera d'ailleurs à titre personnel Girardier pour le restant de sa carrière (nous y reviendrons). Son rôle semble déterminant dans la trajectoire de la SOFRETES, à la fois par son apport en capital *via* la SOFINNOVA, puis par le choix de la revente de ses parts à CFP-TOTAL, au CEA et à Technigaz[791], mais aussi par sa position de grand serviteur de l'État, X-Mines du MDIS et figure de l'administration de l'innovation. Il incarne la présence des pouvoirs publics dans l'existence de la SOFRETES et ce, à un très haut niveau de la hiérarchie administrative de la fabrique des instruments et des idées du référentiel de la politique industrielle dans sa dimension recherche et innovation[792].

---

[790] Dossier DGRST de demande d'aide au développement « Programme de développement des pompes solaires Sofretes », 1975, Dossier SOFRETES (1972-1979), Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

[791] Technigaz est une filiale de Gazocéan (transport de gaz de pétrole liquéfiés et de gaz naturel). Son PDG, M. Boudet, dirige en 1973 la Fondation pour l'Innovation que Christian Marbach considère comme un modèle d'entrepreneur à suivre. MARBACH Christian, LINDE Pierre, *L'Innovation au pouvoir*, Fayard, 1973, p. 318. Fondation pour l'Innovation, *L'innovation en France – rapport préliminaire*, Commission nationale pour le développement de l'Innovation, Paris, 1971. Nous avons montré dans un précédent article comment interpréter la prise de participation de Technigaz dans la SOFRETES, justifiée à la fois dans sa dimension technique, puisqu'il s'agit de filiation frigoriste, et dans sa dimension plus politique, puisqu'il s'agit d'une opération de prestige pour un pétrochimiste qui cherche à bénéficier de retombées positives en termes d'image de marque. Voir CAILLE Frédéric, MOUTHON Alexandre, *op. cit*., 2020.

[792] STOFFAES, Christian, « Deux siècles d'actions et d'influence : le rôle du corps des Mines dans la politique industrielle française », *in* GARÇON Anne-Françoise, BELHOSTE Bruno (dir.), *Les ingénieurs des Mines : cultures, pouvoirs, pratiques*, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Paris, IGPDE, 2012, pp. 199-221. Stoffaës explique que pour comprendre la politique industrielle française (notamment dans une mise en perspective historique), il est fondamental de reconnaître aux agents de l'État du Corps des ingénieurs des Mines, technocrates Saint-simoniens, un impact décisif sur les grandes orientations de l'action publique : « la politique industrielle de la France…Ne relève pas des seules catégories de l'analyse économique, elle relève surtout de la sociologie et des institutions. L'action de l'État sur l'industrie ne se réduit pas aux ministères économiques et techniques, aux entreprises publiques, aux grands instituts de recherche ni aux plans sectoriels. Comprendre la spécificité de la politique industrielle française impose d'interroger la ressource humaine, celle de corps d'ingénieurs formés dans les grandes écoles, qui partagent des conceptions proches, de serviteurs de l'État qui essaiment dans la recherche et l'industrie, et établissent ainsi des relations de confiance entre les entreprises et les administrations, au nom de la légitimité que leur confère l'élitisme républicain. Le corps des Mines est l'archétype de cette spécificité française. », pp. 199-200. Sur la capacité du corps des Mines « d'infléchir une politique industrielle », notamment le programme français du nucléaire civil, lire l'analyse de BELTRAN, Alain,

Aussi est-il bon d'en cerner les contours dans les écrits de Marbach[793] et dans la littérature des Mines[794] pour saisir la conception de l'innovation qui prédomine au début des années 1970 au MDIS, lorsque le gouvernement décide de prolonger la politique de recherche par une politique d'innovation, ayant pour objectif d'en réduire les obstacles et de créer un environnement favorable :

> Le ministre de l'Industrie de l'époque, François-Xavier Ortoli a alors pris position : il ne suffit pas d'une politique de recherche, il faut mener également une politique d'innovation ; un petit groupe de travail animé par Christian Marbach est donc allé visiter la route 128 de Boston[795], pour s'en inspirer, et il a publié ce livre blanc de l'innovation[796]. Le 18 juin 1971 s'est tenu un comité interministériel[797] lors duquel il a été décidé de mener une politique d'innovation avec des réseaux régionaux, du capital-risque et des fonds de garanties pour

« Nucléaire civil et corps des Mines : de la continuité en politique industrielle », *in* GARÇON Anne-Françoise, BELHOSTE Bruno (dir.), *op., cit*., 2012, pp. 375-386. Nous avons déjà mentionné en introduction l'ouvrage devenu classique que Marie-Christine Kessler consacre à l'exercice du pouvoir par les grands corps de l'État et à leur capacité d'influence sur les décisions politiques. KESSLER, Marie-Christine, *op., cit*., 1986. Enfin, un second article d'Alain Beltran porte un regard historique sur le rôle du corps des Mines dans le secteur industriel, texte que nous avons également déjà mentionné plus haut. BELTRAN, Alain, « Le corps des Mines et l'industrie des années 1950 aux années 1980 », *op., cit*., 2009.

[793] Outre des textes de littérature administrative, écrit notamment avec Thierry Gaudin (une autre figure de la politique de l'innovation et de la prospective, également X-Mines du MDIS, Chef du service RII de la DITEIM du MDIS en 1973, https://2100.org/gaudin/cv-resume/), Marbach développe sa pensée dans l'ouvrage *L'innovation au pouvoir*, publié en 1973. MARBACH Christian, DE RIBEYROLLES Dominique, *L'Innovation, pourquoi ? Comment ?*, Numéro spécial de la revue *Développement Industriel et Scientifique* du Ministère du développement industriel et scientifique, 1971 ; MARBACH Christian, BENVENISTE Emmanuel, GAUDIN Thierry et Al., *Le Cahier de l'innovation*, La Documentation française, 1971 ; MARBACH Christian, LINDE Pierre, *L'Innovation au pouvoir*, Fayard, 1973.

[794] La revue des *Annales des Mines* consacre son numéro de février 1972 à rendre compte de la position du MDIS et du gouvernement sur l'innovation et son numéro de mai 1973 à la politique de recherche industrielle et technique. Thierry Gaudin chapeaute les deux numéros. Il propose ensuite dans celui d'octobre-novembre 1973 des « notes de réflexion » sur « l'évolution possible des techniques » dans le contexte de « la nouvelle rareté de l'énergie et des matières premières » (pp. 89-114), notamment à propos des applications de l'énergie solaire (p. 94). Sur Thierry Gaudin et sa posture par rapport à l'innovation, notamment les différences qui le distinguent de Marbach, nous renvoyons à la thèse de Devaux car c'est là un développement trop périphérique par rapport à notre sujet. DEVAUX, Jean-Baptiste, *op. cit*., 2021, « L'innovation, instrument de distinction administrative », pp. 220-242.

[795] « La route 128 près de Boston (Massachusetts). Conclusion », *Annales des Mines*, février 1972, pp. 87-88.

[796] MARBACH Christian, BENVENISTE Emmanuel, GAUDIN Thierry et Al., *Le Cahier de l'innovation*, La Documentation française, 1971. Le numéro de février 1972 des *Annales des Mines* en reproduit le chapitre consacré aux problèmes de financement et les décisions du Conseil restreint du 18 juin 1971 ainsi qu'un résumé des principales orientations politiques (pp. 67-88).

[797] Le Conseil interministériel du 18 juin 1971 décide de mettre en œuvre deux séries de mesures en faveur de l'innovation. Premièrement, l'action publique doit construire des instruments juridiques, fiscales et institutionnels pour intéresser les agents économiques au développement de l'innovation. Douze points sont détaillés dont l'extension des prérogatives de l'ANVAR et le développement des SFI. Secondement, l'action publique doit être menée de manière sectorielle et régionale avec notamment la volonté de créer « des complexes industriels de technologie avancée » sans oublier les secteurs industriels traditionnels comme la construction mécanique. *Annales des Mines*, février 1972, pp. 79-82.

> les prêts aux entreprises. Il a été décidé de développer la technologie grâce aux centres techniques, à la recherche dans les écoles d'ingénieurs, etc.[798].

Marbach développe sa pensée sur les mécanismes de l'innovation, leurs obstacles et le poids de l'État, dans l'ouvrage *L'innovation au pouvoir* publié en 1973. Ce livre intègre les apports des travaux administratifs sur l'innovation menés au MDIS par Marbach et son équipe au début des années 1970[799]. Le texte propose une fresque historique de l'invention technique dans une vision très évolutionniste et déterministe du progrès technique (très scientiste et linéaire)[800] qui encense l'ingénieur-entrepreneur[801] (« tout ceci exige de placer l'esprit d'entreprise au premier rang »[802]) et qui insiste sur le rôle déterminant de l'État depuis la Révolution française, « à l'origine de cette alliance finale entre le laboratoire et l'usine, on trouve la Révolution française de 1789 », notamment avec la création des écoles des Mines, de Polytechnique et du Cnam[803]. On y retrouve le culte à la puissance des machines à feu et des États-Unis d'Amérique : « la R et D (recherche et développement ; expression née du projet Manhattan), sera désormais leur préoccupation majeure »[804]. L'auteur considère l'innovation technique dans son acception la plus classique, comme le moteur de la voie du progrès industriel, levier de la croissance économique déterminant le progrès social. L'innovation technique est présentée comme une solution aux problèmes sociaux, « visant à atteindre à travers elle, autant le progrès économique que le bien-être collectif, autant l'épanouissement individuel que la justice sociale ? »[805] et comme une « condition du développement des nations »[806] : « la force des individus, la croissance des entreprises, la puissance des nations ont toujours été liées à l'apparition d'outils et de matériaux nouveaux – de la

[798] GAUDIN, Thierry, « L'essence nouvelle de la technique », *in* GARÇON Anne-Françoise, BELHOSTE Bruno (dir.), *Les ingénieurs des Mines : cultures, pouvoirs, pratiques*, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Paris, IGPDE, 2012, p. 224.
[799] Lire notamment, toujours dans le numéro de février 1972 des *Annales des Mines*, les « éléments sur l'innovation » de Thierry Gaudin (pp. 11-20).
[800] Les auteurs établissent une chronologie sectorielle et linéaires des inventions (agriculture, habitat, urbanisation, transport, communication, santé, le siècle de la vapeur puis celui de l'électricité support d'information et source d'énergie, enfin l'âge « technétronique » de Brzezinski, etc.).
[801] « *La race des entrepreneurs* », MARBACH Christian, LINDE Pierre, *op., cit*., 1973, pp. 380-390. Il cite notamment en référence l'ouvrage d'Yvon Gattaz sur les ingénieurs. GATTAZ, Yvon, *Les Hommes en gris*, Robert Laffont, 1970. Yvon Gattaz (1925-) est centralien, il dirige le CNPF de 1981 à 1986.
[802] MARBACH Christian, LINDE Pierre, *op., cit*., 1973, p. 41.
[803] *Ibid*., p. 32-37.
[804] *Ibid*., p. 55.
[805] *Ibid*., p. 15.
[806] *Ibid*., p. 246 (pp. 246-283 pour le chapitre).

pierre taillée à la pile atomique et à l'ordinateur- qui ont accru l'efficacité et la prospérité des groupes humains »[807].

Pour Marbach, c'est à l'État que revient le rôle de mettre en place une politique de l'innovation. Il énonce les instruments disponibles pour l'action publique :

> S'il appartient aux entreprises de se doter de mentalité et de structures tournées vers l'innovation, les pouvoirs publics doivent, de leur côté, assurer à l'industrie un environnement favorable à son éclosion. Ceci peut être réalisé par leur attitude de client, par leur pouvoir juridique et réglementaire, par l'orientation de leur enseignement, par des interventions directes, etc. C'est en grande partie au Gouvernement à montrer la voie [808].

Il ajoute qu'une politique de l'innovation volontariste, que la concurrence libre et non faussée est censée favorisée, est en cours de réalisation en 1973 : « aide-toi, l'État t'aidera, semble désormais être le mot d'ordre de l'action d'un gouvernement qui a parié sur l'innovation par la concurrence et la 'libéralisation' des marchés, à commencer par ceux qu'il contrôle directement ou indirectement »[809].

Marbach, en somme, promeut la prospective technico-économique comme instrument d'aide à la décision dans un vision très schumpetérienne du processus de destruction créatrice de l'innovation[810] :

---

[807] *Ibid*., p. 249.

[808] *Ibid*., p. 42. Gaudin précise au sujet des marchés publics que « les commandes de l'État ont dans l'ensemble un effet bénéfique : elles suivent le progrès technique et souvent même le provoquent, et favorisent les productions susceptibles d'être exportées. » GAUDIN, Thierry, « Éléments pour l'innovation », *Annales des Mines*, février 1972, p. 19.

[809] *Ibid*., p. 362.

[810] « C'est à J. Schumpeter qu'on doit la célèbre définition de l'innovation comme première transaction commerciale réussie ainsi que la distinction entre invention et innovation. L'oeuvre de J. Schumpeter est difficile d'accès. Sa théorie de l'innovation est présentée dans deux livres dont la lecture n'est pas aisée. Il s'agit de : The Theory of Economic Development, Cambridge, Mass., Harvard University Press (1934) ; Business Cycles : A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process (2 vols), New York, Mac Graw Hill (1939). » AKRICH Madeleine, CALLON Michel, LATOUR Bruno, « A quoi tient le succès des innovations ? 1 : L'art de l'intéressement ; 2 : Le choix des porte-parole », *Gérer et Comprendre, Annales des Mines, Les Annales des Mines*, 1988, pp.4-17 et pp. 14-29. La distinction schumpétérienne entre invention et innovation comme rappelée et critiquée dans cet article s'applique assez mal aux pompes solaires SOFRETES puisque l'opération Chinguetti peut être considérée *stricto sensu* comme la première transaction commerciale réussie mais nous avons vu qu'il n'en est rien. Voici en quels termes le ministère de l'Économie et des Finances présente l'idée centrale de la théorie de Joseph Schumpeter (1883-1950) : « le moteur du système, c'est l'innovation et le progrès technique à travers le phénomène de destruction créatrice…C'est grâce à un entrepreneur innovateur que la dynamique économique se fait sentir à travers des progrès aussi bien quantitatifs (avec l'augmentation du niveau de production) que qualitatifs. L'entrepreneur est donc l'acteur fondamental de la croissance économique. Il aime le risque et est à la recherche du profit maximal. L'innovation lui permettra d'obtenir un monopole temporaire sur le marché. Il sera donc le seul pendant un certain temps à pouvoir produire cet objet qui lui rapportera donc gros. Aussi, Schumpeter explique que l'économie est gouvernée par un phénomène particulier : la destruction créatrice. C'est la donnée fondamentale du capitalisme et toute entreprise doit, bon gré mal gré, s'y adapter. La croissance est un processus permanent de création, de destruction et de

> Notre civilisation fait du futur son pain quotidien. Les preuves : 50 % des produits de grande consommation qui existaient en 1960 n'existent plus aujourd'hui ; 80 % des produits qui existeront en 1985 sont encore à créer ! {…} L'innovation étant, comme nous l'avons vu, au carrefour de tous les objectifs humains et à l'origine des outils dont il dispose, il en résulte un accroissement exponentiel des changements dans tous les compartiments de la vie. Changements eux-mêmes liés à un phénomène de masse qui impose à l'industrie de survivre, voire d'anticiper sur le futur[811].

L'analyse défend donc, comme Schumpeter, que l'innovation est la condition d'existence des entreprises, de leur survie[812]. Marbach prend cependant ses distances avec l'idée que seules les grandes entreprises ont les moyens (humains et financiers) d'innover, pour affirmer que les PME ont un rôle d'inventeur primordial[813] : « la plupart des innovations majeures sont issues de chercheurs isolés, de petites entreprises. La raison est simple : les géants ont souvent intérêts à grandir en développant les produits existants, et non en les remettant en question par des innovations radicales. C'est l'impératif de survie qui les guide et non pas l'impératif d'innovation »[814]. Il constate alors que ce modèle économique (vertueux) du processus d'innovation (établi dans un schéma très linéaire de

---

restructuration des activités économiques. En effet, le nouveau ne sort pas de l'ancien, mais à côté de l'ancien, lui fait concurrence jusqu'à le nuire » https://www.economie.gouv.fr/facileco/joseph-schumpeter#. Les termes de cette synthèse se retrouve également dans CAPUL Jean-Yves, GARNIER Olivier, *Dictionnaire de d'économie et de sciences sociales*, Hatier, 2011, p. 586. Pour une présentation et une mise en perspective critique des travaux de Schumpeter lire LAKOMSKI-LAGUERRE, Odile, « Introduction à Schumpeter », *L'Économie politique*, n°29, 2006, pp. 82-98, et DEBLOCK Christian, FONTAN Jean-Marc (dir.), « Innovation et développement chez Schumpeter », *Revue Interventions Économiques*, n° 46, 2012.

[811] MARBACH Christian, LINDE Pierre, 1973, *op., cit*., p. 205.

[812] *Ibid*., pp. 220-245 et p. 460.

[813] Marbach rappelle, dans une discussion tenue lors d'un colloque en 2010, que le corps des Mines a développé un intérêt pour le rôle des PME dans l'innovation dans les années 1970 : « Thierry Gaudin l'a rappelé, il se trouve que depuis une trentaine d'années, le corps agit aussi dans le domaine des petites entreprises, parce qu'il a appris qu'il existait aussi des PME et que le monde industriel ne se limitait pas à un certain nombre de grandes entreprises dans lesquelles on pantouflait, pour reprendre l'expression de mon voisin. Il le savait auparavant bien entendu, mais de façon un peu plus homéopathique. » MARBACH, Christian, *in* GARÇON Anne-Françoise, BELHOSTE Bruno (dir.), *op., cit*., 2012, p. 227. Dans le Livre Blanc de l'innovation de 1971 Marbach insiste sur la nécessité de soutenir les PME à l'époque où il propose de développer les SFI : « à côté des groupes industriels dynamiques qui, presque tous, ont défini leur propre stratégie en la matière, les moyennes et petites industries sont les canaux privilégiés de la conception et de la mise au point de l'innovation technologique. Cette capacité d'innovation explique la forte rentabilité de certaines entreprises nouvelles. Elle serait toutefois améliorée si ces entreprises trouvaient plus facilement les moyens financiers nécessaires à la réalisation et à l'exploitation de l 'innovation. Il n'existe en France que peu de sources de financement facilitant la création d'entreprises nouvelles ou l'extension des activités d'entreprises petites ou moyennes, par apports en capital, ou par attributions de prêts. Les institutions et les procédures existantes n'apportent que des solutions partielles. Les porteurs de capitaux privés se montrent peu empressés pour investir dans des activités nouvelles. Les difficultés de mobilisation des participations rendent aléatoires les placements dans l'innovation malgré la possibilité de plus-values importantes à terme. », *Annales des Mines*, février 1972, p. 76.

[814] *Ibid*., p. 234.

la R&D à la commercialisation[815]) repose sur le rapprochement à un moment donné (à une des étapes) de la grande industrie et de la PME :

> Des deux côtés de l'Atlantique, c'est en général dans la petite entreprise, ou dans la petite filiale, ou encore dans la petite équipe animée par un « innovateur » qui « en veut », voire un homme isolé, que sont nées et naissent encore le plus souvent les innovations. Et que, corollairement, le problème de l'innovation efficace soit lié à la naissance d'entreprises dynamiques. Par la suite, ces innovations, à l'état de brevet, de prototype, de présérie ou à l'état de produit confidentiel ayant déjà apparu sur le marché, sont alors prises en charge par une grande entreprise[816].

D'ailleurs, c'est bien ce que fait la SOFINNOVA (et l'ANVAR) en proposant la SOFRETES aux grands groupes qui entrent ainsi dans son capital. La PME est alors assimilée, absorbée, par de grandes entreprises (majoritairement publiques) grâce aux instruments de la politique d'aide à l'innovation. L'action publique facilite donc la prise de contrôle de la PME par la grande industrie. Seulement, et en l'occurrence ici, en opposition au modèle décrit par Marbach, l'invention sur laquelle l'aide publique investit ne se transforme pas en innovation, ou plutôt, elle est vite supprimée. Le phénomène de destruction créatrice par exemple n'a pas lieu, la nouveauté ne remplace pas l'ancien, ni même coexiste sur un marché. Dans son livre Marbach n'aborde pas franchement la question des raisons de l'échec des innovations. Dans son schéma vertueux, la vision des vaincus est absente, tout comme l'est l'idée d'un système d'acteurs complexe et circonstancié qui animerait en fait le processus d'innovation, ce que critiquent fermement Akrich, Callon et Latour : « comme le manifeste la figure emblématique de l'entrepreneur schumpétérien, dont le rôle est de faire surgir des associations inattendues, l'innovation ne ressemble en rien à un processus linéaire, en une série d'étapes obligées allant par exemple de la recherche fondamentale au développement. »[817] Marbach propose une vision d'une mécanique très inéluctable dans laquelle les responsabilités seraient facilement identifiables après coup. L'échec semble imputé, dans une évaluation *a posteriori*, à l'invention elle-même qui rate une marche du processus linéaire, tel un dysfonctionnement technique par exemple, une erreur de l'entrepreneur, des coûts trop importants, une mauvaise rentabilité, ou encore à l'inadéquation de l'offre à la demande et au marché (visiblement considéré comme exempte de pratiques

[815] *Ibid*., pp. 284-318. Comme mentionné précédemment, voir l'avis de Devaux sur la position de Marbach et Gaudin vis-à-vis de cette conception linéaire. DEVAUX, Jean-Baptiste, *op. cit*., 2021, p. 223.
[816] *Ibid*., p. 220.
[817] AKRICH Madeleine, CALLON Michel, LATOUR Bruno, *op., cit*., 1988, p. 5.

anticoncurrentielles)[818]. Cette modalité d'évaluation, qui n'en est pas une, puisqu'elle ne repose pas sur une sociohistoire particulière à chaque dossier, est dénoncée par Akrich, Callon et Latour : « pour parvenir à cette compréhension fine des mécanismes du succès ou de l'échec, sans laquelle l'écart entre celui qui participe à l'innovation et celui qui s'efforce d'en rendre compte demeurerait infranchissable, il faut se méfier comme de la peste des récits édifiants qui invoquent après coup l'absence de marché, les difficultés techniques ou les coûts rédhibitoires. A chaud toutes ces questions sont controversées. »[819] Les auteurs démontrent que ces trois derniers arguments classiquement invoqués pour justifier un échec sont totalement inappropriés et masquent les réalités des relations sociales entre acteurs, et à l'objet, qui sont véritablement celles qu'il faut saisir pour comprendre les raisons du succès ou de l'échec d'une proposition

[818] Comme exemple d'une évaluation qui finalement accorde une forte responsabilité à l'entrepreneur et à l'objet technique lui-même on peut lire l'étude de cas que Christelle Didier propose de l'échec d'une innovation, *L'aérotrain ou la tragédie de Jean Bertin* (1917-1975, polytechnicien, X 38), dans laquelle elle tente d'en identifier les raisons par une analyse multifactorielle (déterminants économiques, politiques, culturels) de la proposition technique, concurrente au TGV dans les années 1970. Son approche est intéressante car après avoir reconstitué (bien que très succinctement) un jeu d'acteurs autour du projet, elle accorde un rôle déterminant à « l'imprudence » de l'inventeur-entrepreneur comme « résidu explicatif de l'échec » : « Jean Bertin avait pensé développer une technique révolutionnaire à une époque où la société entière rêvait de la grande vitesse. Il pensait concrétiser ce rêve et mobiliser de telles énergies que les politiques devinrent convaincus qu'une ligne d'Aérotrain devait être construite à tout prix, pour le prestige de la France. Mais, du fait de son ignorance des mécanismes socio-politiques, Jean Bertin a perçu la valse des décisions politiques d'une façon quelque peu paranoïaque, comme étant uniquement dirigée par ses concurrents. Il n'a pas su faire la distinction entre les visées politiques des promesses et leur contenu réel et n'a jamais voulu remettre en question la pertinence de l'objet technique qu'il défendait. Sa mort tragique en fait moins un martyr sacrifié sur l'autel de l'innovation technologique, qu'un homme qui s'est enfermé dans le paradigme technique. » DIDIER, Christelle, « L'aérotrain ou la tragédie de Jean Bertin », *in* DIDIER Christelle, GIREAUX-GENEAU Annie, HERIARD DUBREUIL Bertrand, *Éthique Industrielle. Textes pour un débat*, De Boeck Université, 1998, pp. 323-337 (https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00790485). En 1979, Jean Guimbal, polytechnicien (X 38) et ingénieur des Mines écrit un article dans la revue de l'École Polytechnique, qui aborde les difficultés auxquelles doivent faire face ses inventions qui ne parviennent pas à être industrialisées. Jean Guimbal est à cette époque le PDG de la Société Générale d'Études et Construction (Saint-Etienne). Il est l'inventeur d'un nouveau moteur axial à grande vitesse applicable à l'Aérotrain de Jean Bertin (X 38), d'un véhicule électrique, et d'un accumulateur de chaleur solaire pour le chauffage des habitations (capteurs plans, puis cylindro-paraboliques, avec système de stockage enterré). Il explique que ces installations prototypiques ont reçu une aide de l'État (après une très longue attente) mais que celle-ci est insuffisante pour aller plus loin que l'expérimentation initiale, en l'occurrence ici réussie. Les pouvoirs publics souhaitent, pour poursuivre leur soutien, l'intervention d'un industriel. Or les industriels démarchés par Guimbal considèrent que les propositions techniques ne sont pas assez abouties. Ainsi l'entrepreneur ne trouve pas d'issues pour innover et dénonce ce cercle vicieux. Ce témoignage d'un polytechnicien porteur de propositions sociotechniques alternatives « d'intérêt général » qui « échouent » est particulièrement intéressant car il révèle les insuffisances de la politique de soutien à l'innovation envers les PME. Il permet de nuancer la supposée capacité démiurgique de l'ingénieur-entrepreneur (encore plus celle de l'ingénieur des Mines) à s'imposer. L'argument du déficit technique semble également bien mis à mal. GUIMBAL, Jean, « Un grand ingénieur polytechnicien. Jean Guimbal 38. Quelques développements d'intérêt général en cours à Saint-Etienne », *La jaune et la rouge*, n°340, avril 1979, pp. 21-25.

[819] *Ibid*., p. 6.

technique par exemple[820]. Ils recommandent, plutôt qu'une évaluation rétrospective technicoéconomique d'un produit dans un marché (le modèle de diffusion), de recomposer avec exigence le système d'acteurs (intérêts, alliances, oppositions, etc.) au moment des faits où les décisions sont prises, et ce, en privilégiant une grille sociotechnique d'analyse de l'objet (le modèle de l'intéressement) :

> Le modèle de la diffusion déplace l'objet technique à l'intérieur d'une société qui constitue un milieu plus ou moins récepteur. Le modèle de l'intéressement met en scène tous les acteurs qui se saisissent de l'objet ou s'en détournent et il souligne les points d'accrochage entre l'objet et les intérêts plus ou moins organisés qu'il suscite. Le résultat d'une telle description est un diagramme sociotechnique qui combine deux genres que l'on a tendance à séparer : l'analyse technologique qui se limite à la description de l'objet *per se* et de ses propriétés intrinsèques ; l'analyse sociologique de l'objet, c'est-à-dire des milieux dans lesquels il se déplace et sur lesquels il produit des effets. A vouloir rendre distinctes ces deux lignes d'analyse, on s'interdit de comprendre les raisons de l'échec ou du succès de l'innovation. L'analyse sociotechnique, quant à elle, se place à l'endroit précis où l'innovateur se situe, dans cet entre-deux difficile à saisir où se mettent simultanément en forme la technique et le milieu social qui le reprend[821].

Pour Marbach, il ne semble pas y avoir non plus de hiérarchie entre les innovations techniques, qui ne sont jamais considérées comme ayant des qualités politiques qui pourraient avoir un impact sur l'ordre social. Lorsque qu'il dresse la liste des innovations soutenues par l'ANVAR et la SOFINNOVA, les applications de l'énergie solaire sont absentes, et l'inventaire recense surtout des inventions qui ne répondent à aucun besoin fondamental, et qui font plus figure de produits de consommation de masse sans grand intérêt que d'innovations sociotechniques[822]. Or, si l'on peut admettre qu'il convient de rechercher à évaluer les effets de l'action publique et des tactiques des agents économiques (grandes entreprises) sur le processus d'innovation, il n'en demeure pas moins qu'il paraît difficile de ne pas reconnaître à certains objets techniques une capacité plus importante que d'autres à offrir une capacité d'action dans le champs politique. Il est alors possible d'envisager que l'action publique et les comportements des agents

---

[820] Nous n'allons paraphraser à l'extrême cet article désormais devenu un classique, relevons simplement encore cet extrait sur la question de la rentabilité économique (les coûts) censée être la condition évidente d'une innovation que toutes les données empiriques contredisent dans la réalité industrielle : « Voilà une innovation majeure dont la principale qualité semblait être de réduire les coûts dans des proportions appréciables. Une minutieuse enquête montre qu'au contraire toutes les décisions prises pour la promouvoir ont dû l'être en dépit d'une augmentation durable des coûts ! Le coût avantageux ne peut être au mieux que le résultat chèrement acquis d'une série de décisions difficilement imposées et non la cause immédiate de ces décisions… L'*homo economicus* est au pire une belle fable, au mieux un résultat patiemment construit. C'est le nom de code donnée à une opération réussie. », *Ibid*., p. 11.

[821] *Ibid*., p. 17.

[822] MARBACH Christian, LINDE Pierre, *op., cit*., 1973, p. 449.

économiques puissent être motivés par le désir de contrôler une proposition sociotechnique pour la bloquer, l'écarter, en fonction d'intentions variées, pouvant aller de la simple recherche du profit jusqu'à la volonté de contrôle social ou politique. En d'autres termes « ne pas faire » et « empêcher de faire » peut alors devenir un moyen de gouverner en mettant en œuvre une forme de technopolitique du non-choix (c'est bien notre hypothèse concernant le moteur solaire SOFRETES). Les enjeux soulevés par « le traitement des fourrures en chevreau »[823] que la SOFINNOVA soutient en 1973 ne sont à cet égard que peu comparables à ceux que la pompe solaire thermodynamique de la SOFRETES projette dans les rapports de force liés à l'exploitation des hydrocarbures, aux industries électromécaniques conventionnelles, voire à l'enrichissement de l'uranium, et aux organisations politiques qui les accompagnent. La logique de sélection d'une invention technique énergétique (c'est-à-dire son évaluation) n'est pas forcément guidée par une simple rationalité technicoéconomique ou par de saines pratiques concurrentielles et la recherche de l'intérêt collectif. Les grandes entreprises (qui dans les années 1970 sont très majoritairement publiques) sont plutôt dans une logique de conservation de leur leadership en dirigeant la commercialisation de dispositifs existants aux externalités sociales bien maîtrisées, voire d'innovations ne permettant pas aux consommateurs de se les approprier pour renverser l'ordre énergétique établi, qui reproduisent plutôt les relations sociales asymétriques qui les fonde, voire qui les renforcent. D'ailleurs Gaudin lui-même écrit que les obstructions volontaires à la mise sur le marché sont un fait établi :

> De nombreuses entreprises possèdent des brevets qu'elles n'exploitent pas. Ceci pour ne pas avoir à supprimer des installations non encore amorties, pour diminuer leurs risques ou même parfois pour ne pas changer leurs habitudes. {…} Les entreprises chimiques multinationales possèdent chacune des forêts de plus de 10 000 brevets dont elles n'utilisent qu'une partie pour effectuer leurs fabrications ou concéder des licences. Le reste sert à maîtriser la concurrence en bloquant la technologie. {…} On ne peut se dissimuler que l'innovation perturbe l'ordre établi et se heurte de ce fait à des oppositions conscientes et organisées[824].

Le politiste américain Lucas, s'intéressant à la politique de l'énergie française, écrit en 1978 :

[823] MARBACH Christian, LINDE Pierre, *op., cit*., 1973, p. 449.
[824] GAUDIN, Thierry, *op., cit*., 1972, p. 17.

> The objectives of public enterprise in this period have been perceptively analyzed by Professor J.M. Martin[825]. He asserts that the essential principle of their behavior is to control the environment in which they operate. Specifically, they seek to extend their control upstream to secure supplies, and downstream to secure markets, to ensure control of future technologies which they could use, or which threaten them[826].

Mitchell dans *Carbon Democracy, le pouvoir politique à l'ère du pétrole*, s'autorise une interprétation des choix politiques en matière de technologie énergétique pétrolière, de relations commerciales et diplomatiques, d'organisation socio-spatiale de l'exploitation, qui s'inspirent de « la théorie du capitalisme comme système de sabotage »[827] développée par Thorstein Veblen[828] : « toute manœuvre visant au ralentissement, à l'inefficacité, au bousillage, à l'obstruction »[829].

La possibilité du sabotage comme stratégie de survie des acteurs d'un système politico-énergétique ne doit pas être écartée par principe des outils à notre disposition pour interpréter nos découvertes empiriques des modalités de l'action publique d'aide à l'innovation en général et aux convertisseurs solaires en particulier, ainsi qu'aux PME qui les proposent. Dans le cas de la SOFRETES et de son moteur solaire, notre hypothèse est que des actions de sabotage existent et qu'il convient de ne pas les écarter du faisceaux de facteurs qui expliquent la suppression de l'innovation (*cf. infra* partie III). En 1972, Gaudin observe par exemple que lorsqu'une SFI se retire d'une PME au profit d'un grand groupe (en conservant éventuellement une minorité de contrôle), son fondateur se

---

[825] Nous nous sommes entretenus avec J.-M. Martin (Directeur de l'Institut Économique et Juridique de l'Energie (IEJE) de Grenoble dans les années 1970-1980). Nous y reviendrons dans la Partie II.

[826] « Les objectifs de l'entreprise publique au cours de cette période ont été analysés avec perspicacité par le professeur J.M. Martin. Il affirme que le principe essentiel de leur comportement est de contrôler l'environnement dans lequel ils opèrent. Plus précisément, ils cherchent à étendre leur contrôle en amont pour sécuriser les approvisionnements, et en aval pour sécuriser les marchés, afin d'assurer le contrôle des technologies futures qu'ils pourraient utiliser ou qui les menacent ». LUCAS, N.J.D., *op. cit*., 1979, p. 33.

[827] MITCHELL, Timothy, *op., cit*., 2013, p. 183.

[828] Thorstein Veblen (1857-1929). Son œuvre est rarement citée. D'ailleurs, Veblen n'est pas mentionné par le ministère de l'Économie et des Finances sur sa page web consacrée aux grands économistes (https://www.economie.gouv.fr/facileco/grands-noms-et-courants-de-leconomie#). Pour approfondir la compréhension de l'analyse inductive du monde des affaires proposée par Veblen, nous conseillons ici de lire : HEILBRONER, Robert L., *Les grands économistes*, « La société sauvage de Thorstein Veblen », Éditions du Seuil, 1971, pp. 197-229 ; DUTRAIVE, Véronique, « Les fondements de l'analyse institutionnaliste de la dynamique du capitalisme », thèse de doctorat en Sciences Économiques, sous la direction de DUFOURT, Daniel, Université Lumière Lyon 2, 1992, et notamment la première partie, « Les fondements de l'Économie institutionnaliste », pp. 21-89 ; GAGNON Marc-André, DELLA FAILLE Dimitri (dir.), Pertinences et impertinences de Thorstein Veblen : Héritage et nouvelles perspectives pour les sciences sociales, *Revue Interventions économiques*, n°37, 2007 ; BRETTE, Olivier, « Connaissances technologiques, institutions et droits de propriété dans la pensée de Thorstein Veblen », *Cahiers d'économie politique*, n°48, L'Harmattan, 2004, pp. 111-143.

[829] MITCHELL, Timothy, *op., cit*., 2013, p. 37 et pp. 36-43 pour une première présentation de l'idée de sabotage, puis un chapitre entier « *Sabotage* » pp. 199-238.

retrouve la plupart du temps écarté : « l'entrepreneur est jugé par la société de capital-risque incapable de diversifier son affaire. Il est connu en effet qu'au-delà d'une certaine taille, les entreprises doivent être gérées par des professionnels du management, formés dans une *business school*, comme le sont d'ailleurs certains des fondés de pouvoir de la société de capital-risque elle-même. Il se produit alors certaines intrigues, dignes du temps de Machiavel, qui se terminent souvent par l'éjection du fondateur. »[830] Il est frappant de remarquer que c'est largement ce qui arrive à Girardier quelques années plus tard, première étape avant la liquidation de la SOFRETES. De la sorte, on le comprend au fil de cette analyse, identifier la dilution des responsabilités de la suppression d'une innovation dans un système d'acteurs complexe et circonstancié est à la fois un défi et une nécessité, pour qui souhaite évaluer l'action publique technopolitique. Et cela est sans doute encore plus vrai si aux raisons des échecs classiquement invoquées par Marbach, tel que nous venons de les commenter, on oppose la contradiction apparente contenue dans la sentence énoncée par Gaudin, comme quoi rien n'est impossible et que c'est surtout la décision de faire qui est le premier levier de la réussite d'une innovation : « l'expérience prouve que s'il est demandé à l'industrie d'aller sur la lune, elle le fait. »[831] Cependant, c'est sur ce point que les travaux d'évaluation des politiques publiques menés par Liu Zeting sur l'action publique de soutien à l'innovation et aux PME en France depuis les années 1960 tirent une première leçon : « les bons diagnostics ne se traduisent pas toujours en solutions correspondantes, comme le montre le cas de la valorisation de la recherche »[832]. Selon elle, l'action publique en faveur de l'innovation et des PME dans les années 1970-1980 est un échec : « rappelons que vers la fin des années 1970, après dix ans de pratique, l'action de valorisation de la recherche est un échec : la grande majorité de l'industrie française ne bénéficie pas des résultats de la recherche publique et l'industrie de capital-risque n'aboutit pas à se développer. »[833]

Dans les années 1960-1970, les PME ne sont pas incluses dans l'action publique en faveur de la recherche et de l'industrie, ces deux dernières étant d'ailleurs encadrées par des politiques publiques séparées dont les administrations coopèrent mal (par exemple les rivalités entre le Corps des Mines à la DITEIM et les normaliens de la DGRST sont

[830] GAUDIN, Thierry, *op. cit*., 1972, p. 17.
[831] *Ibid*., p. 12.
[832] ZETING, Liu, *op., cit*., 2013, p. 95.
[833] *Ibid*., p. 85.

défavorables)[834]. Bien que des velléités de valorisation de la recherche dans l'industrie (ANVAR et SOFINNOVA), notamment dans les PME des secteurs traditionnels, existent dans la décennie 1970, ce sont les grands groupes nationalisés ou privés qui bénéficient des grands programmes planifiés dans les secteurs de pointe financés par l'État et ses commandes[835]. L'auteure explique que dans les années 1970 la recherche et l'innovation sont des préoccupations marginales des pouvoirs publics : « à part la modification du régime fiscal pour favoriser la création de SFI (mesure vivement critiquée à l'époque), il n'y a pas d'autre action remarquable »[836], « on peut même constater, malgré les efforts de quelques rares personnes (comme par exemple Pierre Laffitte, fondateur de Sophia-Antipolis ou Christian Marbach, fondateur de SOFINNOVA), un recul du milieu politique industriel vis-à-vis de la recherche et une réticence vis-à-vis de l'innovation. »[837] Zeting ajoute que pèse sur la notion même « d'innovation », et la définition des politiques publiques, les tropismes d'une vision séquentielle-linéaire du processus, ainsi que les contingences et les préoccupations politiques[838] : « on sait pourtant aujourd'hui que l'innovation n'est pas linéaire, que la recherche scientifique n'est pas l'innovation et que la réussite de l'innovation ne dépend pas du seul critère technologique »[839].

La SOFRETES semble donc être intégrée dès sa création, au début des années 1970, à l'action publique d'aide à l'innovation et aux PME, dans ses dimensions institutionnelles, instrumentales et cognitives. Comme nous l'avons suggéré, ce positionnement ne lui est pas forcément favorable ou, si l'on préfère, ne constitue pas strictement un atout pour l'avenir. A cette étape de notre développement, nous devons reprendre notre étude à l'automne 1973, au moment où la SOFRETES est invitée par le gouvernement mexicain, que le Secrétaire général à l'énergie français prend position sur la question solaire soulevée par le Service de la Recherche Industrielle et de l'Innovation de la Direction de la Technologie, de l'Environnement Industriel et des Mines, et que ce dernier transmet au ministre du Développement Industriel et Scientifique une note

[834] *Ibid*., pp. 36-37, p. 57, pp. 83-84.
[835] *Ibid.,* pp. 19-23, pp. 27-31, pp. 33-37, pp. 45-49, pp. 236-237.
[836] *Ibid*., p. 48.
[837] *Ibid*., p. 237.
[838] *Ibid*., pp. 9-16 dans la préface de Geneviève SCHMEDER, p. 52, p. 235.
[839] *Ibid.*, p.238.

d'évaluation sur les affaires de la SOFRETES qui détaille les actions lancées en leur faveur.

3.2 Le dossier mexicain : un moteur solaire industrialisable et un outil de séduction politique

Du 17 au 30 novembre 1973, la SOFRETES se rend au Mexique sur invitation du gouvernement du pays[840] qui se dit intéressé par l'acquisition de pompes solaires dont il aurait entendu parlé par l'intermédiaire d'un de ses membres, Francisco Vizcaino Murray[841], lequel les a lui-même découvertes dans un article de presse sur la pompe solaire de Chinguetti[842]. Ce voyage d'affaires est organisé dans la surprise générale et la précipitation. Un envoyé du gouvernement mexicain, l'ingénieur Antonio Murray (neveu de F. V. Murray et conseiller technique à la Commission nationale pour les zones arides, la CONAZA) se rend directement au siège de la SOFRETES à Montargis. Puis Girardier rencontre F. V. Murray en visite à Paris. Il est stupéfait. Ne sachant comment procéder pour mener une rencontre au Mexique à un tel niveau décisionnel, il demande de l'aide au CNRS et au CEA[843]. Au moment du départ, l'ingénieur du CEA, Max Clémot,

[840] « Rapport de visite au Mexique du 17 au 30 novembre 1973 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.
[841] Francisco Vizcaino Murray (1935-?) est Sous-secrétaire d'État à l'amélioration de l'environnement (1972-1976) sous la présidence de Louis Echeverria (1970-1976). Le Secrétariat d'État à l'environnement dépend du ministère de la santé. CAMP, Roderic Ai, *Mexican Political Biographies, 1935-2009*, University of Texas Press, Austin, 2011, p. 1015 ; « *Francisco Vizcaíno Murray, subsecretario de la entonces Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente (SMA) de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), mencionaba en 1973*, *durante la clausura de la I Reunión Nacional sobre Problemas de Contaminación Ambiental* », COLOBALLES, Natalia Veronica Soto, « 40 años después: Sin soluciones », *NEXOS*, 1 JULIO, 2016. https://www.nexos.com.mx/?p=28768.
[842] GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, pp. 47-57 ; CAILLE Frédéric, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2016.
[843] *Ibid* ; « Rapport de visite au Mexique du 17 au 30 novembre 1973 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

l'accompagne dans l'avion[844]. Ils sont accueillis par le frère du Président Echeverria[845] et pris en charge pour un voyage d'étude de terrain dans tout le nord du Mexique, puis pour la rédaction d'un rapport sur les possibilités d'installation de pompes solaires thermodynamiques SOFRETES en vue « de la mise en valeur des régions isolées des zones arides »[846] : « j'ai expliqué qu'à mon avis, avec le solaire, on devait pouvoir sinon repeupler le nord[847], du moins créer des axes de fixation. Je me suis surpris en train de faire de la politique, de parler des problèmes de terre publique, de mise en commun des surfaces, etc. » [848] Le jour même du compte-rendu, la décision est prise, le Président commande dix pompes (du type de celle de Chinguetti) à la SOFRETES (avec un acompte de 50 %) et laisse entendre qu'en cas de réussite de l'opération un programme d'équipement de grande ampleur pourrait voir le jour : « à la suite de notre rapport, Monsieur le Ministre F.V. Murray avait décidé de réaliser un premier prototype qui ensuite pourrait être généralisé à grande échelle (voir lettre ci-jointe[849]). Mais au dernier

[844] Max Clémot (1936-2022) est alors un jeune ingénieur du CEA qui revient d'un séjour aux USA où il a suivi une formation à la stratégie de collaboration technique et commerciale au MIT. Nous communiquerons des informations plus détaillées sur la manière avec laquelle le CEA s'intéresse au solaire, puis à la SOFRETES, au début des années 1970 dans le chapitre 5. Ce sera l'occasion de préciser la composition et l'origine de l'équipe d'ingénieurs que le CEA mobilise sur les affaires solaires dont Max Clémot fait partie. En 1974, Clémot est détaché du CEA à la SOFRETES jusqu'au début des années 1980 en tant qu'ingénieur technico-commercial. C'est lui qui est le représentant de la SOFRETES lors des démarchages commerciaux et des négociations avec les gouvernements étrangers. Nous nous sommes entretenus avec lui à plusieurs reprises et il nous a confié certaines de ses archives personnelles (voir notre catalogue de sources). CLEMOT Max, DURAND Jean-Pierre, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010, p. 22 ; MOUTHON Alexandre, CLEMOT Max, entretiens des 9 novembre 2018, 19 novembre 2018 ; CAILLE Frédéric, CLEMOT Max, entretiens des 19 juin 2018, 14 décembre 2016.

[845] Luis Echeverria Alvares (1922-2022) est président de la République des États-Unis mexicains de 1970 à 1976. CAMP, Roderic Ai, *op. cit*., 2011, pp. 282-283. Son frère est Rodolfo Echeverria Alvarez (1917-?), *Ibid*, p. 283.

[846] « Rapport de visite au Mexique du 17 au 30 novembre 1973 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

[847] A cette époque, l'exode rural, notamment à destination de Mexico, est très soutenu. La situation socio-économique des communautés paysannes est difficile. Nous reviendrons un peu plus loin sur les éléments contextuels mexicains nécessaires à la compréhension du soudain intérêt du gouvernement mexicain pour le solaire. *Cf. infra* chapitre 3.

[848] GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, pp. 49 ; « Rapport de visite au Mexique du 17 au 30 novembre 1973 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

[849] Traduction de l'espagnol de la lettre de F. V. Murray du 28 novembre 1973 adressé à Girardier : « Je suis heureux de vous confirmer, grâce à l'énergie solaire dans les zones arides de notre pays, le vif intérêt que le gouvernement mexicain porte à cette technique afin qu'elle soit appliquée, pour fournir de l'eau à la fois aux endroits où le bétail peut la boire, comme dans les petites villes et les centres agricoles et touristiques d'importance moyenne. En raison des considérations économiques exposées dans le rapport de mission, nous pensons qu'il existe de grandes perspectives pour le développement de ce système. Cet intérêt se manifeste, bien sûr, dans la décision de réaliser l'opération FRAMEX, au moyen d'un prototype à installer dans la zone de San Luis Potosi, qui devrait être prêt à fonctionner le plus tôt possible, en le mettant en service au plus tard le 31 mars prochain, étant entendu que les installations les plus larges seront fournies

moment, le Président de la République, Luis Echeverria mis au courant, a pris la décision de commander dix prototypes immédiatement, et nous avons l'assurance que si ces prototypes fonctionnent correctement, il y a un marché de 1000 pompes et plus. »[850] Girardier atteste qu'il rencontre par la suite, et à plusieurs reprises, le Président Echeverria et José Lopez Portillo[851], alors ministre des finances puis successeur d'Echeverria à la Présidence du Mexique (1976-1982)[852]. Les relations commerciales solaires sont donc directes entre la SOFRETES et le sommet de la hiérarchie décisionnelle mexicaine. Nous verrons plus en détail dans le chapitre 3, lorsque nous proposerons une interprétation du choix solaire mexicain (du programme, de ses acteurs et de sa géographie), le rôle d'intermédiaire très important joué par F. V. Murray (et de certains membres de sa famille) dans la mise en œuvre du programme public solaire mexicain qui est en train de germer en novembre 1973. Ce rapport très personnel d'un sous-secrétaire d'État et du Président de la République mexicaine à la commande de pompes SOFRETES confère à cette action publique solaire une dimension très politicienne que l'organisation et la visibilité donnée au voyage d'étude dans le nord du Mexique confirment : « nous avions un avion privé à notre disposition qui nous a permis un déplacement d'environ 5000 km à travers les zones arides et désertiques. Chaque fois, nous étions attendus par une délégation locale composée du Maire ou du Chef de District et de l'équivalent de nos ingénieurs des Pont & Chaussées ou du Génie Rural, ainsi que des journalistes. »[853]

pour mener à bien ledit projet. Conformément au résultat lui-même, nous envisagerons la généralisation de cette technique dans le cadre d'une coopération franco-mexicaine déjà engagée pour cette raison. » Rapport de visite au Mexique du 17 au 30 novembre 1973 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69. Le choix de la ville de San Luis Potosi par Murray est commenté au chapitre 3 car cette dernière joue un rôle important dans le récit national mexicain. Aussi cherche-t-il à ancrer l'opération solaire dans un rapport très politique au territoire. Finalement, la première pompe SOFRETES est installée au nord, à Caborca, dans l'état du Sonora, frontalier avec les États-Unis d'Amérique. Il est possible, comme nous le verrons, que ce choix ne soit pas exempt d'intentions politiques. Comme il semble que la géographie des installations ne réponde pas seulement à des considérations techniques et géo-météorologiques, mais plus vraisemblablement à des objectifs politiques.

[850] « Rapport de visite au Mexique du 17 au 30 novembre 1973 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

[851] José Lopez Portillo (1920-2004). Il est Directeur général de la Commission fédérale pour l'électricité en 1972-1973, puis ministre des Finances de 1973 à 1975. CAMP, Roderic Ai, *op. cit*., 2011, pp. 552-553.

[852] GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, pp. 50-51.

[853] « Rapport de visite au Mexique du 17 au 30 novembre 1973 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.


LA OPINION
DE MONCLOVA
Tiempo Probable Para hoy
Sacarán Agua con la EnergíaSolar
Técnicos Franceses dan a Conocer Nuevo Sistema
Aumentó sus Créditos el Agropecuario
Invertirán 25 Millones en Agua Potable y Drenaje

Figure 32 : la Une du quotidien mexicain *La Opinion de Monclovia*, 20 novembre 1973. Archives privées de Max Clémot. Monclovia est une ville du nord du Mexique (État de Coahuila, frontalier avec les USA). Le journal rappelle clairement que l'intérêt mexicain pour les pompes solaires SOFRETES trouve son origine dans la découverte de l'installation de Chinguetti (photographie de gauche).

Pour la SOFRETES, deux conclusions se dégagent des résultats de cette mission au Mexique. Premièrement, le gouvernement mexicain met en œuvre une action publique solaire « dans le cadre d'une coopération Franco-Mexicaine, FRAMEX »[854]. Deuxièmement, la SOFRETES en profite pour affirmer le caractère préindustriel de son produit, qui devrait bénéficier de cette commande pour voir baisser son prix de revient, afin de faciliter sa diffusion auprès des gouvernements des pays pauvres d'Afrique francophone qui sollicitent au même moment la SOFRETES, mais qui ne peuvent pas financer l'achat des installations[855].

Le MDIS suit de près la mission SOFRETES au Mexique. Faisant suite à son rapport-bilan sur les applications de l'énergie solaire après le congrès de l'UNESCO de l'été, le Service RII de la DITEIM dirigé par Thierry Gaudin rédige une note à l'attention du ministre du Développement Industriel et Scientifique pour lui rendre compte des

[854] « Rapport de visite au Mexique du 17 au 30 novembre 1973 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69 ; procès-verbal du Conseil d'administration des Etablissements Pierre Mengin du 29 juin 1974 (exercice 1973), Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.
[855] « Rapport de visite au Mexique du 17 au 30 novembre 1973 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.

« résultats des actions suscitées par le service RII du MDIS en faveur de l'exploitation de l'énergie solaire »[856] concernant les convertisseurs photovoltaïques et thermodynamiques de petite puissance. La DITEIM présente son évaluation des activités de la SOFRETES et les mesures engagées pour la soutenir.

Premièrement, les installations de pompage solaire thermodynamique basse température sont reconnues comme fonctionnelles et utiles aux populations rurales des régions arides et isolées des pays pauvres, notamment pour l'alimentation en eau potable et du bétail : « le bon fonctionnement de ces pompes a démontré la validité de ce procédé »[857].

Deuxièmement, il est attesté que les moyens financiers à la disposition de la SOFRETES ne lui permettent pas de répondre aux nombreuses demandes des gouvernements des pays du tiers-monde, ni de diversifier son offre et encore moins de développer ses fabrications à grande échelle. Pour y remédier, la DITEIM et le Secrétariat Général de l'Énergie ont enclenché « deux procédures d'aide de l'État qui permettraient à la SOFRETES d'assurer la production industrielle de ces pompes solaires dont l'utilisation dans ces pays apportera l'eau et de ce fait aura un retentissement politique favorable pour notre pays »[858]. L'action publique en faveur de la SOFRETES trouve une fois de plus sa justification dans son instrumentalisation au service du rayonnement de la France et « vue l'opportunité de cette affaire il serait souhaitable d'accélérer ces procédures »[859]. Les deux opérations d'intervention publique sont les suivantes. La première consiste en une aide de 220 000 francs pris sur les crédits d'urgences du Délégué Général à la Recherche Scientifique et Technique, Hubert Curien[860], qui « s'est engagé

[856] « Note à l'attention de Monsieur le Ministre du Développement Industriel et Scientifique », DITEIM RII N° 60.2, 17 décembre 1973, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.
[857] *Ibid*., p. 3.
[858] *Ibid*.
[859] « Résumé de la note à l'attention de Monsieur le Ministre du développement industriel et scientifique », DITEIM RII N° 60.4, 18 décembre 1973, , Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.
[860] Hubert Curien (1924-1995), normalien, est DG du CNRS quand il est nommé au poste de Délégué général à la recherche scientifique et technique, « Hubert Curien a été délégué général à la recherche scientifique et technique de 1973 à 1976. Il a succédé à un autre physicien, Pierre Aigrain, et il a eu pour successeur Bernard Gregory, également physicien. Depuis la guerre, en France et ailleurs, la politique scientifique était affaire de physiciens. » SEVIN, Jacques, « Hubert Curien à la DGRST », *Histoire de la recherche contemporaine*, tome V, n°2, 2016, pp. 124-127. Voir ses nécrologies : « Hubert Curien, ancien ministre de la recherche », *Le Monde*, 7 février 2005 ; SALOMON, Jean-Jacques, « Hubert Curien (1924-2005), *Hermès, La Revue*, CNRS Éditions, N°42, 2005, pp. 207-213 ; http://www.annales.org/archives/x/curien.html.

verbalement »[861]. Il s'agit du prix de revient d'une pompe d'hydraulique pastorale de 1 kW. La seconde a pour objectif la « mise au point d'un modèle industriel d'une pompe plus puissante de 10 kW destinée à assurer l'alimentation en eau potable des agglomérations et également l'irrigation de cultures »[862]. Cette fois c'est une aide à l'industrialisation qui est sollicitée, ce qui traduit explicitement le fait que la proposition sociotechnique de la SOFRETES est considérée comme suffisamment mature et non plus seulement comme un champ de recherche : « le Secrétariat Général à l'Énergie a entrepris une procédure dans le cadre des crédits CAPI pour obtenir une aide sur deux ans (1974/75) dont le montant total est de 1 MF. »[863] Il est également notifié que le CEA participe à ce projet en apportant son expertise technique. La mission mexicaine semble avoir été décisive dans l'engagement du CEA qui avait été préconisée dans le rapport de la DITEIM du mois de juillet.

Troisièmement, le succès de la visite au Mexique est résumé au ministre et le rapport de mission est joint. La note insiste sur le fait que, du côté mexicain, le projet de coopération FRAMEX est déjà doté d'une équipe et que F. V. Murray souhaite « établir rapidement une coopération à l'échelon gouvernemental avec notre pays pour la fourniture de ces pompes et leur assistance technique »[864]. Elle précise que le conseiller technique de l'ambassade de France à Mexico a assisté aux travaux de la mission et qu'il « n'est pas exclu que par la suite ce projet ait des prolongements dans les autres pays d'Amérique Latine »[865]. Le Brésil est mentionné dans un autre document de la DITEIM qui résume le contenu de la présente note adressée au ministre[866]. Second document dans lequel la dimension très politique de l'opération mexicaine et du potentiel diplomatique de cette collaboration franco-mexicaine d'allure technique est soulignée :

---

[861] *Ibid*.
[862] *Ibid*.
[863] *Ibid*. Pour rappel, comme vu précédemment, il s'agit d'une aide à l'industrialisation sous la forme des Crédits d'action de politique industrielle (CAPI) dont la procédure est instruite par la Direction des Industries Métallurgiques, Mécaniques et Électriques (DIMME).
[864] « Note à l'attention de Monsieur le Ministre du Développement Industriel et Scientifique », DITEIM RII N° 60.2, 17 décembre 1973, p. 4, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69.
[865] *Ibid*.
[866] « Résumé de la note à l'attention de Monsieur le Ministre du développement industriel et scientifique », DITEIM RII N° 60.4, 18 décembre 1973, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69. Cette précision a son importance car les tentatives pour monter une opération brésilienne seront nombreuses dans les années qui suivent et elles verront s'affronter des intérêts divergents qui nuiront aux affaires de la SOFRETES dans ce pays comme nous aurons l'occasion de l'expliquer plus loin (*cf. infra* chapitre 6).

« l'inauguration probable par Monsieur le Président Echeverria de cette première installation (il s'agit du projet initial tel que F. V. Murray l'envisage dans sa lettre -voir ci-dessus. Il prévoit l'installation de la première pompe pour le mois de mars 1974 à San Luis Potosi) marquera d'une manière officielle le démarrage de cette collaboration franco-mexicaine (FRAMEX). D'après le conseiller scientifique auprès de notre ambassade à Mexico il serait souhaitable que le Ministre ou son représentant assiste à cet événement. »[867]

La note au ministre, c'est-à-dire l'évaluation de la viabilité du projet industriel SOFRETES-Établissements Pierre Mengin et de son intérêt politique pour le rayonnement de la France, s'achève sans ambiguïté sur l'urgence d'envisager l'allocation de moyens industriels. Le moteur solaire thermodynamique basse température SOFRETES est donc, pour la DITEIM, un objet industrialisable :

> Le fonctionnement des premières pompes solaires en Afrique francophone (Sénégal, Haute Volta, Mauritanie…), les nombreuses demandes pour leur acquisition et les résultats de la mission au Mexique montrent que l'exploitation de l'Énergie solaire dans ce domaine entre dans la phase industrielle. On peut dès aujourd'hui se demander s'il ne serait pas opportun d'affecter à l'énergie solaire des moyens industriels plus puissants[868].

Finalement et moyennant quelques adaptations de mise en œuvre, les préconisations du service RII de la DITEIM sont suivies d'effets, tant au niveau de la nature des futurs partenaires industriels de la SOFRETES que des aides financières publiques directes (*cf. infra* chapitres 5 et 6). Cependant, comme nous le verrons plus en détail, si la SOFRETES bénéficie d'aides au développement de 1975 à 1978, leurs montants sont modestes et ils ne lui permettent pas d'assurer l'industrialisation de ses produits. En effet, il ne s'agit pas à proprement parler d'aides à l'industrialisation (tels les crédits CAPI) mais d'un soutien à la R&D par la DGRST, que viennent compléter des financements partiels d'opérations de démonstration particulières (*via* des contrats FAC pour des prototypes installés à l'étranger par exemple)[869]. En outre, ces documents

[867] *Ibid*., p. 2.
[868] *Ibid*., pp. 4-5.
[869] La SOFRETES bénéficie par exemple de l'aide d'urgence à la recherche proposée par Curien : L'EIER de Ouagadougou commande un prototype de pompe solaire pastorale à la SOFRETES le 29 novembre 1973 (commande N°102 – « liste des commandes SOFRETES de l'année 1973 », Archives privées fonds usine Mengin). Pour répondre à cette commande, la SOFRETES dépose auprès de la DGRST un dossier de demande d'aide à la recherche le 12 janvier 1974 (« Demande d'aide à la recherche pour la mise au point d'une pompe hydraulique pastorale », Archives privées fonds usine Mengin). Curien accorde 220 000

ministériels attestent que les affaires de la SOFRETES sont traitées aux échelons les plus hauts de la hiérarchie administrative et politique, tant en France qu'au Mexique et dans tous les pays du tiers-monde demandeurs.

Il nous faut maintenant repositionner ces évaluations, menées par l'administration du MDIS, ainsi que leurs propositions d'action publique, dans le contexte du premier choc pétrolier.

3.3 Le solaire sans discussion : *continuum* pétrolier, chaleur nucléaire et « énergies nouvelles »

En cet automne 1973, la création de la SOFRETES, sa mission au Mexique et les compte-rendus de leurs suivis par le Service RII de la DITEIM se déroulent au moment où les prix du pétrole brut connaissent une brutale augmentation. Face à ce choc pétrolier[870], le MDIS relaie les préoccupations du gouvernement en matière de politique de l'énergie.

La question de la sécurisation des approvisionnements fossiles se pose avec acuité alors que leur rôle dans les pollutions environnementales est dénoncé par les mouvements écologistes. Un processus de création d'acteurs sur cette question est en cours depuis le début des années 1970 (création de l'Agence américaine pour la protection de l'environnement en 1970, du ministère de l'environnement en France en 1971, tenue de la Conférence mondiale sur l'environnement de Stockholm et publication par le Club de Rome du rapport *The limits of growth* en 1972, création du Comité inter-états de lutte contre la sécheresse dans le Sahel (CILSS) en 1973, multiplication et renforcement des mouvements écologistes comme Les Amis de la Terre, etc.)[871]. Malgré les oppositions

francs (51,16% du montant total du projet) à la SOFRETES le 23 avril 1974 (« Décision d'aide à la recherche N° 74.7.0244 », Archives privées fonds usines Mengin).

[870] Pour une approche économique classique du « choc pétrolier » voir HANSEN Jean-Pierre, PERCEBOIS Jacques, *op. cit*., 2015, pp. 32-37, 178-216.

[871] EVRARD, Aurélien, *op. cit*., 2013, pp. 81-107 ; CHARVOLIN, Florian, « L'invention de l'environnement en France (1960-71) : Les pratiques documentaires d'agrégation à l'origine du ministère de la protection de la nature et de l'environnement », thèse de doctorat en science politique, sous la direction de RENARD, Didier, Université de Grenoble 2, 1993 ; VRIGNON, Alexis, « Écologie et politique dans les années 1970. Les Amis de la Terre en France », *Vingtième Siècle. Revue d'histoire*, n°113, 2012/1, pp. 179-190 ; VRIGNON, Alexis*, Les mouvements écologistes en France, de l'apogée des Trente Glorieuses à la création des Verts*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2017 ; AMBROISE-RENDU Anne-Claude, TRESPEUCH-BERTHELOT Anna, VRIGNON Alexis (dir.), *Une histoire des*

écologistes anti-nucléaires et la cherté du pétrole, le gouvernement privilégie la continuité du rapport à la consommation énergétique, à ses convertisseurs et à ses sources primaires, en accélérant le programme de construction de centrales électronucléaires, en encourageant la pénétration de l'électricité dans les foyers et les modes de production, en améliorant les performances énergétiques de l'industrie pétrolière et de l'industrie des biens d'équipement et de transport (utilisation rationnelle de l'énergie), en diversifiant les origines des approvisionnements en hydrocarbures et en uranium, en prenant des mesures sur le court terme pour économiser sur la facture des importations pétrolières[872]. La

conflits environnementaux. Luttes locales, enjeu global, Limoges, Presses Universitaires de Limoges, 2018 ; COUMEL Laurent, MORERA Raphaël, VRIGNON Alexis (dir.), *Pouvoir(s) et environnement : entre confiance et défiance (XV^e^-XXI^e^ siècles)*), Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2018 ; VRIGNON, Alexis, « Éditorial de *La Gueule Ouverte* (1972) : de la contre-culture à l'émergence des mouvements écologistes », *in Parlement[s] – spécial concours – commentaires de documents*, 2019, n°29, pp. 183-199 ; VRIGNON, Alexis, « Les militants écologistes des années 1970 à la recherche d'une anthropologie politique de la nature », *in* LAMY Jérôme, ROY Romain (dir.), *Pour une anthropologie historique de la nature*, Rennes, PUR, 2019, pp. 253-265 ; VRIGNON, Alexis, « Journalistes et militants. Les périodiques écologistes dans les années 70 », *Le Temps des Médias*, 2015/2, n°25, pp. 120-134 ; VRIGNON, Alexis, « L'écologie politique française et l'Europe dans les années soixante-dix. Entre mobilisations citoyennes et projet politique », *in* CATALA Michel, JEANNESSON Stanislas (dir.), *De l'Europe des citoyens et la citoyenneté européenne*, Peter Lang, 2015 ; VRIGNON, Alexis, « L'écologie politique et la Protection de la Nature et de l'Environnement », *Écologie et Politique*, n°44, 2012, dossier spécial coordonné par MOUHOT Jean-François et MATHIS Charles-François, "Penser l'écologie politique en France au XX^e^ siècle", pp. 115-127 ; LES AMIS DE LA TERRE, Commission Énergie, *Tout solaire*, Pauvert, 1978 ; LES AMIS DE LA TERRE, *Tout solaire, une autre vie, une autre politique, d'autres énergies*, Éditions Jean-Jacques Pauvert, Paris, 1978 ; ARDILLO, José, *Les illusions renouvelables. Energie et pouvoir. Une histoire*, L'Echappée, 2015.

[872] Sur l'histoire de la politique énergétique française et l'analyse des chocs pétroliers lire par exemple (nous avons déjà insisté en introduction sur l'importance que revêt à nos yeux les travaux de RIFAI sur l'analyse du choc pétrolier) : LEVEAU Rémy, RIFAI Taki, « L'arme du pétrole », *Revue française de science politique*, n°4, 1974, pp. 745-769. RIFAÏ, Taki, « La crise pétrolière internationale (1970-1971) : essai d'interprétation », *Revue française de science politique*, n°6, 1972, pp. 1205-1236. RIFAÏ, Taki, *Les prix du pétrole, économie de marché ou stratégie de puissance*, Paris, Éditions Technip, 1974. L'HUILIER, Hervé, « Réponses de la Compagnie française des pétroles à la montée des risques politiques dans le monde pendant les Trente Glorieuses. Avancées et limites », *Les cahiers IRICE*, n°6, 2010/2, pp. 79-92. NOEL, Pierre, « Indépendance énergétique *versus* marché mondial », Institut d'Études Politiques et IEPE, Grenoble, 18 p. PELLETIER, François, « Pétrole et enjeux politiques en France. La naissance d'un secteur stratégique », *Vingtième Siècle*, n°140, 2018, pp. 123-136. AUZANNEAU, Matthieu, *Or noir, la grande histoire du pétrole*, Paris, La Découverte, 2016. BELTRAN Alain, BOUNEAU Christophe, BOUVIER Yves, VARASCHIN Denis, WILLIOT Jean-Pierre (dir.), *État et énergie XIX^e^-XX^e^ siècle*, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Paris, IGPDE, 2009. BELTRAN, Alain, « La question énergétique en France de 1960 à 1974 : dépendance, crise et rôle de l'État », *in* BUSSIÈRE, Éric, *Georges Pompidou face à la mutation économique de l'Occident, 1969-1974*, Presses Universitaires de France, 2003, pp. 189-200. DEMAGNY, Armelle, « La présidence française face à la mutation du marché pétrolier, 1969-1974 : analyses, anticipations et réactions », *in* BUSSIÈRE, Éric, *Georges Pompidou face à la mutation économique de l'Occident, 1969-1974*, Presses Universitaires de France, 2003, pp. 223-241. DAVIET, Jean-Pierre, « Le nucléaire et l'indépendance nationale : défis, grands projets, décisions, 1969-1974 », *in* BUSSIÈRE, Éric, *Georges Pompidou face à la mutation économique de l'Occident, 1969-1974*, Presses Universitaires de France, 2003, pp. 243-259. DEBEIR Jean-Claude, DELEAGE Jean-Paul, HEMERY Daniel, *Une histoire de l'énergie. Les servitudes de la puissance*, Paris, Flammarion, 2013. MORSEL, Henri (dir.), *Histoire de l'électricité en France*, tome troisième 1946 – 1987, Paris, Fayard, 1996.

promotion des potentiels qu'offrent les énergies dites nouvelles (les renouvelables) est progressivement confiée à des administrations de mission, telles l'Agence pour les Économies d'Energie (AEE en 1974), la Délégation aux énergies nouvelles (DEN en 1975), le Commissariat à l'Energie Solaire (COMES en 1978), puis l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie (AFME en 1982)[873]. Il n'y a pas de renversement de paradigme de la politique publique de l'énergie mais un *continuum* comme l'explique Aurélien Evrard (*cf. supra* introduction générale) en montrant de quelles manières l'action publique intègre les propositions alternatives solaires et éoliennes dans les politiques industrielles sectorielles pour en désamorcer les capacités de déstabilisation des modes de production et de consommation, voire des relations sociales et des rapports de pouvoir[874].

CHASSERIAUX, Jean-Michel, « La politique énergétique française », *Revue d'économie industrielle*, Les politiques industrielles, vol. 23, 1983, pp. 268-276. CHEVALIER, Jean-Marie, « Politique énergétique. Recension », *Revue d'économie industrielle*, Vol. 19, 1982, pp. 119-124. CHEVALIER, Jean-Marie, « Les nouvelles technologies énergétiques : leur impact sur l'évolution des prix de l'énergie », *Revue d'économie industrielle*, vol. 17, 1981, pp. 1-25. GRANIER DE LILLIAC, René, « La crise du pétrole. Une compagnie nationale : la Compagnie française des pétroles », *La nouvelle revue des deux mondes*, février 1980, pp. 270-281. MARTIN, Jean-Marie, « Chronique sur l'énergie : les nouvelles perspectives françaises à l'horizon 1985 », *Revue d'économie industrielle*, vol. 6, 1978, pp. 131-143. MARTIN, Jean-Marie, « Chronique sur l'énergie : tendance de la consommation (1979-1981) et nouvelles orientations de la politique énergétique française (1981-1990) », *Revue d'économie industrielle*, vol. 20, 1982, pp. 101-113. PUISEUX, Louis, « Les bifurcations de la politique énergétique française depuis la guerre », *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, n°4, juillet-août 1982, pp. 609- 620. ROSSIGNOL Philippe et GIRARDEAU Catherine, « Régler la facture pétrolière », *Économie et statistique*, *L'économie française en 1980,* n°84, décembre 1976, pp. 45-51. CHEVALIER, Jean-Marie, *Le nouvel enjeu pétrolier*, Paris, Calmann-Lévy, 1973. DE BRIE Christian, ETIENNE Michel, MOUSEL Michel, TURQUAN André, *Dossier R… comme racket pétrolier*, Paris, Alain Moreau, 1976. DESPRAIRIES, Pierre, *La crise de l'énergie. Le mal, le remède*, Paris, Éditions Technip, 1982. KAHN, Philippe, *De l'énergie nucléaire aux nouvelles sources d'énergie : Vers un nouvel ordre énergétique international ?*, Paris, Librairies Techniques, 1979. PUISEUX, Louis, *L'énergie et le désarroi post-industriel*, Paris, Hachette, 1973, 188 p. PUISEUX, Louis, *Le Babel nucléaire*, Paris, Éditions Galilée, 1977. Syndicat CFDT de l'Énergie atomique, *L'électronucléaire en France*, Paris, Éditions du Seuil, 1975. Syndicat CFDT de l'Énergie atomique, *Le dossier de l'énergie*, Paris, Éditions du Seuil, 1984. CHATAIN, Pierre, « La compagnie française des pétroles et la société nationale Elf-Aquitaine, comparaison des stratégies, 1974-1982 », Thèse de 3e cycle, sous la direction de PERCEBOIS, Jacques, Université des sciences sociales de Grenoble, Institut économique et juridique de l'énergie, Grenoble, 1983

[873] Nous avons présenté en introduction générale une lecture critique de l'historiographie existante sur l'histoire de l'énergie solaire. Pour rappel, trois thèses récentes présentent les institutions (AEE, DEN, COMES, AFME) créées dans les années 1970-1980 en réaction au choc pétrolier et aux critiques du programme électronucléaire nucléaire pour gouverner la contestation citoyenne et les acteurs porteurs de solutions techniques alternatives : CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op., cit*., 2012 ; PEHLIVANIAN, Sophie, *op., cit*., 2014 ; MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018. Pour une lecture d'un texte écrit depuis l'ENA à l'époque des faits, lire : MASSENET-DALLEMAGNE, Violaine, « L'influence de la crise de l'énergie sur l'administration française : le cas de l'administration de l'énergie », *Revue française d'administration publique*, Vol.8, 1978, pp. 100-135. Se référer également à notre introduction de la partie II pour une mise en perspective de l'institutionnalisation du solaire dans les années 1970-1980.

[874] EVRARD, Aurélien, *Contre vents et marées. Politiques des énergies renouvelables en Europe*, Paris, Presses de la Fondation nationale des sciences politiques, 2013 ; EVRARD, Aurélien, « Les énergies

Nonobstant, ce qui n'a pas été relevé jusqu'à présent par les travaux s'intéressant au volet solaire de la politique de l'énergie c'est précisément les éléments contenus dans la note que le Service RII de la DITEIM communique au ministre Jean Charbonnel en décembre 1973, laquelle lui explique que le moteur solaire SOFRETES fonctionne parfaitement (l'information circule déjà depuis l'été). Des faits qui contredisent l'idée que le convertisseur alternatif solaire est immature.

Entre la mission au Mexique de fin novembre 1973 et la rédaction de ce document à la mi-décembre 1973, le MDIS organise un Colloque de l'énergie à la Maison de la Chimie du 5 au 7 décembre[875]. La rencontre entre les leaders sectoriels (publics et privés) de l'énergie est censée participer à l'élaboration de l'action publique en réponse au choc pétrolier :

> Mais nous savons déjà que l'énergie nucléaire ne nous permettra pas, dès aujourd'hui, de répondre à la totalité de la demande. C'est pourquoi, il est nécessaire de préciser également ce que peuvent apporter le gaz naturel, le charbon et bien sûr le pétrole, constituant majeur de notre bilan énergétique d'aujourd'hui, et comment il nous faut agir pour que leur apport soit le plus sûr possible, compte tenu des contraintes de coût que peut supporter notre économie[876].

Ces propos de Charbonnel laissent clairement entendre que l'objectif prioritaire est la continuité d'une trajectoire technique et politique. Les interventions et les discussions de ce colloque, archivées par le ministère de l'industrie, sont explicites à cet égard. Elles offrent la possibilité de mettre en perspective l'ignorance (volontaire ou involontaire ?) du petit moteur solaire SOFRETES par des acteurs de l'industrie des sources d'énergie conventionnelles. Ces derniers présentent en effet leurs évaluations des possibles

---

renouvelables et l'électricité. À propos d'un conflit entre un secteur et une alternative de politique publique », *Écologie & politique*, n°49, 2014, pp. 67-80. Lire également DESSUS Benjamin, LAPONCHE Bernard, *En finir avec le nucléaire, pourquoi et comment*, Paris, Seuil, 2011. Bernard Laponche (1938-) est polytechnicien, docteur en physique nucléaire et en prospective énergétique. Il est employé par le CEA et responsable syndical à la CFDT dans les années 1960-1970 (https://www.encyclopedie-energie.org/auteur/laponche-bernard/). Il est également le Directeur général de l'AFME dans les années 1980. Benjamin Dessus (1939-2019) était ingénieur des télécommunications et docteur en économie, spécialiste des questions énergétiques, à l'EDF, à l'AFME et au CNRS (https://www.encyclopedie-energie.org/auteur/dessus-benjamin/). Lire aussi : LAPONCHE, Bernard, « De l'Agence pour les économies d'énergie à l'Agence française pour la maîtrise de l'énergie (1974-1990) », *in* Comité d'histoire, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et Ministère du logement, de l'égalité des territoires et de la ruralité, *Pour mémoire*, n°15, été 2015, pp. 42-57. Nous nous sommes entretenus avec Bernard Laponche le 12 octobre 2018. Pour une vision plus consensuelle de l'histoire de l'AFME lire LERAY Théo, DE LA RONCIERE Bertrand, *30 ans de maîtrise de l'énergie*, Arcueil, 2002.

[875] « Colloque sur l'énergie, 5-7 décembre 1973, Maison de la chimie, Compte-rendu intégral », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19890567, carton 6.

[876] *Ibid*., p. A3.

« nouvelles sources d'énergie » (tout du moins présentées comme tel) en complète contradiction avec les propositions sociotechniques alternatives déjà fonctionnelles, c'est-à-dire avec certaines preuves empiriques irréfutables des capacités des convertisseurs thermodynamiques basse température.

La table ronde consacrée à « l'exploration des nouvelles sources d'énergie »[877], envisagées en termes de potentiels de « substitution aux fossiles »[878], intègre à cette nouvelle catégorisation sectorielle la fusion nucléaire aux côtés du solaire et de la géothermie. Ce rapprochement est justifié par leur soi-disant origine commune, « naturelle », puisque la réaction de fusion est celle qui autoalimente le soleil lui-même. Le ton des débats et leur organisation sont clairement orientés en faveur de la solution nucléaire de puissance, une source d'énergie « pratiquement inépuisable »[879]. Les basses températures naturelles, elles aussi sources de chaleur perpétuelle mais directement récupérables, sont là par contraste décrédibilisées au regard de leurs performances nominales, jugées insuffisantes pour satisfaire les appétits croissants de consommation. Cette posture est celle du ministre Charbonnel qui, dès les premières minutes, écarte comme une évidence l'idée que l'énergie est partout disponible, affirmant ainsi que ses sources sont rares, qu'il faut les chercher et que nous en sommes donc dépendants : « aussi vital que soit notre approvisionnement en énergie, aussi universelles que soient ses implications, le monde se comportait, et cela nous apparaît maintenant bien paradoxal, comme si cet approvisionnement était une chose naturelle, comme si l'énergie *était aussi*

[877] « Table ronde N°5, L'exploration de nouvelles sources d'énergie », *Ibid.*, p. E.

[878] Considérer le problème à résoudre en termes de substitution d'une quantité d'électricité photovoltaïque à une quantité de pétrole par exemple pour satisfaire une demande identique, sous-entend que le problème n'est pas la nature de la demande mais la capacité quantitative d'une solution à la satisfaire par rapport à une autre. Ce raisonnement permet d'éviter de penser en termes d'usage et d'usagers, c'est-à-dire de service rendu par une technique à la satisfaction d'un besoin en plaçant au centre de l'évaluation l'analyse des relations sociales et politiques à l'objet technique. Ainsi, l'approche par substitution des sources d'énergies favorise les évaluations technico-économiques qui accordent une part plus significative dans la décision politique relative aux choix des technologies énergétiques aux déterminants de rendement et de puissance, comme nous l'avons explicité en introduction générale et au chapitre 1. En d'autres termes et en jouant sur les mots, cela permet de substituer l'évaluation technico-économique favorable au *statu quo* fossile et nucléaire, à l'évaluation sociotechnique, favorable aux alternatives solaires thermodynamiques par exemple.

[879] Intervention de Jules Horowitz (1921-1995, X 41), Directeur de l'institut de recherche fondamentale du CEA, *Ibid*., p. E8. Lire par exemple dans la revue de l'École polytechnique : HOROWITZ Jules, TROCHERIE Michel, « La fusion thermonucléaire », *La Jaune et la Rouge*, 1980, pp. 84-90. Il est inexact que l'énergie nucléaire repose sur une source primaire inépuisable puisque le carburant uranium est fabriqué à partir d'un minerai épuisable.

disponible par exemple que l'air. »[880] Ce discours et son topos participent d'un imaginaire de la rareté et de la pénurie, d'une forme de défi et d'inquiétude diffusés dans les cœurs et les esprits[881]. Quant aux alternatives qui pourraient exister, cette perspective les restreint *ab initio* à ce qu'elles seraient déjà, c'est-à-dire au prolongement d'une évaluation passée défavorable : « pouvons-nous aussi compter sur des ressources jusqu'ici considérées comme marginales ou futuristes ? »[882]

Ivan Peychès (1906-1978), qui co-présidait déjà le congrès de l'UNESCO en juillet, fait un bilan des dispositifs solaires connus (de leurs avantages et inconvénients) et des voies qui devraient être suivies par l'action publique pour espérer pouvoir en exploiter les bénéfices dans dix ans. Pour Peychès, les applications domestiques sont dès à présent possibles pour le chauffage des locaux et l'eau chaude sanitaire. Il y aurait une conjonction d'intérêt entre le chauffage électrique et le chauffage solaire car l'isolation des locaux est particulièrement nécessaire dans les deux cas. Aussi, les deux dispositifs doivent aller de pair. Cette solution permettrait donc une plus forte pénétration de l'électricité domestique tout en reléguant le solaire en appoint, bien que ses propos suggèrent une interprétation de sens inverse. Peychès plaide alors pour une politique d'urbanisation volontaire immédiate : « une étude de l'E.D.F. a montré que 30 % de l'énergie domestique pourrait être satisfaits par l'énergie solaire ; or, l'énergie domestique représente le quart de la consommation d'énergie en France, cela représente donc 8 à 9 % de l'énergie totale consommée en France qui pourrait être, à court terme, couverts par le soleil. Pourquoi n'a-t-on pas préconisé des subventions par les pouvoirs publics ? C'est une question que j'ai soulevée, j'ai fait un appel non déguisé. Alors, ne revenons pas là-dessus. »[883] Peychès poursuit en suggérant que si les usages intérieurs de convertisseurs solaires (il parle du solaire thermique) se développent suffisamment par la création d'un marché initié par l'État, les techniques pourraient alors être exportées. C'est

[880] « Colloque sur l'énergie, 5-7 décembre 1973, Maison de la chimie, Compte-rendu intégral », p. A1, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19890567, carton 6.
[881] Pour une réflexion sur le rapport à la ressource en termes de rareté et de pénurie, la littérature est abondante aussi nous ne pouvons ici que suggérer quelques titres comme BOOKCHIN, Murray, *Au-delà de la rareté, l'anarchisme dans une société de l'abondance*, Les Éditions Ecosociété, 2015 ; WINNER, Langdon, *op. cit*., 2002 ; SAHLINS, Marshall, *Age de pierre, âge d'abondance. L'économie des sociétés primitives*, Gallimard, 1976 ; BLAY, Michel, *Dieu, la Nature et l'Homme. L'originalité de l'Occident*, Paris, Armand Colin, 2013 et notamment la deuxième partie « Nature requise et culte de l'énergie : l'épuisement de la nature ».
[882] « Colloque sur l'énergie, 5-7 décembre 1973, Maison de la chimie, Compte-rendu intégral », p. A1, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19890567, carton 6.
[883] *Ibid*., p. E2.

à ce moment de son exposé qu'il fait référence à l'existence de la pompe solaire de Chinguetti, sans donner d'explication particulière. Or il ne s'agit pas d'un convertisseur thermique, mais thermodynamique, et sa diffusion à l'étranger n'est en rien la conséquence du développement préalable d'usages intérieurs. Peychès considère donc uniquement la pompe de Chinguetti comme une solution d'exhaure de l'eau destinée aux zones arides des nations africaines. On ne peut pas comprendre qu'il s'agit d'un petit moteur solaire au très large spectre d'applications et aux capacités modulables :

> L'exportation des techniques françaises serait le prolongement normal du développement des usages intérieurs. La généralisation des réalisations françaises, telles que celles faites en Mauritanie – encore sous l'égide de l'ANVAR – pour l'exhaure de l'eau en zones arides, grâce aux pompes solaires, serait la meilleure assistance que notre pays pourrait offrir aux Nations africaines[884].

Peychès préconise *à contrario* un plan national de développement de la filière photovoltaïque et des centrales héliothermodynamiques à concentration (hautes températures)[885]. Selon lui les projections les plus optimistes scénariseraient deux phases d'action publique sur dix ans. D'abord une évaluation des puissances à installer et des coûts correspondants en fonction des filières, à comparer au moyen de prototypes de laboratoires. Puis la réalisation d'installations pilotes « pour aboutir, au cours du VIII^{ème} Plan, à la décision de passer au stade industriel »[886]. Mais en aucun cas il ne s'agit de convertisseurs à bas potentiels, lesquels peuvent permettre la récupération des faibles gradients de températures existants, naturels ou industriels, et pourraient ouvrir à des dispositifs concurrents à la production d'électricité centralisée conventionnelle. Le petit moteur solaire est une fois de plus absent du débat, restreint à une vague référence, à une opération sahélienne développementaliste. Cependant, la conclusion de Peychès rappelle les sommes dérisoires, en comparaison de celles englouties dans les secteurs conventionnels et le nucléaire, qu'il serait nécessaire d'investir dans ces applications solaires déjà existantes pour en exploiter les potentiels renouvelables et les retombées

[884] *Ibid*., p. E4.
[885] Ivan Peychès (1906-1978) était spécialiste du verre (intéressé notamment par ses propriétés électronique), Directeur scientifique de la Compagnie de Saint-Gobain, administrateur de l'ANVAR, Académicien. https://archives.saint-gobain.com/ressource/xxe/ivan-peyches-1906-1978-directeur-de-la-recherche ; CHOUTEAU Marianne, FOREST Joëlle, NGUYEN Céline, « L'apport de la mise en récit pour éclairer le processus d'innovation. Le cas du TEL à travers ses personnages et leurs épreuves », *Artefact. Techniques, histoire et sciences humaines*, n°16, Mises en récit d'innovation, 2022, pp. 45-70.
[886] « Colloque sur l'énergie, 5-7 décembre 1973, Maison de la chimie, Compte-rendu intégral », p. E4, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19890567, carton 6.

politiques en termes d'image de marque environnementale et de rayonnement de la France à l'étranger :

> En conclusion, et en écartant tout esprit de concurrence (nous ne voyons pas comment cela est possible), lorsqu'on compare les sommes consacrées à la recherche de nouveaux gisements de pétrole off-shore, ou à celles consacrées aux recherches sur la fusion contrôlée, les sommes qu'il conviendrait de consacrer à l'exploration des voies d'utilisation de l'énergie solaire paraissent bien modestes sinon dérisoires, car elles portent sur l'optimisation de technologies existantes et de risques faibles. Il y a là un enjeu énergétique et économique sur le plan mondial où la France doit être partie prenante. Elle qui a déjà réalisé des percées dans diverses voies solaires peut se ménager politiquement une bonne position vis-à-vis des pays où s'exerce naturellement son influence, tout en accroissant son indépendance par l'utilisation d'une source universelle, inépuisable et propre d'énergie[887].

En réponse, le sénateur Jean-François Pintat s'oppose catégoriquement à la faisabilité des alternatives autres que nucléaires, laissant entendre que le créneau disponible pour accéder aux usages solaires quotidiens semble trop court et que l'horizon est d'abord celui de la surrégénération (et de la disparition de la centrale thermique au fuel), donc du tout nucléaire :

> Pour amortir les études et les installations de l'énergie (solaire), entre la mort de la centrale classique au fuel, le début des surrégénérateurs que nous attendons tous, aura-t-ton le temps de mettre en œuvre cette énergie (solaire) ? On peut dire que chaque énergie a son heure ; est-ce actuellement l'heure de l'énergie solaire ? Si oui, il ne faut pas la laisser passer. Nous avons vu cela dans d'autres domaines, par exemple pour les usines marémotrices, qui ont eu un certain temps une grande actualité, mais qui, on peut le dire, ont laissé passer leur heure. Eh bien, est-on à l'heure de l'énergie solaire ?[888]

Il ne reconnaît pas, dans une vision classiquement linéaire et évolutionniste des techniques, que les dispositifs solaires existent déjà et que leurs coûts sont très faibles en comparaison de ceux des différents types de réacteurs nucléaires (fission, fission avec surrégénération et fusion). La présence à cette table ronde du sénateur Pintat et son intervention sont introduites par une formule rhétorique convenue, « M. Pintat vous représentez auprès de nous l'opinion publique »[889], mais non dénuée ici d'ambiguïté quand on sait que Pintat est un fervent défenseur de la solution nucléaire au Parlement comme nous le résume fort bien sa biographie sénatoriale officielle :

> Jean-François Pintat (1923-1990), ingénieur centralien… Passionné par les questions énergétiques, sur lesquelles il publie l'ouvrage *Énergie. Quel programme pour 1986 ?*,

[887] *Ibid*.
[888] *Ibid*.
[889] *Ibid*.

> l'ancien directeur général adjoint du Gaz de Bordeaux leur consacre la plupart de son activité sénatoriale et intervient dans tous les débats qui les concernent. Président du groupe sénatorial d'études de l'énergie créé en 1972, il s'inquiète de l'approvisionnement énergétique de la France, atteinte par deux chocs pétroliers successifs. Il se fait notamment l'avocat du programme nucléaire dans lequel il voit le meilleur moyen de réaliser l'indépendance énergétique française. La commission des affaires économiques lui confie du reste les rapports sur les économies d'énergie en 1974, le projet de loi relatif à l'exploration et à l'exploitation des ressources du plateau continental en 1976, le projet de loi sur les économies d'énergie et à l'utilisation de la chaleur en 1980 ainsi que l'avis sur le budget de l'énergie de 1977 à 1980. Il est également nommé membre du Conseil supérieur du pétrole en 1976 et du Comité national interprofessionnel pour les économies d'énergie en 1978. Désigné pour siéger au Conseil supérieur du gaz et de l'électricité, il en devient président en 1986. Il préside aussi le Comité national de l'eau à partir de 1978[890].

Aussi, les discussions sur le solaire ne vont-elles pas plus loin, mais elles se prolongent par une présentation des applications de la géothermie, à haute et à basse température. Malgré une plaidoirie de M. Guillemin[891] pour une intervention beaucoup plus soutenue des pouvoirs publics en faveur de la géothermie basse température, très décentralisée et aux très fortes potentialités sur le territoire national, mais de façon régionalisée, l'argumentaire est balayé d'un revers de main par le Président de séance M. Balaceanu[892], lequel ne laisse planer aucun doute quant à la seule solution nouvelle réellement envisageable, celle de la fusion nucléaire, puisqu'elle semble introduire la fusion sur le même pied que le solaire ou la géothermie au nom d'une origine commune prétendument naturelle : « merci, Monsieur Guillemin de cet exposé sur les possibilités régionales limitées, mais concrètes qu'offre cette source d'énergie. Venons-en tout de suite à ce qui paraît être l'espoir ultime, qui est un phénomène peut être naturel, mais beaucoup moins familier aux hommes, c'est-à-dire les questions de fusion. Je donne la

---

[890] https://www.senat.fr/senateur/pintat_jean_francois000514.html

[891] Claude Guillemin (1923-1994), Directeur scientifique au BRGM de 1968 à 1978.
http://www.annales.org/archives/x/guillemin.html

[892] C'était Robert Gibrat (X 22, *cf. supra* introduction générale), le grand défenseur français du programme d'usine marémotrice de la Rance, qui était prévu comme Président de séance (« Programme indicatif », Archives nationales, ministère de l'industrie, répertoire 19771408, carton 8) mais il est remplacé par Balaceanu alors Directeur général de l'Institut du pétrole. Un choix qui privilégie plutôt une orientation conventionnelle des considérations sur « les nouvelles sources d'énergie ». Lire par exemple le dernier article de Robert Gibrat, publié juste avant son décès : GIBRAT, Robert, « L'énergie marémotrice en 1980 », *La Jaune et la Rouge*, 1980, pp. 104-111. Et pour une analyse désorientée des techniques de conversion de l'énergie mécanique des mers (procédé houlomoteur par exemple) lire : ROCHE Sylvain, CLÉMENT Alain H., BABARIT Aurélien, BOUNEAU Christophe, « Transformer les vagues en énergie : utopie ou réalité ? », *Artefact*, n°9, 2018, pp. 239-265.
Jean Claude Balaceanu est directeur général de l'Institut français du pétrole (1973-1988).
https://www.monde-diplomatique.fr/1968/02/BALACEANU/28234
https://www.whoswho.fr/decede/biographie-jean-claude-balaceanu_1754

parole à Monsieur Horowitz[893]. »[894] Pourtant, le petit moteur SOFRETES aurait pu également avoir ici une place puisqu'il permet de convertir de faibles écarts de températures, quelque soit leur provenance (solaire, géothermique, industrielle, etc.). D'ailleurs, et nous le verrons, la SOFRETES adaptera, malheureusement sans lendemain, son dispositif à la géothermie basse température en installant une centrale électrique de moyenne puissance à Chaudes-Aigues et une autre en Thaïlande (*cf. infra* chapitre 4). Guillemin le préconise d'ailleurs dès cette époque, mais visiblement sans connaître le moteur SOFRETES : « il paraît donc relativement intéressant de réaliser rapidement, en France, un inventaire de nos possibilités et aussi d'améliorer la technologie des moteurs thermiques. »[895]

La table ronde se poursuit sur la question de l'hydrogène combustible comme potentiel vecteur chimique de l'énergie (substituable au pétrole et au charbon), un vecteur dont la production à partir de la molécule d'eau est envisagée grâce à la chaleur des réacteurs nucléaires (notamment par surrégénération et fusion), ce qui, selon le sénateur Pintat permettrait de se passer de l'intermédiaire électrique (dans le cas du procédé de l'électrolyse de l'eau)[896]. La dissociation de l'hydrogène et de l'oxygène de l'eau n'est pas envisagée grâce à la conversion de la chaleur solaire[897]. Balaceanu conclut la

[893] Jules Horowitz (X 41, 1921-1995) est une figure éminente du CEA. Il y dirige à cette époque la recherche fondamentale. FOASSO, Cyrille, « Histoire de la sûreté de l'énergie nucléaire civile en France (1945-2000). Technique d'ingénieur, processus d'expertise, question de société », thèse de doctorat en histoire, sous la direction de RAMUNNI, Girolamo, Université Lumière Lyon 2, 2003, 3 vol., p 38-39. Lire également HOROWITZ Jules, TROCHERIE Michel, « La fusion thermonucléaire », *La Jaune et la Rouge*, n°353, Juin 1980, pp. 84-90.

[894] « Colloque sur l'énergie, 5-7 décembre 1973, Maison de la chimie, Compte-rendu intégral », p. E8, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19890567, carton 6.

[895] *Ibid*., p. E7.

[896] *Ibid*., p. E11.

[897] C'est pourtant une application existante qui présente peu de difficultés techniciennes à tel point que, dans les années 1970, Jean-Luc Perrier, un individu présenté comme isolé par Pehlivanian, s'illustre brièvement dans les médias (et surtout par les multiples rééditions de son livre) par la construction, avec ses propres moyens, dans sa propriété, d'un dispositif solaire à concentration (semblable à celui construit par le CNRS à Montlouis) qui lui permet de convertir la chaleur solaire en électricité, puis d'utiliser cette dernière pour séparer l'hydrogène de l'eau afin de s'en servir comme combustible dans sa voiture individuelle de série, transformée pour l'occasion. « Afin de minimiser les frais, il récupère chez les ferrailleurs et dans des déstockages de matériaux, les différents éléments qui lui permettent de bâtir, peu à peu, un four solaire dans son jardin, dont les dimensions le situent parmi les trois ou quatre plus grands du monde après les deux fours d'Odeillo (CNRS et Armée) … Il permet d'atteindre environ 1 200°C et une puissance d'environ 50 kW, soit l'équivalent du four de Mont-Louis … L'électricité obtenue par son système héliothermodynamique, permettrait de fabriquer de l'hydrogène par l'électrolyse de l'eau…Ayant pu constater que le rendement de sa Simca 1000 transformée est meilleur que celui d'un véhicule à essence, Jean-Luc Perrier se lance donc dans la fabrication d'hydrogène solaire. » PEHLIVANIAN, Sophie, *op., cit*., 2014, pp. 518-519. PERRIER, Jean-Luc, *Énergie solaire et hydrogène, état actuel des applications*, Éditions techniques & scientifiques française, 1981. Plus généralement sur l'Hydrogène lire par exemple :

parenthèse hydrogène sur les coûts encore prohibitifs de la pile à hydrogène embarquée dans les automobiles, et parvient ainsi à faire revenir la conversation sur les sources ou vecteurs d'énergie chimique conventionnelles, sous forme de carburants, pour demander à Guillemin non pas de reprendre son exposé sur la géothermie basse température mais plutôt de vanter les possibles des schistes bitumineux[898]. Cette action sur la trajectoire de la discussion favorise la transition avec sa propre intervention sur les nouvelles formes d'exploitations pétrolières : les forages *off-shore*, qu'il considère représenter une nouvelle source d'énergie disponible[899] :

> C'est donc là une source d'énergie importante, très large, accessible et qui par rapport aux ressources sur lesquelles les hommes pouvaient compter apparaît comme nouvelle. Eh bien, comme vous l'avez vu, nous avons cherché à faire un tour d'horizon en passant des énergies solaires, de l'énergie géothermique, la fusion, à l'énergie chimique que je dirai traditionnelle, et tout ceci demande un effort de recherche technologique considérable, et met en jeu l'ensemble du monde scientifique et technique français[900].

Nous le voyons la catégorie « nouvelles sources d'énergie » permet de diluer sous un « référent-parapluie » la chaleur solaire et géothermique dans un ensemble de sources primaires de combustibles, conventionnelles et connues, mais pas encore pleinement exploitées, sans leur accorder de spécificité particulière, tel que leur aspect perpétuel, récupérable et convertible à faible gradient, lequel pourrait porter une alternative de politique publique. En complète contradiction avec le fait qu'un convertisseur thermodynamique de faibles gradients de températures naturelles ou industrielles existe bel et bien, Balaceanu met au final sur le même plan d'immaturité technologique le

---

ALLEAU, Thierry, *L'Hydrogène, énergie du futur ?,* EDP Sciences, 2007 ; KALINOWSKI Laurent et PASTOR Jean-Marc, Rapport au nom de l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, *L'hydrogène : vecteur de la transition énergétique* ?, 19 décembre 2013 ; SIMONCINI, Nicolas, « Histoire de la recherche sur les piles à combustible en France des années soixante aux années quatre-vingt », thèse de doctorat en histoire, sous la direction de BELOT, Robert, Université de Bourgogne Franche-Comté, 2018. Rappelons qu'Augustin Mouchot avait également prévu de travailler sur l'hydrolyse solaire de l'eau avant de devoir interrompre ses recherches faute de financement. CAILLE, Frédéric, op. cit. 2023.

[898] « Colloque sur l'énergie, 5-7 décembre 1973, Maison de la chimie, Compte-rendu intégral », p. E13, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19890567, carton 6.

[899] De la part du Directeur général de l'Institut français du pétrole un tel enthousiasme pour la poursuite de la pétrolisation à tout prix semble cohérent. Sur L'IFP, lire : Assemblée nationale, Rapport d'information parlementaire, *L'Institut français du pétrole*, n°3461, 12 décembre 2001. Sur les orientations de la politique publique pétrolière française au moment des chocs pétroliers de 1973 et 1979, notamment l'exploitation *Off-shore*, voir certains numéros spéciaux de la revue de l'École Polytechnique comme « *Tant qu'il y aura du pétrole* », *La Jaune et la Rouge*, n° 3, Juin 1974 ; « L'énergie », *La Jaune et la Rouge*, n°353, Juin 1980 (notamment pp. 18-37) ; « Le pétrole off-shore », *La Jaune et la Rouge*, n°896, Juin-Juillet 1984.

[900] « Colloque sur l'énergie, 5-7 décembre 1973, Maison de la chimie, Compte-rendu intégral », p. E16, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19890567, carton 6.

solaire, la géothermie, l'hydrogène combustible, le pétrole off-shore et la fusion nucléaire, et ceci pour plaider les besoins de financements publics en faveur de ces deux derniers, « qui nécessitent des moyens considérables et donc des crédits importants »[901], renchérit le sénateur Pintat, en assurant qu'il travaille au Parlement en ce sens.

Souhaitant accélérer la fin de cette table ronde pour laisser la place à la suivante, les mots du Président de séance sont particulièrement emblématiques de l'inertie qui conduit les choix politiques en matière énergétique au moment du choc pétrolier et qui permettent de comprendre que la solution solaire n'a que peu de chance d'émerger : « on me fait dire, et je le sais, qu'il y a la relève du charbon derrière nous, qu'il est donc important de lui ménager la place à laquelle elle a droit, compte tenu des réserves absolument extraordinaires que ce combustible représente. »[902] Mais le bon déroulé du congrès est alors interrompu par l'intervention de personnalités écologistes comme Gabriel Ferone de la Selva[903] qui interpelle le Président et M. Peychès sur leur mauvaise volonté à reconnaître les capacités opérationnelles des dispositifs de récupération des gradients naturels comme ceux de l'énergie thermique des mers. Peychès désigne pour sa part par l'expression « le Néo-Claude »[904] les solutions techniques les plus récentes (avec l'intermédiaire d'un fluide gazeux liquéfiable à basse température) qui prolongent celle que George Claude expérimenta dans la première moitié du XX^{e} siècle, dont nous avons montré au chapitre 1 la filiation aux multiples dimensions avec le petit moteur solaire de la SOFRETES et « dont les études ont été, à l'EDF en particulier, interrompues en attendant l'avènement de l'énergie nucléaire que l'on espérait si prochain »[905]. Ferone de la Selva dénonce la mauvaise foi de la table ronde dont un des objectifs serait de justifier l'augmentation des crédits publics à allouer à l'industrie des énergies conventionnelles et à celle du nucléaire : « il me semble qu'on manque d'énergie actuellement. Or, je vous apporte gratuitement une possibilité rapide de trouver des solutions, en attendant. Alors,

[901] *Ibid*., p. E15.
[902] *Ibid*., p. E17.
[903] Gabriel Ferone de la Selva, Président du Centre audiovisuel international de documentation et Président de l'association Écologie, Énergie, Survie. FERONE de la SELVA Gabriel, DUCHATEL Jacques, « Essais sur l'histoire des tentatives d'utilisations de l'électricité comme activateur biologique en agriculture de 1870 à 1970 », *Bulletin d'histoire de l'électricité*, 1987, pp. 264-265. Cet article est cité par VARASCHIN, Denis, « État et électricité en France en perspective historique », *in* BELTRAN Alain, BOUNEAU Christophe, BOUVIER Yves, VARASCHIN Denis, WILLIOT Jean-Pierre (dir.), *État et énergie XIX^{e}-XX^{e} siècle*, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Paris, IGPDE, 2009, note 115, p. 83.
[904] « Colloque sur l'énergie, 5-7 décembre 1973, Maison de la chimie, Compte-rendu intégral », p. E19, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19890567, carton 6.
[905] *Ibid*., p. E17.

est-ce que cela vous intéresse ? Si cela ne vous intéresse pas, dites que vous êtes en train de vous ficher du monde et de vendre des kW à des prix exorbitants au public. »[906] Il poursuit, véhément, à l'intention de Peychès : « c'est un problème technique qui est résolu ! il a été résolu en 1962 et personne n'a voulu mettre dix centimes pour s'en occuper ! »[907] Peychès se range alors du côté de Balaceanu et du sénateur Pintat pour débouter Ferone de la Selva dans un échange cinglant et le faire taire. Les préoccupations écologistes sont également représentées dans l'auditoire par Brice Lalonde, et vraisemblablement par Alain Hervé[908]. Ce dernier pose une question à Peychès sur l'énergie solaire, mais il n'obtient pas de réponse orale pendant la séance, simplement une réponse écrite, jointe en annexe du compte-rendu. Elle mérite d'être relevée ici, car elle illustre parfaitement les oppositions existantes et les tensions qui en résultent, tout autant que leur relégation et le refus d'engager le débat sur la dimension politique des choix techniques énergétiques :

> Question de Monsieur Hervé : L'apport fondamental de l'énergie solaire est de permettre à toute personne de se dégager du contrôle monopolistique sur l'énergie exercé par les États et les grandes sociétés. Le nucléaire au contraire augmente cet assujettissement. Faudra-t-il une vraie crise après celle artificielle qu'on nous impose pour permettre cette reconversion sociale ? Le pétrole ne devant servir qu'à la pétrochimie, pourquoi les pouvoirs publics gaspillent-ils les fonds publics dans l'impasse nucléaire et ne font à peu près rien pour le solaire ? Réponse : Cette question a une incidence politique qu'on ne peut traiter sur le fond ici. On ne peut présumer de la position des grandes compagnies pétrolières ou des grandes administrations engagées dans l'énergie, vis-à-vis de l'énergie solaire. La position favorable de l'EDF, qui sent l'intérêt de la combinaison soleil-électricité dans l'habitat est néanmoins encourageante[909].

Alors que Balaceanu assure Ferone de la Selva que sa proposition sur l'énergie thermique des mers sera étudiée par le MDIS, plein d'ironie, il assène qu'au final, la seule intervention vraiment valable (car scientifique et technique) de cette table ronde dédiée aux « nouvelles sources d'énergie » est celle sur la fusion nucléaire, bottant ainsi en touche toutes les autres velléités d'alternatives :

> Je m'excuse mais rien que la mise en place de cette table ronde, compte tenu de ce que chacun des orateurs avait à dire, compte tenu par exemple de la façon dont Monsieur

[906] *Ibid*., p. E19.
[907] *Ibid*.
[908] Alain Hervé (1932-2008) est le fondateur des Amis de la Terre en France en 1970. Il fut une grande figure de l'écologie politique en France. https://reporterre.net/Hommage-a-Alain-Herve-pionnier-de-l-ecologie-en-France
[909] « Colloque sur l'énergie, 5-7 décembre 1973, Maison de la chimie, Compte-rendu intégral », p. FII-III, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19890567, carton 6.

> Horowitz a été amené à exposer le problème de la fusion, qui est d'une complexité considérable et qui est en même temps, lui, l'avenir de l'humanité à long terme, comporte des difficultés techniques considérables, car cette table ronde est scientifique et technique bien plus qu'économique et d'idées générales {c'est nous qui soulignons}[910].

Le ton est donc sans ambiguïté et ce Congrès de l'énergie du début décembre 1973, organisé à chaud en plein choc pétrolier, permet de contextualiser l'itinéraire de la visibilité et de l'évaluation du moteur solaire SOFRETES au sein du MDIS, ainsi que les rapports de forces auxquels il doit faire face. Au moment où le Service RII de la DITEIM transmet au Ministre sa proposition d'action publique en faveur du moteur solaire de la SOFRETES, à la faveur de la commande mexicaine, de la certitude du bon fonctionnement de cette solution technique, de la reconnaissance de sa maturité suffisante pour être industrialisée, de son soutien par certains acteurs de l'aide à l'innovation issus du Corps des Mines, de son utilité politique pressentie pour servir au rayonnement de la France, le ministre et les acteurs sectoriels des industries énergétiques ont déjà fait le choix de la continuité et ne paraissent pas vouloir arbitrer autrement les conflits d'alternatives (qui existent explicitement).

Face à l'imprévisible dossier mexicain et à la machine solaire alternative qui fonctionne déjà dans le Sahara, il est alors nécessaire de contrôler le convertisseur SOFRETES par une action publique solaire à l'étranger, puisqu'il ne semble pas souhaitable de rejeter la demande mexicaine, et que les pouvoirs publics sont désormais actionnaires à presque 50 % de la SOFRETES.

Un auditeur du colloques scande dans la salle, non sans ironie : « Au charbon ! Au charbon ! (Rires) »[911].

Conclusion chapitre 2

De l'été 1973 au choc pétrolier de l'automne, les dispositifs de conversion de l'énergie solaire ne semblent pas capter l'attention du ministre de l'Industrie Charbonnel. La question solaire n'est pas à son agenda. Pourtant, l'actualité du moteur solaire de Chinguetti est plutôt favorable à cette forme d'énergie renouvelable, participant à la construction d'une solarité des possibles chez de nombreux observateurs, en France et à

[910] *Ibid*., p. E19.
[911] *Ibid*., p. E19.

l'étranger. Il devient de plus en plus difficile de rejeter l'évidence : le MGS 2-1000 fonctionne, cela commence à se savoir, et le Président mexicain passe une commande de dix pompes solaires à la SOFRETES. Au sein du MDIS, une veille solaire relaie les résultats du congrès de l'UNESCO « le soleil au service de l'homme », de la mission commerciale SOFRETES au Mexique, et elle en évalue les résultats. Un de ses agents, appartenant au corps des ingénieurs des Mines, Christian Marbach, qui est en contact avec Girardier depuis 1972, participe, avec l'ANVAR, à la création de la SOFRETES en octobre 1973, une PME issue des Etablissements Pierre Mengin. Si Marbach entre au capital de la SOFRETES au moyen de la SOFINNOVA, une société de capital-risque (aux capitaux mixtes), il est avant tout un haut-fonctionnaire du MDIS où il participe activement à l'élaboration de la politique d'aide à l'innovation. C'est d'ailleurs le service RII de la DITEIM, dirigé par Thierry Gaudin, un très proche collaborateur de Marbach, qui établit plusieurs évaluations de la proposition sociotechnique de la SOFRETES, ainsi que des capacités de la récente PME à l'industrialiser et à la commercialiser. Les installations prototypiques d'un dispositif solaire thermodynamique basse température des Etablissements Pierre Mengin y sont clairement identifiées comme fonctionnelles et la question de sa future industrialisation ainsi que des usages de son potentiel de séduction politique au service du rayonnement de la France sont énoncés. Des pistes pour une action publique solaire urgente sont alors proposées : un rapprochement avec le CEA est préconisé, vraisemblablement motivé par sa politique de diversification industrielle récemment mise en œuvre, ainsi que le sont des aides publiques à l'industrialisation dans le cadre des mécanismes institutionnels de la politique publique d'aide à l'innovation qui se met en place depuis 1971 ; la nécessité d'élargir ses partenaires financiers au-delà des acteurs de la valorisation de la recherche nationale et du *Venture capital* ; la participation d'un leader sectoriel engagé dans le programme électronucléaire national est suggérée, pour mener des opérations commerciales en Iran et en Irak ; enfin, la production d'une action publique solaire à l'étranger est encouragée dans le cadre d'un programme de coopération technique franco-mexicain dont la dimension diplomatique et commerciale est évidente (tout comme avec l'Iran et l'Irak).

A ce stade de notre étude, nous observons que l'attention au solaire au sein du MDIS est portée par un service de son administration (le RII de la DITEM) qui, en décembre 1973, soumet au sommet de la hiérarchie décisionnelle (au ministre) un plan

d'action publique pour le solaire de faible puissance, photovoltaïque et thermodynamique basse température (notamment pour le pompage). Cette dernière trajectoire sociotechnique étant exclusivement centrée sur la SOFRETES. Deuxièmement, nous remarquons qu'il est question d'impliquer le CEA et FRAMATOME dans la destinée de la SOFRETES. Une telle orientation du capital d'une PME solaire pose clairement la question des objectifs politiques poursuivis, tout comme l'évocation de l'Iran et de l'Irak comme clients potentiels. Il s'agit de rapprocher institutionnellement des acteurs du nucléaire (civil et militaire) qui ont une activité internationale (vente de centrales, d'usines de retraitement du combustible usagé, approvisionnement du cycle du combustible uranium) et une modeste PME d'un secteur traditionnel proposant des pompes solaires de 1kW destinées à satisfaire les besoins de communautés villageoises isolées dans les zones arides les plus défavorisées du monde. Le contraste est assez saisissant. Or, comme l'explique Florent Pouponneau lorsqu'il étudie les changements de la politique française d'exportations nucléaires de 1974 à 1976, l'époque est « aux tendances prolifératrices du ministère de l'Industrie et du CEA »[912]. Un lien existe-t-il entre l'uranium et le solaire ?

Les propos du ministre Charbonnel, comme ceux des agents des industries des énergies conventionnelles, et même parfois ceux de certains acteurs du solaire étatique (EDF, CNRS), lorsqu'ils sont mobilisés au congrès de l'UNESCO, puis au congrès de l'énergie organisé concomitamment au choc pétrolier, n'accordent aucune crédibilité aux convertisseurs thermodynamiques basses températures. Ils font ainsi la sourde oreille aux résultats expérimentaux de la communauté solaire internationale et participent à l'élaboration d'une politique publique de l'énergie qui ne laisse aucun autre choix que la poursuite des techniques déjà éprouvées.

En 1973, la solarité divergente que nous avons décrite au chapitre 1 se prolonge donc, en contradiction avec les faits, puisque les éléments cognitifs de la solarité des impossibles nient les potentiels des réalisations existantes : les alternatives techniques au fossile et au nucléaire civil sont toujours écartées pour leur incapacité technico-économique à soutenir la demande quantitative croissante de puissance. La définition des

[912] POUPONNEAU, Florent, « Les changements de la politique française d'exportations nucléaires (1974-1976) : un triple double jeu », *Critique internationale*, n° 58, 2013/1, p. 112.

problèmes de l'énergie à résoudre empêche la définition d'une solution alternative solaire à basse température. Le solaire est marginalisé de manière générale et les convertisseurs thermodynamiques de récupération de faibles gradients de températures naturelles ou industrielles tout particulièrement. Ils sont soit complétement oubliés, soit amputés de l'inventaire réel de leurs possibles (chauffer de l'eau sanitaire mais pas transformer cette chaleur stockée en force mécanique par exemple). Cette solarité divergente héberge donc une confrontation de paradigmes entre les tenants de solutions conventionnelles, universelles, centralisées et monopolistiques, qui sont dominants et qui considèrent que le choix politique d'une technique énergétique repose sur des variables technico-économiques, et ceux, dominés, qui leur préfèrent des variables sociotechniques plus favorables aux solutions décentralisées, autonomes, renouvelables, de faible puissance et plus appropriables. Ce qui, pour finir, entretient la solarité divergente, mais rejette la certitude qu'un besoin satisfait par un dispositif industriel déjà en place puisse l'être par un autre :

> Plus généralement, les études de choix techniques montrent que des alternatives existent souvent, et que le fait qu'une technique l'emporte sur une autre ne prouve pas qu'elle est très supérieure aux autres, ni même qu'elle soit simplement supérieure. Nous avons des exemples de techniques en usage qui réduisent les avantages acquis lorsqu'on les compare à d'autres, et des sociétés peuvent s'enfermer dans des systèmes techniques moins bons que ce qu'offriraient les alternatives existantes[913].

Le prolongement de la solarité divergente par le sommet de la hiérarchie décisionnelle en décalage avec les termes de l'évaluation et de l'élaboration d'une action publique solaire par le service RII de la DITEIM paraissent à ce stade entretenir une forme d'ignorance et d'oubli volontaire au sujet d'une alternative technique énergétique existante et fonctionnelle, en insufflant le doute sur ses capacités. Cette posture semble confirmer les travaux d'Edgerton :

> Les sociétés ont toujours rejeté plus d'inventions qu'elles n'en ont retenu, que la majorité des innovations techniques sont et ont à être ignorées… De même, il est souvent supposé, dans le cadre des politiques scientifiques, que le problème est de choisir les projets à entreprendre, alors qu'il est plutôt de savoir lesquels arrêter. Toute politique de décision en matière d'innovation consiste à arrêter des choses, mais notre culture le désapprouve[914].

[913] EDGERTON David, PESTRE Dominique, « De l'innovation aux usages. Dix thèses éclectiques sur l'histoire des techniques », *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, n°4-5, 1998, p. 830.
[914] *Ibid*., p. 831.

Or nous savons que la SOFRETES et son moteur solaire disparaissent tout à fait au début des années 1980 et qu'en 1973 la DITEIM plaide en leur faveur auprès du ministre du Développement Industriel et Scientifique. Les faits semblent donc bien corroborer un non-choix solaire : il y a arrêt. Au constat d'une forme de production d'ignorance dont les fondements semblent remonter aux origines de la proposition thermodynamique solaire au XIX^{e} siècle, et se prolonger dans les années 1970, nous ajoutons dès lors celui d'une production d'oubli, puisqu'en dehors des travaux académiques menés par Frédéric Caille depuis la décennie 2010, et de l'entrée d'une maquette d'une pompe SOFRETES au musée du Cnam de Paris en 2018, les traces de cette alternative technique sont quasi inexistantes.

Il nous reste à établir avec précision toutes les modalités technopolitiques de ce processus d'irrécupérabilité, car cette production d'ignorance et d'oubli ne contrarie pas complètement certaines préconisations de la DITEIM, qui sont suivies d'effets, alors que d'autres sont totalement écartées (les aides financières à l'industrialisation notamment). C'est pourquoi des opérations de démonstration sont réalisées (comme le programme solaire mexicain que nous analysons au chapitre 3). Cela peut-il signifier que c'est leur mise en œuvre qui va paradoxalement légitimer l'arrêt des installations puis leur disparition ? Est-ce l'objectif ? Pourquoi programmer des opérations de démonstration solaire (des machines sont achetées et installées), alors que la volonté d'en industrialiser les dispositifs semble absente et que leurs potentiels sont décriés ? Il nous faut déterminer comment une telle ambivalence est possible. Ce chapitre 2 nous permet justement d'identifier les premières étapes de la mise en œuvre du processus d'irrécupérabilité de la chaleur perdue à partir de 1973. Au moment de sa création, l'existence politique de la SOFRETES au MDIS semble relever de deux domaines particuliers : elle est assimilée à de l'innovation technique et on lui prête une capacité de séduction politique valorisable à l'étranger.

Premièrement, la SOFRETES et son moteur solaire sont intégrés à l'action publique d'aide à l'innovation et aux PME, et ceci dans ses dimensions institutionnelles, instrumentales et cognitives. Comme nous l'avons également suggéré, ce positionnement ne leur est pas forcément favorable, puisque cette réponse des pouvoirs publics ouvre également une capacité de contrôle des usages du moteur solaire : tout d'abord, en le rendant dépendant d'un *primo* actionnariat parapublic et d'une financiarisation de

l'innovation qui peut faciliter sa filialisation à terme par de grands groupes industriels *via* leur programme d'acquisition ; puis en soumettant le succès de son industrialisation aux logiques d'un processus d'innovation conçu comme linéaire et purement économique, lequel justifie pour un produit l'échec industriel par le résultat d'insuffisances intrinsèques à l'objet et à l'inventeur-entrepreneur[915] qui, ensemble, ratent une marche. Du point de vue de l'analyse, cette approche est aujourd'hui largement obsolète. Les schémas compréhensifs de l'innovation la considèrent désormais comme le fruit de relations dans un système d'acteurs complexes (ajoutons que l'objet technique n'est pas neutre) :

> Par-delà leur diversité, ces modèles montrent entre autres comment les techniques sont souvent le fruit de compromis sociaux et de rapports de forces. Les innovations autrefois rattachées à de grands inventeurs héroïques sont désormais conçues comme le produit d'institutions, de pratiques quotidiennes et de négociations mettant aux prises de très nombreux acteurs[916].

Ainsi, pour démêler l'écheveau des rapports de forces qui s'exercent sur l'existence de l'invention, une histoire très micro de l'entreprise SOFRETES doit être intégrée à notre déconstruction de l'action publique[917].

---

[915] HILAIRE-PEREZ Liliane (dir.), « Les figures de l'inventeur, XVIII^e^-XX^e^ siècles », *Documents pour l'histoire des techniques*, n°17, 2009, pp. 6-148 ; VERLEY, Patrick, *Entreprises et entrepreneurs du XVIII^e^ siècle au début du XX^e^ siècle*, Paris, Hachette, 1994.

[916] FUREIX Emmanuel, JARRIGE François, *op. cit*., 2020, p. 63 ; CARON, François, *La dynamique de l'innovation. Changement de technique et changement social* (XVI^e^-XX^e^ Siècle), Paris, Gallimard, 2010 ; HILAIRE-PEREZ Liliane, GARÇON Anne-Françoise (dir.), *Les chemins de la nouveauté. Innover, inventer au regard de l'histoire*, Paris, CTHS, 2003. CHOUTEAU Marianne, FOREST Joëlle, NGUYEN Céline, *op. cit*. 2022, « Quels enseignements : l'innovation n'est décidemment pas un long fleuve tranquille », pp. 63-65. Voici ce qu'écrivent les auteurs en conclusion de leur article sur l'apport de la mise en récit pour éclairer le processus d'innovation : « Ensuite, et en lien étroit avec ce qui vient d'être dit, on voit bien que la mise au jour des épreuves déconstruit l'image d'un processus linéaire, d'un long fleuve tranquille, sans aller et retour, laissant croire qu'il suffit d'inventer un procédé technique, de le commercialiser pour qu'il soit un succès. Considérer le caractère tortueux du processus d'innovation conduit à relativiser le processus d'industrialisation de l'activité inventive qui s'est mis en place au début du xx^e^ siècle. Par définition, l'innovation se laisse difficilement enfermer dans un chemin tout tracé. Quand bien même les entreprises se sont attachées à rationaliser son processus, celui-ci est par nature erratique, il connaît des soubresauts liés à la survenue d'épreuves dont certaines sont imprévisibles. On est ainsi conduit à repenser l'innovation à la lumière de sa contingence et à s'émanciper d'une conception mécanique du processus d'innovation, dont le plus grand danger serait de lisser ledit processus, gommer ses aspérités (ses épreuves) et sa nature humaine ».
https://journals.openedition.org/artefact/11928#tocto2n10

[917] Fureix et Jarrige rappellent les rôles d'initiateurs, pour une histoire des organisations, joués par Caron et Fridenson. FUREIX Emmanuel, JARRIGE François, *op. cit*., 2020, p. 85. L'entreprise, son fonctionnement, ses acteurs et leurs pratiques dans le temps doivent être pris en compte pour établir l'ensemble des dynamiques dans lesquelles se jouent l'existence de l'invention et sa possible reproduction et diffusion. FRIDENSON, Patrick, « les organisations : un nouvel objet », *Annales. ESC*, vol. 44, n°6,

La SOFRETES est-elle une PME innovante ? Ce qui en fait une PME innovante est d'abord la présence de l'ANVAR et de la SOFINNOVA dans son capital de départ, puis le fait d'être relayé au MDIS par des agents du corps des Mines, notamment du service RII de la DITEIM, lesquels sont justement en charge de concevoir la politique publique d'aide à l'innovation et aux PME. Or, nous avons pu constater par ailleurs que présenter les applications solaires thermodynamiques basse température comme des innovations est contestable : elles existent depuis fort longtemps et elles n'ont jamais atteint les usages courants grâce à une diffusion industrielle. D'ailleurs, c'est plutôt l'inverse, elles sont le résultat des usages et non des innovations censées en créer de nouveaux. Le moteur solaire SOFRETES est le fruit d'expérimentations incrémentales menées dans un secteur traditionnel à partir de matériels et de dispositifs déjà existants et éprouvés. Il s'agit plutôt d'un « anti-héros technologique », en même temps qu'une invention au fort potentiel de changement sociaux. La solution technique SOFRETES ne correspond ni aux caractéristiques, ni à l'image véhiculée par la notion « d'innovation technologique » classique, à savoir la fabrication par le haut du complexe, du difficile et du sophistiqué. Cette vision privilégie le point de vue de l'industrie, par l'industrie, pour l'industrie, d'une invention alors synonyme de progrès, de haute technicité, et de profitabilité maximale dans laquelle sa valeur d'échange est centrale et sa valeur d'usage bien marginale. Or, c'est cette dernière qui est au cœur de la proposition sociotechnique de la SOFRETES : la machine est une solution qui répond à une demande de changement par le bas.

L'intégration de la SOFRETES et de sa machine par l'action publique au champ administratif de l'innovation est donc peut-être un élément déterminant de sa disparition. Cette hypothèse amène à formuler deux grandes questions : l'action publique d'aide à l'innovation et aux PME participe-t-elle à la suppression de l'innovation ? L'innovation, en tant que catégorie d'action publique, est-elle un instrument technopolitique ? La suite de cette thèse tente d'apporter des éléments de réponse.

Deuxièmement, si la DITEIM reconnaît au moteur SOFRETES un potentiel industrialisable (une capacité d'innovation donc), elle identifie également un potentiel de séduction politique. L'intérêt soudain du Président mexicain (nous proposerons au

1989, pp. 1461-1477 ; CARON, François, « Tendances de l'histoire des entreprises », *Entreprises et histoire*, n°55, 2009/2.

chapitre 3 une interprétation des motivations mexicaines), qui se concrétise sous la forme d'une commande d'une première petite série de dix pompes à valeur de démonstration, implique de la part des pouvoirs publics de réagir à cette demande de coopération au niveau gouvernemental. Cela nécessite de construire une action publique solaire à et pour l'étranger. Le Service RII de la DITEIM entrevoit ce qu'une opération solaire de ce type peut apporter à la France en termes de politique étrangère mais ne parle jamais de la proposition sociotechnique comme d'une solution aux problèmes des populations. Cette posture privilégie-t-elle l'instrument de *soft power* technique au service d'une politique de prestige, plutôt que le produit industriel destiné à un marché de masse ? Un second aspect est à prendre en considération. Le Mexique est un État solvable, exportateur de pétrole et éloigné de la sphère d'influence française, une configuration assez contraire à celle des pays francophones d'Afrique de l'Ouest qui étaient jusque-là les principaux clients du dispositif Masson-Girardier. Cet achat mexicain est un précédent qui offre une visibilité accrue à la SOFRETES et à son moteur solaire en posant avec insistance la question de son industrialisation (et notamment de son transfert de technologie puisque le projet est fondé sur un objectif d'appropriation des usagers et d'industrialisation induite) et peut-être aussi de son exploitation politique.

Comment mettre en cohérence ces deux dimensions : une machine à industrialiser et un instrument au service du rayonnement de la France ? C'est justement l'objet du prochain chapitre.

Un dernier élément de conclusion est cependant nécessaire. Nous avons montré au chapitre 1, puis au chapitre 2, que la carrière politique du moteur solaire thermodynamique basse température se déroule, jusqu'en 1973, au sein des institutions de la Recherche, de la Coopération et de l'Industrie, sans répondre à un problème public solaire qui n'existe pas encore. Le moteur solaire correspond plutôt à une proposition sociotechnique alternative ancienne qui rencontre la naissance d'une « question solaire » chez les sachants et les gouvernants.

Dans les mois qui suivent la création de la SOFRETES, le premier choc pétrolier sert de fenêtre d'opportunité pour la contestation des choix du gouvernement en matière de technologie énergétique (accélération du programme électronucléaire et poursuite de la pétrolisation) par les mouvements écologistes et citoyens antinucléaires. Certains

d'entre eux iront jusqu'à proposer une alternative de politique publique en faveur des énergies renouvelables, telles le solaire, poussant le gouvernement à arbitrer cette contestation, notamment au moyen d'administrations de missions, de campagnes de communication en faveur des énergies nouvelles, d'opérations de démonstration et d'économies d'énergie.

La SOFRETES préexiste donc à la construction du problème public solaire post choc pétrolier et les pouvoirs publics en ont déjà en partie le contrôle avant l'élaboration d'une action publique solaire intérieure (administrations de missions, programme de recherche national du CNRS et opérations de démonstration). Sur le plan extérieur, les pouvoirs publics ne partent pas de rien. Lorsque le Mexique sollicite la SOFRETES, le petit moteur solaire bénéficie d'un suivi de longue date de différentes administrations depuis son berceau africain. La SOFRETES n'est donc pas une réponse à la crise de l'énergie du début des années 1970. Elle représente la continuité d'une proposition sociotechnique, même si les événements précipitent la construction d'une action publique solaire à l'étranger dont elle est l'instrument principal. C'est beaucoup plus la commande mexicaine que les répercussions du choc pétrolier qui est déterminante dans la carrière politique du petit moteur solaire.

Conclusion partie I

Les résultats de notre étude, présentés dans cette première partie, nous permettent d'affirmer que la solution technique solaire, proposée par Masson et Girardier au début des années 1970, n'est ni orpheline de principes, d'expérimentations et de résultats, ni isolée des acteurs industriels du système technique dans lequel elle est inventée, ni même de l'État qui en contrôle les orientations.

Les convertisseurs thermodynamiques de la chaleur perdue, naturelle ou industrielle, existent à l'état de capacité depuis longtemps à travers le monde industriel. Cette trajectoire sociotechnique ancienne, porte l'existence d'une « question solaire » qu'entretiennent les relations qui se tissent entre une communauté scientifique et technique internationale, les gouvernements, et des organisations internationales, telle l'UNESCO et son programme de recherches sur les zones arides. Ainsi, les expérimentations solaires de Masson et de Girardier au Sénégal, au Niger, en Haute-Volta, en Mauritanie, sont parfaitement connues et suivies par l'État français (et bien d'autres), notamment par l'EDF, le ministère de la Coopération, le ministère de la Recherche et le ministère de l'Industrie ; sans oublier les leaders sectoriels des industries des convertisseurs énergétiques conventionnels.

La spécificité socio-économique du moteur MGS 2-1000, réside dans sa capacité à être fabriqué par un modeste industriel, d'un secteur traditionnel, avec l'aide de laboratoires universitaires africains, et de ses usagers. La machine fonctionne, elle est simple et robuste, transférable pour partie, pensée par et pour l'Afrique. Elle incorpore dans ses mécanismes, internes et externes, les assujettissements sociaux d'un autre modèle de vie collective ; elle désajuste le schème de souveraineté énergétique dominant, en suggérant d'autres modes de relations dans l'accès à, et l'usage de, la ressource. La chaleur perdue par tous peut devenir cette ressource, et déclencher une réaction collective locale pour s'en saisir, là où il n'y a pas d'accès facile au stockage des fossiles, ni au réseau électrique centralisé : dans les régions les plus démunies de la planète. Le modèle diffusionniste du progrès technique est contrarié, et Girardier, qui possède son outil de production, peut reproduire le prototype en l'améliorant.

Cependant, un processus de production institutionnelle d'ignorance est à l'œuvre dans la fabrique d'une solarité divergente, opposant les possibles sociotechniques aux

impossibles physico-économiques solaires. L'évaluation des petits convertisseurs solaires, par l'expertise publique de l'EDF, ou de certains agents du CNRS, les discréditent, en insistant sur leurs limites théoriques, leur manque de puissance, et les contraintes naturelles qui pèsent sur cette ressource, censées empêcher sa conversion 24h sur 24h. La fabrique de ce socle normatif de représentations solaires, s'accompagne néanmoins de la présence de l'État aux côtés des différentes étapes de l'invention, et de ses premières tentatives de diffusion auprès des gouvernements des pays des Suds. L'État semble veiller et accompagner les possibles *a minima*, tout en consolidant le récit dominant des impossibles. Les pouvoirs publics exercent principalement leur contrôle sur les convertisseurs thermodynamiques de la chaleur perdue en circonscrivant d'abord ses expérimentations aux colonies, puis, plus tard, en les marginalisant dans la politique de Recherche nationale.

C'est lors de l'opération solaire de Chinguetti en 1973, qu'apparaît pour la première fois la mise en instrumentalisation technopolitique de la pompe solaire SOFRETES. La MIFERMA, une entreprise minière coloniale, utilise, dans sa stratégie de retrait post-coloniale, la capacité de séduction politique de la machine auprès des populations et du gouvernement mauritanien. Masson et Girardier pensent réaliser une opération de démonstration au potentiel industriel, alors qu'il s'agit en fait d'une opération de prestige, de politique étrangère. Cette ambivalence du projet d'installation de la pompe solaire, et ses ressorts technopolitiques, sont clairement identifiables dès avant la naissance de la SOFRETES, de la crise de l'énergie de 1973, et de l'institutionnalisation du problème solaire qui s'ensuit.

Alors que le congrès solaire de l'UNESCO « Le soleil au service de l'homme » se déroule à Paris, les circonstances et les événements de l'année 1973 projettent le moteur solaire Masson-Girardier dans les relations internationales lorsque le gouvernement mexicain passe commande d'une première série de pompes solaires pour un programme national d'équipement. Dans le même temps, le discours dominant sur le choc pétrolier prolonge la solarité divergente en ignorant les alternatives solaires déjà disponibles. Le ministère de l'Industrie mène pourtant une évaluation de la proposition sociotechnique de Girardier, et il accompagne la création de la SOFRETES en l'intégrant

partiellement à la politique publique d'aide à l'innovation et à son système d'acteurs. Les prototypes sont reconnus fonctionnels, et le service RII de la DITEIM du ministère de l'Industrie préconise un soutien des pouvoirs publics à cette filière industrialisable, tout en identifiant sa capacité de séduction politique. En somme, le doute n'existe donc pas sur la capacité de la pompe solaire à remplir son objectif. Cette expertise publique, qui est paradoxale au regard des représentations dominantes véhiculées par le volet solaire du référentiel de la politique de l'énergie, ainsi que par la demande de coopération mexicaine, font entrer la SOFRETES et son moteur solaire dans la politique étrangère française.

L'action publique solaire qui se met en place avec la prise en main par l'État de la SOFRETES et de ses machines, recouvre au moins trois domaines d'exercice, chacun à un double niveau. Le solaire dans la recherche nationale et la SOFRETES dans le solaire ; le solaire dans l'industrie et la SOFRETES dans l'industrie ; le solaire et la SOFRETES à l'étranger. Les deux prochaines parties proposent d'en expliquer les modalités.

PARTIE II La SOFRETES et son moteur solaire, des instruments de séduction politique

Introduction de la partie II

Dans cette deuxième partie, notre premier objectif est de caractériser les modalités selon lesquelles la SOFRETES et son moteur sont instrumentalisés lors d'opérations technopolitiques de séduction à l'étranger. Comment et par qui les opérations de démonstration de la SOFRETES sont-elles organisées ? Quelles places occupent-elles dans l'action publique solaire française, dans celle des gouvernements clients, et dans les stratégies de ses partenaires ?

Le deuxième objectif est de dégager le faisceau de contraintes qui impactent les actions de la société et le fonctionnement de l'objet technique. Quelles est la marge de manœuvre de la SOFRETES ? Est-elle apte à remplir la mission qui lui est assignée ? Ses machines fonctionnent-elles ? Pour combien de temps ?

Enfin, la machine doit être ouverte pour l'analyser en termes sociotechniques, la replacer dans son système d'acteurs, et dans le calendrier des opérations. La machine est-elle orpheline ? Est-elle adaptée au projet sociotechnique ? Est-elle une machine d'État ? Ses potentiels sont-ils limités ?

Il s'agit donc de comprendre comment se coconstruisent l'opération solaire et l'objet technique sous le contrôle des pouvoirs publics.

Cette seconde étape de notre thèse participe à déterminer les raisons qui peuvent être invoquées, à l'époque des faits et *a posteriori*, pour expliquer le déclin et la disparition de la SOFRETES et de sa proposition sociotechnique. Sont-ce des dysfonctionnements d'origine purement technique qui disqualifient la SOFRETES et son moteur, ou convient-il plutôt d'accorder à l'action publique solaire les effets les plus décisifs ?

En ce qui concerne la temporalité de notre étude, elle met au jour deux phases.

Comme nous l'avons montré au chapitre précédent, en 1973, au ministère de l'Industrie, la DITEIM préconise la mise en place d'une politique industrielle de soutien aux convertisseurs solaires de petites puissances, à la fois aux dispositifs photovoltaïques et aux moteurs thermodynamiques à faible gradient de température de la SOFRETES, dont le potentiel de séduction politique (en politique étrangère) est clairement exprimé.

Jusqu'en 1978, plusieurs administrations en charge des dossiers d'opérations de démonstrations et de R&D solaire soutiennent donc les activités de la SOFRETES : qui ?

Où ? Comment ? Avec quelle volonté par rapport aux préconisations de la DITEIM ? L'industrialisation du moteur solaire est-elle l'objectif ?

En 1979, on observe une inflexion. Un changement assez net des orientations de l'action publique solaire à l'étranger marginalise progressivement le moteur solaire de la SOFRETES qui perd alors ses soutiens publics.

Nous présentons les résultats de notre étude en deux temps.

Le chapitre 3 propose de comprendre comment la multiplication et la diversification des commandes provoquent la complexification du système d'acteurs dans le temps et dans l'espace. La dynamique d'ensemble se doit d'être bien cernée. Ensuite, les opportunités et les contraintes que représentent les opérations solaires à l'étranger pour les différents acteurs sont rendues intelligibles afin d'en établir les caractéristiques politiques et les effets sur la SOFRETES et sa proposition sociotechnique.

Le chapitre 4 matérialise la proposition sociotechnique sous la forme des machines mises au point et installées par la SOFRETES et ses partenaires publics et privés. La connaissance de l'objet est indissociable de celle de son système d'acteurs pour comprendre comment l'ensemble s'intègre aux opérations de la politique publique solaire française et à son évolution.

Notre questionnement et sa temporalité ne peuvent être pleinement compris sans préciser deux éléments contextuels.

Le premier concerne la place qu'occupe le solaire dans la politique de l'énergie de 1973 à 1983.

Le second s'attache à identifier certains aspects de la politique étrangère de la présidence de Valéry Giscard d'Estaing qui impactent les affaires de la SOFRETES.

1. Le solaire dans la politique de l'énergie de 1973 à 1983

Le système d'acteurs, d'intérêts et de représentations que nous reconstituons prolonge bien évidemment celui analysé dans les chapitres précédents.

Pendant la période 1973-1983, la continuité du rapport cognitif à l'objet technique solaire est extrêmement forte. Le volet solaire du référentiel de la politique de l'énergie qui légitime, par le recourt aux critères d'évaluation technico-économiques comparatifs,

la mise à l'écart des convertisseurs alternatifs qui transforment les faibles gradients de températures naturelles et industriels, persiste (*cf. supra* chapitre 1 et 2). Le référentiel hégémonique qui repose sur les combustibles fossiles n'accorde au solaire que le rôle d'économiseur marginal des sources primaires conventionnelles dans le bilan énergétique national (une prospective comptable). C'est-à-dire qu'il permet au mieux d'en prolonger les usages[918]. D'ailleurs, si l'institutionnalisation du problème solaire prend progressivement l'apparence d'une intersectorialité plus marquée avec la création d'une administration de mission solaire en 1978 (le COMES), dès 1982, l'agence d'objectifs, devenue l'AFME, dissout le solaire dans une politique globale de maîtrise de l'énergie qui repose sur ses usages rationnels[919], c'est-à-dire principalement sur des économies de carburants fossiles (uranium compris), corrélées à de supposés meilleurs rendements des convertisseurs traditionnels. Ces éléments du référentiel de l'énergie ressortent très bien des analyses des termes du VII^{e} Plan (1976-1980), VIII^{e} Plan (1981-1985) et IX^{e} Plan (1984-1989) menés par Marrec[920].

---

[918] Jean Syrota (polytechnicien et ingénieur des Mines, Directeur de l'AEE de 1974 à 1978, puis DG de la DGEMP) rappelle devant le Conseil économique et social en 1977 que les solutions envisagées par le gouvernement pour pallier le déficit de la balance des paiements consécutif au choc pétrolier de 1973, à savoir économiser les fossiles, relever les exportations et augmenter la capacité d'offre nationale, sont des mesures qui ont comme conditions « de ne pas remettre radicalement en cause notre mode de vie et l'organisation de notre société ». Conditions qui interdisent forcément le recourt aux énergies nouvelles en tant que source de substitution et qui en limite le rôle à des économiseurs de fossiles. Ainsi, cette limitation de leur champ d'application va dans le sens des producteurs de fossiles puisqu'elle participe à organiser la rareté du pétrole et la poursuite de sa consommation. Archives nationales, répertoire 19970205, carton 14, n° 1978-01, Rapporteur : LUNEAU Maurice, Titre : Les énergies nouvelles et les utilisations nouvelles de l'énergie, moyens d'améliorer l'approvisionnement énergétique et de préserver l'environnement, Nature du texte : rapport, Section : Industrie et commerce, Mode de saisine : saisine gouvernementale, Date d'adoption : 23/11/1977. Annexe au procès-verbal de la séance du jeudi 26 mai 1977, Audition de Monsieur Syrota, Directeur de l'Agence pour les économies d'énergies, p. 7 pour la citation. Voir également EVRARD, Aurélien, *op. cit*., 2013, p. 191.

[919] Nous avons consulté aux Archives nationales les comptes-rendus du Conseil d'administration de l'AFME ainsi que les rapports d'activités de son Service des Affaires Internationales (le SAI). Nous y reviendrons plus en détail. Archives nationales, 19940249, cartons 1, 2 et 3 pour les CA AFME des années 1982-1983. Répertoire 19940249, cartons 230 et 231 pour les rapports du SAI de 1981 à 1987. Le rapport de 1987 est particulièrement éclairant sur les objectifs assignés à l'action internationale de l'AFME : favoriser la continuité fossile auprès des gouvernements du tiers-monde en faveur des intérêts privés français. Voir également le recueil de témoignages plutôt consensuels : LERAY Théo et DE LA RONCIERE Bertrand, *Trente ans de maîtrise de l'énergie*, Arcueil, ATEE, 2002 ; AFME, *Maîtrise de l'énergie et recherche : quel bilan ? quel avenir ?*, La Documentation française, 1987.

[920] MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, pp. 582-591. Sur le Plan comme instrument de référentiel, voir PAPADOPOULOS, Ioannis, « Référentiel, médiateurs et démocratie », *in* BOUSSAGUET Laurie, JACQUOT Sophie, RAVINET Pauline, *op. cit*., 2015, p. 112. L'auteur rappel l'importance du Plan comme lieu de production de référentiel à partir des travaux de Muller et de Nizard, notamment, MULLER, Pierre, « Les politiques publiques comme construction d'un rapport au monde », *in* FAURE, Alain et *al.* (dir.), La Construction du sens dans les politiques publiques. Débats autour de la notion de référentiel, Paris, L'Harmattan, 1995, pp. 153-179. Nous renvoyons également à l'analyse de Jobert et Muller sur la

Le solaire y est très marginalisé que ce soit à court, moyen ou long terme[921]. Il est progressivement circonscrit techniquement (VII^e Plan), dilué (VIII^e Plan) et écarté (IX^e Plan). Dans le VII^e Plan, le solaire est restreint au stade des possibles de R&D, comme il l'est depuis le XIX^e siècle (*cf. supra* chapitres 1 et 2)[922]. Sans surprise, les convertisseurs existants retenus n'intègrent pas ceux qui permettent la transformation thermodynamique d'un faible gradient de basses températures géothermiques, solaires ou industrielles, en forces motrices (donc en électricité), mais seulement les hautes températures des puissantes centrales à tours. Cette transformation est même qualifiée d'impossible en France pour la géothermie, alors que la SOFRETES, en association avec le BRGM, met en marche des centrales électriques de moyenne puissance à Chaudes-Aigues et en Thaïlande au début des années 1980 à partir de sources géothermiques à basses et moyennes températures. Seuls l'eau sanitaire et le chauffage des locaux font se recouvrir le solaire et le marché de la chaleur que l'EDF oriente vers l'électricité d'origine nucléaire. Dans le prototype d'habitat solaire conçu par l'EDF, le chauffage solaire est associé à l'électrique (à savoir deux énergies de flux présentées alors comme étant une nécessité complémentaire) afin de décrédibiliser cette solution technique[923]. Le

constitution de la représentativité des commissions du Plan par l'élite dirigeante, et des objectifs et limites de cette concertation : JOBERT Bruno, MULLER Pierre, *op. cit*., 1987, pp. 225-226.

[921] Ce qui nous est confirmé de l'intérieur par Jean-Marie MARTIN, ancien directeur de l'Institut Économique et Juridique de l'Energie de Grenoble (IEJE) de 1968 à 1982, Vice-président et Rapporteur général du groupe Long Terme Énergie du Commissariat général au Plan (1982-83) et Conseiller technique au cabinet du ministre de la Recherche et de la Technologie (1984-86). Entretiens des 13 août 2018 et 27 mai 2019. Lire également le témoignage de Bernard LAPONCHE qui était à l'époque à l'AFME et qui en prend la direction en 1984 : LAPONCHE, Bernard, « De l'Agence pour les économies d'énergie à l'Agence française de la maîtrise de l'énergie (1974-1990) », *in* Comité d'histoire, ministères de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Energie et du Logement, de l'Égalité des Territoires et de la Ruralité, *Pour mémoire*, n°15, Été 2015, pp. 42-57. Des faits qui nous sont également confirmés par Bernard LAPONCHE en entretien (entretien du 17 septembre 2018) puisqu'il participe à la Commission de l'énergie du Plan en tant que responsable CFDT.

[922] Les controverses autour de l'interprétation de l'expression « énergies nouvelles » qui est utilisée par le gouvernement dans les années 1970 pour désigner les énergies renouvelables comme le solaire en sont particulièrement révélatrices. Le rapport Luneau du Conseil Économique et Social, rédigé à la demande du Premier ministre par lettre en date du 21 mars 1977, inscrit entre parenthèses dans son Projet d'avis du 26 octobre 1977 : « Une action de promotion des énergies nouvelles (ou d'énergies anciennes dont la mise en œuvre a été abandonnée au cours des dernières années) a été entreprise sous la responsabilité d'un Délégué nommé par décret du 5 avril 1975. » C'est nous qui soulignons. Archives nationales, 19970205, carton 14, n° 1978-01, Rapporteur : LUNEAU Maurice, Titre : Les énergies nouvelles et les utilisations nouvelles de l'énergie, moyens d'améliorer l'approvisionnement énergétique et de préserver l'environnement, Nature du texte : rapport, Section : Industrie et commerce, Mode de saisine : saisine gouvernementale, Date d'adoption : 23/11/1977. Projet d'avis, p. 2 pour la citation.

[923] Le programme de démonstration des maisons EDF à Aramon-Le Havre lancé en 1974 fait intervenir la technologie SOFRETES (les capteurs). Chauvin-Michel propose dans sa thèse une analyse détaillée et convaincante des motivations et des résultats recherchés par l'EDF avec ce projet qui disqualifie la technologie solaire et permet d'appuyer la politique de pénétration du chauffage électrique dans les foyers

photovoltaïque quant à lui est associé à des applications de balisage. Le VIII[e] Plan, qui intègre le COMES à sa Commission de l'énergie, ne retient plus que les applications de chauffage et ajoute la combustion du bois dans le bilan prospectif afin de gonfler la part revenant aux énergies nouvelles. Le IX[e] Plan place au centre des énergies nouvelles les « énergies vertes » avec les biocarburants, une orientation que la nomination de Philippe Chartier de l'INRA comme Directeur scientifique confirme (Chartier est préalablement nommé par Chevènement à la tête de la Mission Utilisation Rationnelle de l'Energie qui doit déterminer les grandes orientations scientifiques et techniques de la future AFME[924]).

Bien que le référentiel de la politique publique de l'énergie écarte les convertisseurs solaires des solutions industrielles (puisque l'ordre sociotechnique qu'il défend ne doit pas être repensé) un problème solaire est pourtant bien identifié qui peut être appréhender à l'aune de la réponse institutionnelle progressivement mise en place à partir de 1974[925].

---

afin de soutenir l'accélération du programme national électronucléaire. Ce que Maryse ARDITI confirme (entretien d'avril 2018). CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op. cit*., 2012, pp. 116-136. Sur l'offensive de l'EDF pour encourager le développement du chauffage électrique (le sujet est bien connu), on peut lire par exemple DE GRAVELAINE Frédérique, O'DY Sylvie, *L'État EDF*, Paris, Éditions Alain Moreau, 1978, notamment le passage (pp. 31-34) sur l'opposition au sein de l'administration d'une grande figure du corps des mines, Jean Syrota, qui dirige l'Agence pour les Économies d'Energie (AEE) de 1974 à 1978, avant d'être nommé Directeur Général de l'Energie et des Matières Première (DGEMP). Des faits qui nous sont confirmés par Bernard LAPONCHE (entretien du 17 septembre 2018). Lire également LAPONCHE, Bernard, *op. cit*., 2015, pp. 42-57. Les propos que Jean Syrota tient devant le Conseil Économique et Social sur l'aberration que représente le chauffage électrique en raison de son très mauvais rendement thermique, ainsi que sur le gaspillage de la chaleur dispersée (qui n'est pas récupérée) dans l'environnement par les centrales électronucléaires, qui est très supérieure à la quantité de chaleur effectivement transformée, sont édifiants. Archives nationales, 19970205/14, n° 1978-01, Rapporteur : LUNEAU Maurice, Titre : Les énergies nouvelles et les utilisations nouvelles de l'énergie, moyens d'améliorer l'approvisionnement énergétique et de préserver l'environnement, Nature du texte : rapport, Section : Industrie et commerce, Mode de saisine : saisine gouvernementale, Date d'adoption : 23/11/1977. Annexe au procès-verbal de la séance du jeudi 26 mai 1977, Audition de Monsieur Syrota, Directeur de l'Agence pour les économies d'énergies.

[924] Archives nationales, DGRST, MST (1970-1982), répertoire 19850245, la notice de présentation du contenu de ce répertoire dresse une chronologie détaillée des étapes et des acteurs de l'institutionnalisation de la recherche solaire au sein de la DGRST. Les cartons 66-68 donnent accès au rapport « Maîtrise de l'énergie » que Chartier et Tazieff remettent en juillet 1982 au ministre de la Recherche et de l'Industrie.

[925] Une histoire de cette institutionnalisation est écrite par Pehlivanian et Marrec. Nous renvoyons à leurs thèses respectives. PEHLIVANIAN, Sophie, *op. cit*., 2014, « L'institutionnalisation de l'énergie solaire », pp. 296-312 et « Du COMES à l'Agence française de maîtrise de l'énergie », pp. 312-331. MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, « Institutionnalisation des énergies nouvelles », pp. 541-622. Voir également des références des années 1970-1980 déjà mentionnées. Par exemple : MASSENET-DALLEMAGNE, Violaine, « L'influence de la crise de l'énergie sur l'administration française : le cas de l'administration de l'énergie », *Revue française d'administration publique*, vol.8, 1978, pp. 100-135 ; FABERON, Jean-Yves, « Le nouveau pouvoir et l'énergie », *Revue politique et parlementaire*, n°895, 1981, pp. 51-70 ; FABERON, Jean-Yves, « Les projets de réforme de l'administration de l'énergie », *La Revue administrative*, 35[e] année, n°205, janvier-février 1982, pp. 13-16 ; FABERON, Jean-Yves,

Elle prend la forme d'une administration de la recherche grâce à un programme de recherche nationale du CNRS (le Programme de recherches interdisciplinaire pour le développement de l'énergie solaire ou PIRDES en 1975) et d'une administration de mission (l'Agence pour les Économies d'Energie ou AEE en 1974, la Délégation aux Énergies Nouvelles ou DEN en 1975, le COMES en 1978 et l'AFME en 1982) dont le rôle est de coordonner les efforts de promotion des énergies nouvelles (R&D et opérations de démonstration) par les ministères, les établissements publics et les industriels concernés.

Comme cela a déjà été démontré par certains auteurs et témoins, cette agence d'objectifs et ses avatars permettent de gouverner la contestation du modèle de la société fossile alors à l'œuvre en intégrant certains de ses acteurs, notamment ceux actifs au sein du service public (agents de l'EDF, du CEA, du CNRS, de l'INRA) et du syndicat CFDT, pour mieux les contrôler[926]. Il s'agit donc de ceux qui sont supposés être porteurs d'une alternative de politique publique et de son référentiel divergeant. Ce phénomène est parfaitement identifié par Jobert et Muller qui écrivent, en prenant d'ailleurs l'exemple des écologistes, que « l'effet principal de l'institutionnalisation paraît être d'abord d'amortir et de canaliser les mouvements sociaux »[927]. D'ailleurs, les auteurs expliquent que ces institutions de coordination, censées agir de manière intersectorielle pour faire face à de grands problèmes (comme ceux soulevés dans le cadre de la politique de l'énergie), sont très concrètement empêchées par la trop forte sectorisation à l'œuvre, et que l'agence en question reste une construction formelle[928].

Le rôle principal, d'abord de l'AEE et de la DEN, puis du COMES-AFME, est d'assurer la communication politique du gouvernement en matière d'économie d'énergie et d'énergies nouvelles afin d'accompagner auprès de l'opinion publique la réalisation du

« Interventionnisme et rationalisation énergétique : L'Agence française pour la maitrise de l'énergie », *La Revue administrative*, 37e année, n°219, mai-juin 1984, pp. 227-241.

[926] Nous avons déjà mentionné ces références : TOPÇU, Sezin, *op. cit*., 2013 ; EVRARD, Aurélien, *op. cit*., 2013 ; PEHLIVANIAN, Sophie, *op. cit*., 2014 ; MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018. Lire les témoignages de LAPONCHE, Bernard, *op. cit*., 2015 et LIEBARD, Alain, *op. cit*., 2015.

[927] JOBERT, Bruno, MULLER, Pierre, *op. cit*., 1987, p. 179. Les auteurs abordent plus loin le rôle des administrations de mission (p. 210).

[928] *Ibid*., pp. 184-185. Sur les réformes de l'administration à l'époque qui nous intéresse (et notamment la place de l'agence d'objectifs) lire plus généralement : BEZES, Philippe, *Réinventer l'État. Les réformes de l'administration française (1962-2008)*, Paris, Presses Universitaire de France, 2009, pp. 61-126, pp. 127-203 et pp. 205-253 ; BEZES Philippe, MUSSELIN Christine, « Le New Public Management », *in* BOUSSAGUET Laurie, JACQUOT Sophie, RAVINET Pauline (dir.), *op. cit*., pp.126-151 ; CONSEIL D'ÉTAT, *Les Agences : une nouvelle gestion publique ? Étude annuelle 2012*, Paris, Conseil d'État, 2012.

programme électronucléaire et la poursuite de la pétrolisation[929]. La motivation électoraliste à l'échelle nationale se double d'un intérêt pour les capacités de séduction politique du solaire à l'export comme nous le rappelle ce commentaire du Président Valéry Giscard d'Estaing (VGE) des interventions, en Conseil des ministres, du ministre de l'Industrie André Giraud et du Secrétaire d'État chargé de la Recherche, Pierre Aigrain, (spécialiste du solaire, *cf*. *supra* chapitre 2) au sujet de l'énergie solaire en 1979 :

> Le Président constate que l'énergie solaire a la faveur des Français, mais malheureusement pas celles des techniciens et des savants. Ils en parlent sur un ton qui ne convient pas. Ils doivent faire un effort pour témoigner à cette forme d'énergie une plus grande sympathie. Cette énergie offre des utilisations industrielles très intéressantes, notamment pour l'exportation dans les États sahéliens[930].

Si le COMES est créé par VGE dans le contexte des élections législatives du printemps 1978, à l'approche des présidentielles de 1981, le PS se rapproche de l'IEJE[931] de Grenoble en lui commandant une étude prospective de la demande énergétique française sur laquelle il compte établir une proposition d'offre. C'est là aussi une tentative d'institutionnalisation de la critique car le PS (proche des écologistes et de la CFDT) instrumentalise alors, dans sa course au pouvoir, un acteur (un laboratoire) de la contestation.

En effet, en février 1975, l'IEJE (qui travaillera au sein du PIRDES sur les aspects socio-économiques de l'énergie solaire[932]) publie une étude, proche des thèses de la CFDT, qui présente un argumentaire en faveur d'*Alternatives au nucléaire*[933]. Cependant, dans cette *réflexion sur les choix énergétiques de la France* (le sous-titre de l'ouvrage), la technologie électronucléaire paraît pouvoir servir d'étape intermédiaire, de transition, permettant d'attendre (et d'atteindre) l'avènement d'une société des énergies plus nationales, plus économes et plus renouvelables, dont les technologies (notamment le

---

[929] EVRARD, Aurélien, *op. cit*., 2013, p. 192.
[930] Valéry Giscard d'Estaing, Conseil des ministres, Partie « C », Communications, « Communication de M. le ministre de l'Industrie », 4 juillet 1979, dossier « Conseil des ministres du 26 juin 1979 », documents n°155-156, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19880199, carton 5.
[931] Historique de l'IEJE en 1981-1982 par Jean-Marie Martin dans la brochure de présentation de l'IEJE, Dossier « Relations avec l'IEJE de Grenoble », Archives nationales, ministère de la Recherche, CNRS, répertoire 20040463, carton 62.
[932] Dossier « Relations avec l'IEJE de Grenoble », Archives nationales, ministère de la Recherche, CNRS, répertoire 20040463, carton 62. Certaines des études menées par l'IEJE au sein du PIRDES sont répertoriées dans ses rapports d'activités : Rapports d'activités 1976-1984, Archives nationales, ministère de la Recherche, CNRS, répertoire 20040463, carton 25.
[933] Institut Économique et Juridique de l'Énergie (IEJE) de Grenoble, *Alternatives au nucléaire*, Presses universitaires de Grenoble, 1975.

solaire) sont encore au stade expérimental, mais qu'il convient de développer par une politique de la recherche volontariste. Cette zone grise d'une transition possible par le nucléaire intéresse le PS. C'est Paul Quilès, le directeur de campagne de François Mitterrand, qui engage l'IEJE, dont les termes du rapport sont repris dans le manifeste pour une nouvelle politique de l'énergie du PS[934]. Bernard Bourgeois, qui participe à ce travail au sein de l'IEJE, nous le confie en entretien, en insistant sur le fait que les hypothèses de croissance économique qui leurs sont fournies sont surévaluées afin de justifier la poursuite du programme électronucléaire *a posteriori*[935]. La suite est connue.

En 1981, certains parlementaires du PS s'opposent au gouvernement qui fait entériner ses choix de poursuite du programme électronucléaire sans inflexion (si ce n'est le geste de Plogoff) à l'Assemblée nationale lors du fameux débat (sans réel débat) sur les choix énergétiques de l'automne 1981, notamment grâce aux documents préparatoires du rapport Hugon[936] qui reprend classiquement, pour écarter le solaire des possibles, les termes du référentiel de la politique publique de l'énergie qui le confinent à l'immaturité technologique, aux faibles rendements et puissances, et aux coûts trop élevés[937]. Quant en avril 1982, il créé l'AFME, le gouvernement socialiste y place des membres de la CFDT identifiés comme anti-nucléaires tels Michel Rolant, Philippe Chartier et Bernard Laponche[938]. De leur côté, les économistes de l'énergie de l'IEJE poursuivent leurs carrières avec des travaux qui n'abordent plus l'énergie solaire, ou qui justifient sa marginalisation dans des argumentaires technico-économiques[939].

---

[934] Il s'agit de l'ouvrage : Commission de l'énergie du PS et Institut d'Économie et de Politique de l'Energie (ancien IEJE), *Énergie : l'autre politique*, Club socialiste du livre, 1981. Evrard aborde cet aspect dans son paragraphe « L'alternance de 1981 : quand la politique ne change pas (vraiment) les politiques ». EVRARD, Aurélien, *op. cit*., 2013, pp. 195-197. JOBERT et MULLER mentionnent également cet épisode. JOBERT Bruno, MULLER Pierre, *op. cit*., 1987, p. 157. Lire également MICHEL, Pierre, « L'été 1981 : les socialistes et l'énergie, un témoignage », *L'économie politique*, n°56, 2012/4, pp. 85-95.

[935] Entretien avec Bernard Bourgeois du 18 septembre 2018.

[936] Débats sur l'énergie à l'Assemblée nationale les 6 et 7 octobre 1981, Rapport Hugon et documents préparatoires, Archives nationales, ministère de l'Industrie, DGEMP, répertoire 19830713, cartons 1. Voir également le numéro « Documents préparatoires au débat parlementaire sur l'énergie », *Annales des Mines*, n°1-2, 1982. Jean-Marie Martin revient sur le rapport Hugon dans : MARTIN, Jean-Marie, « Chronique sur l'énergie : tendance de la consommation (1979-1981) et nouvelles orientations de la politique énergétique française (1981-1990) », *Revue d'économie industrielle*, vol. 20, 1982, pp. 101-113. Le compte-rendu intégral des débats d'octobre 1981 est également consultable au Journal Officiel des mercredi 7 et jeudi 8 octobre 1981.

[937] Pehlivanian fait le même constat. PEHLIVANIAN, Sophie, *op. cit*., 2014, pp. 322-323.

[938] EVRARD, Aurélien, *op. cit*., 2013, p. 197.

[939] En 1975, Jacques Percebois, une des figures majeures de l'économie de l'énergie aujourd'hui, dont nous avons déjà parlé en introduction générale, publie une évaluation socio-économique très positive des perspectives ouvertes par les réalisations de la SOFRETES. Il ne produira plus aucune étude sur l'énergie solaire. PERCEBOIS, Jacques, *op. cit*., 1975. On se reportera principalement aux sections : « Les pompes

Ces éléments d'ordre contextuel sont fondamentaux pour notre étude car les administrations de mission successives en charge d'appliquer les orientations solaires du gouvernement sont des partenaires de la SOFRETES, et les évaluations influentes des économistes de l'IEJE sur le solaire, lorsqu'elles intègrent la SOFRETES, nous renseigne sur la manière avec laquelle elle est perçue de 1975 à 1984. Il faut ajouter à cela un second argument. Certains employés de la SOFRETES sont intégrés au COMES, au PIRDES, et à l'AFME au cours du processus institutionnel qui accompagne sa disparition, alors que ces agences d'objectifs et le CNRS, censés regrouper des acteurs promoteurs de l'énergie solaire, mènent plutôt des actions qui portent préjudice à la SOFRETES et à sa sociotechnique. En ce sens, la normalisation recherchée par le pouvoir en place semble efficace puisque la société la plus avancée dans l'installation de solutions solaires en 1978 se voit affaiblie par ceux-là même qui soutiennent théoriquement l'alternative de politique publique et son référentiel divergent. La légitimation de sa disparition n'en est que plus solide.

Un dernier point semble crucial à clarifier. La politique de l'énergie prend très concrètement la forme d'une action publique dans le secteur industriel : l'État choisit d'industrialiser l'offre de certains convertisseurs. Dit autrement, la politique de l'énergie est une politique industrielle[940]. La question énergétique est certes trans-sectorielle par nature mais ce sont les leaders des industries fossiles qui contrôlent les techniques à l'origine de la politique de l'offre : les sources primaires et leurs convertisseurs. Or,

---

solaires » (pp. 70-76), « L'énergie solaire face à la stratégie des compagnies pétrolières » (pp. 142-152), « L'énergie solaire face à la stratégie des États » (pp. 153-171), ainsi qu'à ses conclusions générales (pp. 172-173). En 1979, la thèse que Patrick CRIQUI réalise au sein du PIRDES (CNRS), sous la direction de Percebois, n'accorde aucune attention à la SOFRETES. Une position très symptomatique des tenants de la Recherche nationale solaire vis-à-vis de la SOFRETES et de ses choix techniques. Il faut noter la présence dans le jury de thèse de Henry Durand, le Président du COMES. CRIQUI, Patrick, *op. cit*., 1979. En 1984, la thèse de Francis PERRIN, sous la direction de Percebois, sur la diversification solaire des pétroliers propose un bel historique des activités de la SOFRETES, mais se conclut par une justification très hâtive de sa disparition en raison d'une technique et d'une gestion d'entreprise défaillantes, écartant toute possible responsabilités de la CFP-Total dans cet échec industriel (ou de tout autre acteur). Les arguments invoqués sont ceux de la CFP elle-même qui se définit comme un « *sleeping-partner* », c'est-à-dire comme un actionnaire en veille, n'ayant pas été actif. PERRIN, Francis, *op. cit*., 1984, pp. 195-199. Perrin poursuivra une carrière d'analyste de l'industrie pétrolière. Il faut noter la présence de Patrick Criqui et de Jean-Marie Martin de l'IEJE dans le jury ainsi que celle de Jean Carrie alors Directeur économique de la CFP-Total.

[940] Ce qu'illustre parfaitement le document *Une politique pour l'industrie française* publié par le ministère de l'Industrie le 31 juillet 1979. « La politique de l'énergie de la France » en est un chapitre, il répertorie les sources primaires et les convertisseurs à prioriser en termes d'actions industrielles. « Le développement des énergies nouvelles » en est une sous-partie qui survole la question en deux pages (pp. 153-154). Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19890567, carton 1. Lire APPERT Olivier, GEOFFRON Patrice, « Politiques de filières : le cas de l'énergie », *Annales des Mines – Réalités industrielles*, novembre 2021/4, pp. 60-64.

pétroliers, électromécaniciens, motoristes et atomistes, sont ceux qui prennent le contrôle des PME-PMI solaires au nom d'une diversification industrielle de leurs activités et de leur place de leader sectoriel. Il faut donc comprendre que non seulement il n'y a pas de volonté politique d'industrialiser la récupération des faibles gradients de température naturelle (par exemple solaires), mais que de plus, les industriels des énergies fossiles détiennent les entreprises qui proposent les alternatives sociotechniques[941].

Si les affaires de la SOFRETES semblent naturellement prendre place dans la politique de l'énergie, elles s'insèrent également dans certaines dimensions de la politique étrangère française.

2. La SOFRETES dans la politique étrangère du Président Valéry Giscard d'Estaing

La SOFRETES bénéficie pendant sa phase de croissance (1973-1979) d'un contexte à l'export plutôt favorable, mais elle doit aussi faire face à des intérêts contraires auprès des organismes et des instruments mobilisés par le gouvernement dans sa volonté de promouvoir et de soutenir le commerce extérieur de la France[942].

Cette attention gouvernementale est particulièrement marquée à partir de 1978[943] alors que s'amorce le déclin de la SOFRETES. Jusqu'en 1979, la Direction des Relations Économiques Extérieures (DREE) du ministère des Finances valide les dossiers d'attribution d'aide au développement par le FAC du ministère de la Coopération qui est un des premiers bailleurs de la SOFRETES. L'entreprise est également éligible à l'assurance prospection à l'étranger de la Compagnie Française d'Assurance pour le Commerce Extérieure (COFACE), qui garantit aux entreprises exportatrices une partie de la couverture de leurs risques commerciaux, notamment face à des clients du tiers-

[941] Ce qui est parfaitement bien analysé par Denise Cavard et Patrick Criqui en 1979. CAVARD, Denise, CRIQUI, Patrick, *op. cit*., 1979, pp. 368-377.
[942] LACORNE, Denis, « La politique de promotion des exportations ou le colbertisme dans les moyens en vue du libéralisme comme fin », *in* COHEN Samy et SMOUTS Marie-Claude (dir.), *La politique extérieure de Valéry Giscard d'Estaing*, Paris, Presses de la fondation nationale des sciences politiques, 1985, Chapitre 6, pp. 150-172.
[943] LACORNE identifie l'après législatives de 1978 comme un moment charnière. *Ibid*. pp. 155 et 163.

monde peu solvables[944]. Ce soutien est ensuite remis en cause comme dans le dossier saoudien en 1981[945]. L'entreprise bénéficie aussi des actions de l'ACTIM[946] et du ministère des Affaires Étrangères (MAE), qui tentent de faciliter l'accès des entreprises françaises aux marchés étrangers. C'est notamment le cas dans la Chine de Deng Xiaoping où, par exemple, en 1979, une mission solaire est organisée à Pékin alors que l'ACTIM et le MAE y travaillent depuis 1976[947]. Selon Lacorne, les auditions parlementaires du Groupe du commerce extérieur qui se déroulent au Sénat en 1978 sont symptomatiques de cette volonté politique de développer les exportations[948]. Or, il est intéressant de constater que le solaire est représenté lors de cette concertation mais par des intérêts contraires à ceux de la SOFRETES[949]. Alors quand 1978, elle est le leader incontesté du solaire français à l'export, puisqu'elle détient un monopole commercial et

[944] Voir le dossier COFACE déposé par SOFRETES-Mengin-Renault Moteurs Développement le 18 mai 1977 pour une demande d'assurance prospection à l'étranger de 1976 à 1982. Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16. Voir aussi : L'avis favorable de la DIMME (DGI) pour le maintien de l'assurance prospection à la SOFRETES, 28 août 1977. Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910397, carton 48.

[945] De mars à septembre 1981, la question du maintien de l'assurance prospection COFACE à la SOFRETES est posée, notamment en raison d'une évaluation négative du conseiller pour l'Arabie Saoudite. Plusieurs documents permettent de suivre les discussions entre la COFACE, la DIMME et la SOFRETES. La DIMME est favorable au maintien du dispositif. Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16, Rapport SOFRETES du 10 mars 1981, Avis des conseillers COFACE (par régions géographiques) de juillet 1981, Avis de la COFACE à la DIMME du 6 août 1981, avis de la DIMME à la COFACE du 28 août 1981, lettre du Président de la SOFRETES à la DIMME du 9 septembre 1981, note de la DIMME du 11 septembre 1981.

[946] Il s'agit de l'agence pour la coopération technique industrielle et économique de la France. Elle promeut les intérêts français à l'étranger. En 2001 elle devient UbiFrance, l'agence française pour le développement internationale des entreprises. Sur l'ACTIM et ses activités en lien avec la promotion des énergies nouvelles voir la page qui lui est dédiée dans « La France et le développement des énergies nouvelles et renouvelables », *Annales des Mines*, Septembre 1981, p. 42.

[947] Note manuscrite, « Mission solaire en Chine », 15 février 1979. Dossier du MAE « Projets de développement des énergies solaires par pays 1980 – Programme et fiches d'opérations », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 6. Les activités de l'ACTIM en liaison avec le MAE, la DEN, Renault Moteurs Développement-SOFRETES-ELF autour des énergies nouvelles en Chine de 1976 à 1979 sont documentées par un corpus d'archives du COMES qui permet d'identifier les acteurs, les enjeux et les actions entreprises. Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 32, dossiers coopération par pays, Chine (1976-1981).

[948] LACORNE, Denis, *op. cit*., 1985, p. 163.

[949] Archives du Sénat. N°31, Sénat, Première session ordinaire de 1978-1979, Annexe au procès-verbal de la séance du 13 octobre 1978, Rapport d'information sur les enjeux et les conditions des équilibres extérieurs de la France, par M. Edgard PISANI, Tome III, Auditions et contributions, première partie. Compte rendu de l'entretien de M. Edgard Pisani avec M. Jean-Pierre Bérard (ANVAR), 22 juin 1978, p. 757-764. Audition de M. Mallet (Pompes Guinard), 18 avril 1978, p. 217-231. Audition de M. Chavannes (Leroy-Somer), 25 avril 1978, p. 232-261. Audition de M. Pierre Aigrain (Gouvernement), 23 mai 1977, p. 61-74. Nous constatons qu'un certain nombre d'acteurs engagés dans l'existence de la SOFRETES en particulier, et de l'administration du solaire en général, sont consultés, notamment Bérard et Aigrain qui suivent la SOFRETES depuis sa création, ainsi que les activités solaires de Jean-Pierre Girardier qui l'ont précédée.

technologique, les sénateurs préfèrent entendre Les pompes Guinard du groupe Leroy-Somer. Ces derniers sont des concurrents de la SOFRETES auprès de la DGRST, du FAC et des gouvernements africains et arabes. Ils proposent à l'exportation des pompes et des moteurs électriques dans des dispositifs photovoltaïques. A cette époque, leur activité commerciale solaire est bien moindre que celle de la SOFRETES, mais Les pompes Guinard sont leaders dans d'autres sous-secteurs du pompage bien plus stratégiques, de l'assainissement au pétrole (n°1 notamment en Arabie saoudite). Cette préférence peut aussi s'expliquer par le fait que Georges Chavannes, le Président de Leroy-Somer, est un membre actif de l'UDF, il sera d'ailleurs nommé ministre du Commerce en 1986 pendant la cohabitation[950].

Le soutien au commerce extérieur, associé à la logique poursuivie par le gouvernement de favoriser la constitution de monopoles, s'expriment dans le colbertisme industriel que Lacorne désigne (en empruntant l'expression à Aron) comme « colbertisme dans les moyens en vue du libéralisme comme fin »[951]. Cette organisation du secteur industriel, et de ses activités à l'export, touche le solaire qui subit une concentration. Aux PME-PMI innovantes du début des années 1970, se substituent progressivement des filiales solaires de grands groupes, pour culminer en 1979 avec la création par les pouvoirs publics de Photowatt, un champion national des exportations photovoltaïques contrôlé par la CGE (au détriment d'ailleurs de Leroy-Somer).

La SOFRETES est directement impactée par cette politique qui se retourne à partir de 1979 en sa défaveur. Cette promotion des exportations concerne principalement la haute-technologie à laquelle la filière du silicium photovoltaïque appartient puisqu'elle prolonge en aval celle de l'électronique et de ses composants (les semi-conducteurs)[952]. Lacorne explique que le gouvernement a recourt à une intense diplomatie industrielle afin d'ouvrir des marchés aux moyens de négociations bilatérales : « l'industriel intervenant sur la foulée du diplomate, se découvre son intime et le diplomate, devenu polyvalent, joue tout à la fois le rôle de publiciste, d'entrepreneur, de courtier en finance, de conseiller

[950] George Chavannes (1925-2019), ministre délégué au Commerce, à l'Artisanat et aux Services du 20 mars 1986 au 10 mai 1988 du Gouvernement Chirac 2. Il rachète Les pompes Guinard en 1972 et les revend en 1986. CHAVANNES, Georges, NEE, Jean-Louis, *Leroy-Somer. Aventure industrielle et humaine du XX^e siècle*, Éditions Sud-Ouest, 2014.
[951] LACORNE, Denis, *op. cit*., 1985, p. 164.
[952] Lacorne parle « d'assistance aux secteurs de pointe qui n'ont pas encore atteint leur maturité commerciale », « d'une politique sélective d'aide aux exportations et une action structurelle destinée à favoriser certains secteurs stratégiques ». *Ibid*., pp. 164 et 165.

militaire et de commis-voyageur de la technologie française. »[953] La SOFRETES en bénéficie dans sa phase de croissance puisque ses affaires sont directement issues d'opérations établies par une entente intergouvernementale (accords de coopération scientifique et technique la plupart du temps), qui fait parfois suite aux voyages présidentiels (aux Émirat Arabes Unis en 1975, en Arabie Saoudite en 1977 par exemple). L'auteur précise qu'au final les marchés concernés par ce colbertisme industriel sont surtout ceux du pré-carré français en Afrique, qu'ils programment plutôt des contrats de grands équipements et que les PME-PMI n'en bénéficient guère[954].

Cette diplomatie industrielle que les théoriciens de l'interdépendance[955] voient comme « de l'échange et du marchandage »[956] est surtout, d'après Lacorne, du clientélisme : « ce n'est pas le besoin qui détermine l'intervention de l'État, mais la qualité du réseau de relations État-industrie. ».

Tout cela nous éclaire sur deux points essentiels dans notre analyse des affaires de la SOFRETES. Premièrement, l'État et son sommet sont omniprésents dans les relations industrielles à l'export, ils interviennent d'ailleurs bien directement dans les contrats obtenus par la SOFRETES. Les dimensions diplomatiques et commerciales des opérations solaires sont tout aussi interdépendantes que celles des grands contrats de barrages en Afrique par exemple. Secondement, les actions menées privilégient plutôt les grands groupes, et surtout, à partir de 1979, les industriels du photovoltaïque. La SOFRETES s'insère donc de façon très cohérente dans ce schéma compréhensif de l'action publique à l'étranger. Par certains aspects, elle en bénéficie jusque vers 1979. Elle permet d'accéder aux gouvernements étrangers des pays du tiers-monde demandeurs. Ses affaires sont négociées au sommet de la hiérarchie politique et administrative, ils font l'objet de contrat intergouvernementaux. Puis, à partir de 1979, la priorité accordée aux technologies photovoltaïques à l'export l'écarte progressivement des dispositifs de soutien.

---

[953] *Ibid*., p. 166.
[954] *Ibid*., pp. 168-172.
[955] COOPER, Robert, *The Economics of interdep*endence, McGraw Hill, New York, 1968 ; KEOHANE Robert, NYE John, *Power and Interdependence*, Little and Brown, Boston-Toronto, 1977.
[956] LACORNE, Denis, *op. cit*., 1985, p. 160. Lacorne cite HOFFMANN, Stanley, « Les conditions de l'indépendance nationale », *in* Institut Charles-de-Gaulle, Actes du colloque international de l'Institut Charles-de-Gaulle (21-23 novembre 1975), Paris, Cujas, 1977, p. 159.

L'action de diplomatie industrielle qui se trouve au cœur de cette politique de soutien au commerce extérieur recouvre un aspect particulier quand il s'agit de matières et de techniques nucléaires. En 1976, comme nous l'avons déjà mentionné, le Président Giscard d'Estaing infléchit les règles qui prévalaient jusque-là. Le ministère de l'Industrie et le CEA se doivent alors d'être moins proliférateurs. Cela implique de mieux contrôler ces relations commerciales stratégiques. La création du Conseil de Politique Nucléaire Extérieure (CPNE) va dans ce sens[957]. En 1975, la filiale du CEA SOFRATOME a la charge de la commercialisation des technologies nucléaires françaises à l'étranger, alors que l'organisation et le contrôle de la filière du combustible uranium sont confiés à la COGEMA, une autre filiale du CEA. Cette dernière activité est fondamentalement tournée vers l'extérieur puisque le minerai est de plus en plus importé (depuis le Niger, mais les opérations d'exploration sont nombreuses) pour être enrichi sur le sol français afin de s'affranchir des importations américaines et d'envisager des exportations de combustibles. Des affaires qui se traitent au sommet des États. Or la COGEMA est un administrateur de la SOFRETES. Elle est présente dans son capital, à son Conseil d'administration et sur le terrain de ses opérations[958]. Elle le reste jusque tard après sa disparition. Ces éléments de contexte sont fondamentaux pour comprendre le rôle de la SOFRETES et de son moteur solaire dans les relations diplomatiques et commerciales liées à l'uranium avec certains de ses partenaires, comme le CEA et le Niger.

L'existence politique du solaire comme activité commerciale à l'export, et comme intermédiaire dans les relations internationales, prend une ampleur nouvelle à l'aune de ses découvertes. Elles nous renseignent également sur les déterminants qui procèdent à cette existence et à son administration, notamment sur le fait qu'elle est à un moment donné « la chose » du CEA, une sorte de domaine réservé, et donc qu'elle opère dans une logique d'action peut-être assez discrétionnaire et unilatérale, en vue d'objectifs

[957] POUPONNEAU, Florent, *op. cit*., 2013 ; COHEN Samy, SMOUTS Marie-Claude, *op. cit*., 1985, p. 14.
[958] Comme l'attestent par exemple les archives comptables de la SOFRETES, notamment le « Bilan consolidé de SOFRETES-Mengin au 31 décembre 1978 », établi le 19 mai 1979, comptabilité 1978 et dossier « fusion » de 1979, archives privées fonds usine Mengin. Ou bien encore les comptes-rendus du Conseil d'administration de la SOFRETES des 23 mars et 01 juin 1978, archives privées fonds BCD (CEA). Il faut également préciser que les archives de la SOFRETES du site du CEA-Cadarache sont vraisemblablement entreposées avec celles de la COGEMA. Le service des archives du CEA-Cadarache a refusé de nous communiquer l'inventaire des documents SOFRETES (existe-t-il ?), et en a considérablement limité l'accès. Seuls quelques cartons ont pu être consultés. Les demandes de reproduction sont restées lettre morte. Voir le paragraphe « Archives CEA-Cadarache » de notre catalogue de sources.

secondairement solaires. Une autonomie d'action et de gestion qui, comme nous le verrons, entre aussi en conflit avec la volonté d'institutionnaliser la question solaire sous la forme d'une intersectorialité au moyen d'une administration de mission très généraliste. En effet, comment contrôler un moteur solaire qui, en plus de pomper de l'eau en récupérant des basses températures naturellement existantes partout, sert aussi d'instrument à la diplomatie de l'uranium (et peut-être à d'autres secteurs industriels) ?

La technopolitique solaire française, c'est-à-dire l'action solaire auprès des gouvernements étrangers qui instrumentalise le potentiel de séduction politique de la machine dans ses marchandages à des fins de rayonnement, prend également place dans des relations bilatérales particulières, que ce soit en Afrique ou dans le monde arabo-pétrolier. La régionalisation de la politique étrangère en fonction des contextes, des conjonctures et de la nature des intérêts français, doit être intégrée à l'analyse des dossiers géographiques SOFRETES.

En Afrique, une force d'intervention française est plusieurs fois engagée, notamment au Tchad en 1978[959] lors d'un conflit qui touche les installations de la SOFRETES. Selon un témoignage, l'armée française aurait détruit la pompe solaire villageoise d'Ati, une région alors aux mains des rebelles où les points d'eau sont rares[960]. Un document d'archive du ministère de la Coopération atteste de cette destruction en laissant planer le doute sur les véritables responsables[961]. Quoi qu'il en soit, la guerre est en cause. De plus, ce conflit déborde les stricts frontières du Tchad car la Lybie, qui « cherche à contrecarrer l'influence française dans plusieurs pays d'Afrique »[962], justement au Tchad, s'immisce dans les affaires du CEA concernant l'avenir du soutien à accorder à la SOFRETES. En 1980, alors que l'*Arab bank for investment & foreign*

[959] Opération extérieure Tacaud de février 1978 à mai 1980. BACH, Daniel, « La France en Afrique subsaharienne : contraintes historiques et nouveaux espaces économiques », *in* COHEN Samy, SMOUTS Marie-Claude, *op. cit*., 1985, pp. 293-297.
[960] Entretiens avec Djelal Nerguti (août 2020), technicien-monteur de la SOFRETES au Tchad en 1978. Monsieur Nerguti nous précise que l'Ambassade de France procède à la réception du chantier d'Ati sans se déplacer sur le site.
[961] « En effet durant cette période troublée, les installations d'Ati ont subi quelques dégâts, sous la forme d'objets tombés du ciel... » Un peu plus loin, le document précise que la facture de la réparation des capteurs pourrait être réduite si le ministère de la Défense prenait à sa charge l'acheminement du matériel de remplacement, « bien qu'il me paraisse anormal de faire supporter financièrement par le ministère de la Coopération un préjudice causé par d'autres. » Lettre de l'Ambassade de France au ministère de la Coopération du 14 novembre 1978, dossier FAC Tchad, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19840224, carton 8,
[962] COHEN, Samy, « Cohérences et contradictions d'un septennat », *in* COHEN Samy, SMOUTS Marie-Claude, *op. cit*., 1985, p. 15.

trade (Abu Dhabi, Algérie, Lybie) semble intéressée pour monter au capital de l'entreprise, Kadhafi fait pression pour s'y opposer[963]. Cet exemple illustre la manière avec laquelle la SOFRETES se retrouve embarquée, malgré elle, dans les enjeux de la présence française en Afrique francophone, et comment elle en paie le prix fort en retour.

De façon plus générale, dans les années 1970, la dynamique de la relation France-Afrique est à la renégociation des accords de coopération issus des décolonisations de 1960[964]. Le début du septennat de Valéry Giscard d'Estaing affiche clairement une orientation développementaliste à la politique de coopération entre la France et son pré-carré africain. Elle est censée privilégier « une réciprocité d'intérêts plutôt que des rapports de dépendance »[965]. Une place importante est alors accordée aux actions de partenariat scientifique et technique qui associent le secteur privé français dans la réalisation de projets d'aide au développement concrets, notamment au moyen d'opérations de démonstration dans lesquelles la question de la nature et du degré du transfert de technologie envisagé se pose[966]. Il est souligné que la réciprocité des intérêts doit asseoir les exportations françaises et faciliter l'accès aux matières premières stratégiques[967]. Cela explique en partie pourquoi la SOFRETES bénéficie de contrats FAC, ce qui fait écrire à Ashworth en 1980 : *« the complexity of actual projects can be best seen in the French SOFRETES system, where export promotion, the provision of appropriate systems for the needs of the rural poor, bilateral assistance and private commercial gain become tightly intertwine* »[968]. La diplomatie d'ouverture engagée en

[963] « Évolution de la SOFRETES », document confidentiel du CEA à l'attention du Comité de l'énergie atomique pour février 1981, 22 décembre 1980, p. 4, archives privées fonds BCD (CEA). Nous avons par ailleurs découvert dans les archives privées des époux Alexandroff des plans de projets d'installations SOFRETES en Lybie (ferme solaire).
[964] Nous avons abordé cette question dans l'analyse de l'opération Chinguetti au chapitre 2.
[965] BACH, Daniel, *op. cit*., 1985, p. 299.
[966] *Ibid*., pp. 298-299. En 1980, le politiste américain John Ashworth analyse les raisons et les formes que prennent les opérations de démonstration technique en matière d'énergie renouvelable dans les pays du tiers-monde en termes de nature des transferts technologiques envisagés. Il distingue notamment les projets pensés pour être « *implanted* » (avec peu de transférabilité mais plutôt un potentiel commercial) des projets « *transplanted* » (conçus pour et avec les populations locales). ASHWORTH, John, « Technology Diffusion through Foreign Assistance : Making Renewable Energy Sources Available to the World's Poor », *Policy Sciences*, Vol. 11, N°3, Technology and Public Policy : The Institutional Agenda, Feb. 1980, pp. 241-261.
[967] *Ibid*., pp. 302-306. Voir le tableau statistique « La France, le monde et les matières premières minérales du continent africain pour l'année 1979 » aux pp. 308-309.
[968] « La complexité des projets réels est bien illustrée par le cas de l'entreprise français SOFRETES, où la promotion des exportations, la mise en place de systèmes adaptés aux besoins des ruraux pauvres, l'assistance bilatérale et le gain commercial privé s'entremêlent étroitement ».ASHWORTH, John, « Technology Diffusion through Foreign Assistance : Making Renewable Energy Sources Available to the

direction de l'Afrique de l'Est non-francophone[969] peut également se lire dans les installations solaires de la SOFRETES en Tanzanie, au Kenya et au Soudan (ces deux dernières opérations sont financées par le MAE).

Cette politique de coopération, qui n'en porte que le nom, est une stratégie de domination. Les récents travaux du politiste Philippe Marchesin le démontrent très clairement (*cf. infra* chapitre 3)[970].

La continuité de ce versant de la politique étrangère française au début des années 1980 n'est pas remise en cause par le passage éclair de Jean-Pierre Cot au ministère de la Coopération. Son retrait du gouvernement en 1982 est symptomatique de sa permanence[971].

Enfin, en ce qui concerne l'attitude de la France envers les pays arabo-pétroliers, le ton est à la conciliation, d'abord au moyen d'une intense activité diplomatique bilatérale auprès des États du Golfe, de la Lybie, de l'Égypte, de l'Irak, mais aussi de l'Iran[972]. Il s'agit de s'assurer un accès au pétrole brut, de consolider ses ventes d'armes (qui assurent également le recyclage des pétrodollars) dans le contexte particulièrement tendu du conflit israélo-arabe, et d'envisager de possibles contrats d'exportation d'équipements nucléaires civils (Iran et Irak)[973]. La présence de CFP-Total au capital de la SOFRETES, par le biais de ses filiales Afrique et Moyen-Orient, est ainsi rendue plus intelligible, tout comme celle de Jean-Claude Colli, Délégué aux Énergies Nouvelles (DEN), aux côtés de Valéry Giscard d'Estaing, lors de ses voyages aux EAU ou en Arabie

---

World's Poor », *Policy Sciences*, Vol. 11, N°3, Technology and Public Policy : The Institutional Agenda, Feb. 1980, p. 254.

969 *Ibid*., p. 301.

970 MARCHESIN, Philippe, *La politique française de coopération. Je t'aide, moi non plus*, Paris l'Harmattan, 2021. L'auteur établit que « toute action en matière de coopération passe par le tamis de l'intérêt » (p. 343 et pp. 343-346 pour le résumé de ses conclusions au sujet de l'aide-intérêt et des avantages recherchés par le donateur). Dans la seconde partie de l'ouvrage, Marchesin développe la notion d'aide-échange afin d'identifier les différents intérêts croisés (du donateur et du receveur) qui s'établissent dans le rapport dit de coopération de l'aide au développement, « l'échange supposant que chacun y trouve son compte » (p. 347).

971 COT, Jean-Pierre, *A l'épreuve du pouvoir. Le tiers-mondisme, pour quoi faire ?*, Paris, Seuil, 1984 ; MEIMON, Julien, « Se découvrir militant. Le cabinet Cot à l'épreuve de la Coopération (1981-1983) », *Politix,* N° 70, 2005/2, pp. 113-134 ; Discours de M. Jean-Pierre Cot, ministre de la Coopération et du Développement, au Comité directeur du Fonds d'aide et de coopération, sur les orientations de la politique à l'égard du tiers-monde, Paris le 28 octobre 1981.

972 COHEN Samy, SMOUTS Marie-Claude, *op. cit*., 1985, p. 13 ; LACORNE, Denis, *op. cit*., 1985, pp. 155-158 ; ERRERA-HOECHSTETTER, Irène, « La politique française au Moyen-Orient », *in* COHEN Samy, SMOUTS Marie-Claude, *op. cit*., 1985, pp. 349-371.

973 *Ibid*.

Saoudite, qui permet à la SOFRETES de décrocher des contrats d'installations solaires[974]. C'est également grâce aux activités du CEA en Iran que le Shah lance un programme public d'équipement solaire confié à la SOFRETES quelques mois avant la Révolution islamique.

Le Président Giscard d'Estaing promeut également l'idée d'une relation privilégiée entre la CEE, l'Organisation de l'Unité Africaine (OUA) et la Ligue arabe[975]. Ce trilogue permettrait la mise en place de « mécanismes de solidarité financière »[976] qui participeraient au recyclage des pétrodollars. Le projet du Centre Régional de l'Energie Solaire (CRES) de Bamako, décidé en 1978 par les Chefs d'États de la CEAO, en est un bon exemple, puisque les principaux bailleurs sont la France (le FAC, le COMES et le CEA), la RFA, Le PNUD, le FED, la BAD et l'OPEP. La coordination de la première phase du projet est confiée à Jean-Pierre Girardier juste après sa démission forcée de la Présidence de la SOFRETES en 1980. Une partie des sommes allouées au CRES sont récupérées par des entreprises françaises, notamment des bureaux d'études[977]. Une pratique courante des opérations de coopération, comme Jean-Louis Borloo l'explique à Marchesin : « je la fais courte. Elle est aveugle, éparse, inefficace, sans stratégie, et 80 % revient en fait aux cabinets de consultants occidentaux. »[978]

[974] Lettre du Président de la SOFRETES à la DIMME du 9 septembre 1981, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16
[975] COHEN Samy, SMOUTS Marie-Claude, *op. cit*., 1985, p. 13
[976] *Ibid.*, p. 300.
[977] Tels que : le Bureau d'Études Industrielles et de Coopération de l'Institut Français du Pétrole (BEICIP) ; la Société d'Économie et de Mathématiques Appliquée, la SEMA (filiale de METRA), qui est le principal bureau d'étude auprès des autorités françaises (notamment le COMES et le ministère de la Coopération) et africaines, à mener des évaluations dans le domaine des énergies renouvelables (ses membres les plus éminents sont des X-Mines, tel Jacques GIRI qui suit l'affaire CRES) ; sans oublier le CEA. « Proposition pour la première phase de la mise en œuvre du Centre régional énergie solaire (CRES) pour les pays de la Communauté Économique de l'Afrique de l'Ouest (CEAO) », septembre 1980. Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, cartons 247 ; « CRES, étude de factabilité », 15 septembre 1981, archives privées de Jean-Pierre Girardier. Nous avons consulté tout le corpus de documents archivés par le COMES-AFME relatif au CRES de Bamako (nous les avons recoupées avec les archives personnelles de Girardier). Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, cartons 246, 247, 248 et 249. Sur le bureau d'étude SEMA nous renvoyons à un précédent article dans lequel nous analysons une évaluation par la SEMA de la proposition sociotechnique de la SOFRETES : MOUTHON, Alexandre, « La centrale de pompage thermo-solaire de Diré au Mali (années 1970-1980). Éléments pour une évaluation sociotechnique », *Les Cahiers d'histoire du Cnam*, N°13, 2020/1, pp. 57-90. Les rapports annuels d'activités du COMES (1979, 1980, 1981) font la liste des contrats passés par l'agence d'objectifs en fin de volume. Cela permet de suivre l'activité du SEMA pour le COMES (mais également de la SOFRETES, du CEA, du CNRS, des concurrents photovoltaïciens, etc.). Archives nationales, COMES, répertoire 19940249, carton 100.
[978] MARCHESIN, Philippe, *op. cit*., 2021, p. 13.

Chapitre 3 L’opération solaire : entre opportunités et contraintes

Introduction du chapitre 3

L'intense activité des premières années d'exercice de la SOFRETES provoque la complexification du système d'acteurs dans lequel elle opère et lui permet d'étendre son rayon d'action à l'étranger. Sollicitée dans un temps court (1974 à 1979) par des commandes gouvernementales qui se superposent, la PME, débordée, projette ses activités vers des lieux très éloignés de son siège et de son usine, tout en essayant de développer sa capacité de recherche et de production en France, où elle est d'ailleurs engagée dans certaines opérations de démonstration[979]. Dès lors, la société se retrouve dans un équilibre précaire entre opportunités, contraintes et besoins. Sa dépendance envers les aides de l'État est totale, que ce soit pour être intégrée à sa politique étrangère ou pour obtenir son soutien à son programme de R&D.

Nous expliquons dans ce chapitre 3 que les opérations solaires de la SOFRETES à l'étranger répondent aux intérêts croisés des différentes parties prenantes. Il s'agit d'abord de comprendre pour qui et en quoi ces opérations sont des opportunités, puis d'identifier les contraintes qui pèsent sur leurs réalisations *in situ*, et sur leur survie. L'objet technique, qui se trouve à la fois élaboré et instrumentalisé dans ces opérations, est mis en perspective dans son système d'acteurs et ses caractéristiques sociotechniques au chapitre suivant (*cf. infra* chapitre 4).

La compréhension des enjeux liés à la chronologie et à la cartographie des opérations de la SOFRETES requièrt une vue d'ensemble de toutes les affaires traitées. Or, nous n'avons pas une connaissance exhaustive de tous les projets avortés. Cela est dû à la dispersion des archives (en France et à l'étranger), à la disparition des témoins, à l'éloignement des sites des installations, et aussi peut-être à des actions contre-historiographiques de la part des pouvoirs publics qui, à partir des années 1980 et jusqu'à

[979] Des opérations solaires et géothermiques sont menées sur le territoire français. D'abord des projets d'habitat solaire individuel dès 1974 en partenariat avec l'EDF (à Aramon en 1975), puis avec des promoteurs privés (1979-1981), et enfin avec le CEA (1981). Une maison prototypique est construite avec CFP-Total à Sophia-Antipolis en 1978. Un projet d'habitat collectif voit le jour avec le CEA, Total-Gaz et Gaz de France en 1980-1981. Une centrale électrique géothermique de moyenne température est ensuite rendue opérationnelle en 1981 à Chaudes-Aigues. En parallèle, de 1979 à 1981, la SOFRETES est le maître-d 'œuvre de la centrale solaire corse de moyenne puissance du groupement CEA-Bertin-SOFRETES (appel d'offre de la DEN de 1976). Enfin, en Polynésie, un site militaire du CEA accueil une installation de climatisation, et la SOFRETES participe à l'équipement photovoltaïque d'installations de pompage d'eau sanitaire. *Cf. infra* chapitre 4.

aujourd'hui, produisent de l'ignorance et de l'oubli autour de cette mémoire sociotechnique[980].

Afin de présenter de la manière la plus synthétique possible les réalisations sur sites et leur évolution dont nous avons trouvées des traces probantes, nous faisons le choix de présenter nos résultats sous la forme d'un tableau de synthèse du patrimoine de la SOFRETES au moment de sa disparition en 1983 (*cf. infra* tableau 3). La lecture de ce tableau est donc essentielle en appui à ce chapitre, puisqu'il permet de dater et de localiser toutes les opérations, et de les associer avec l'objet technique concerné[981].

[980] Le chapitre 5 aborde la question des traces laissées par la SOFRETES depuis sa liquidation judiciaire au 1er janvier 1984. Nous avons déjà présenté les difficultés auxquelles Frédéric Caille dut faire face pour obtenir du CEA l'autorisation d'accès aux archives solaires de Cadarache, notamment l'interdiction d'en faire des copies et le refus d'en dresser un inventaire.

[981] Ce document, réalisé par nos soins en recoupant toutes nos sources, est absolument central pour la lecture de notre thèse, en ce qu'il permet au lecteur de suivre la chronologie des dossiers solaires de l'entreprise, ainsi que leur cartographie mondiale. En effet, la principale difficulté que nous rencontrons pour comprendre le déroulé des faits, est la superposition d'un très grand nombre de dossiers et de dynamiques, internes et externes à la PME, dans un temps très court.

Pays-Opérations (Date du contrat / date de mise en route)	**Organisme contractant et / ou bénéficiaire**	**Cap-teurs (m^2)**	**Débit (m^3/h)**	**Rele-vage (m)**	**Durée (h/j)**	**Caractéristiques du projet**	**Situation en 1983-1984** Cases vides = pas d'informations fiables sur la situation
ABU DHABI (1975/1976)	État	90	4	35	5 - 6	Pompe 1 kW Petite irrigation	Abandonnée par l'utilisateur
ANGLETERRE - Plint Partners (1974/1975)	Plint Partners					MGS 1-260	
ALGERIE - Annaba (1977) - Constantine (1979)	Université Université CURER					Pompe 1 kW Pompe 1 kW	Abandonnée et démontée par l'utilisateur
ARABIE SAOUDITE - Riyad (1979/1981) - Djeddah (1978)	État-Electrico Université	2000			24h/24	33 kW, centrale électrique 240 kWh/j, irrigation Pompe 1 kW	Abandon contrat, négociations CEA/Arabie Saoudite en cours Non-montée
BRESIL - Ico Lima Campos, État de Ceara (1974-1975/1977)	Université	75	5	20	5 - 6	Pompe 1 kW eau potable centre rural, transféré de Joao Pessoa, État de Paraiba	Sans utilisation, ni maintenance, abandonné par l'utilisateur
CAMEROUN - Makari (1976) - Logoné Birni (1979/1981)	FAC FED / Société d'Expansion et de Modernisation de la Riziculture de Yagoua (SEMRY)	70	3 140	20	6 6	Pompe 1 kW, hydraulique pastorale, centre vétérinaire sous capteurs. Pompe PV de surface 5,8 kW, irrigation d'un casier rizicole	Arrêtée et abandonnée Garantie 2 ans, en panne, mission de contrôle SEMA (fév. 1982)

CANADA - Québec (1973/1974)	Université McGill					MGS 2-1000	
CAP VERT - San Felipe (1977) - *Santo Domingo (/1979)* ?	C.C.F.D.	70	3	35	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise	Abandonnée, remplacement éventuel par une pompe PV.
EGYPTE - El Hamrawein (1977/1980-1981)	E.E.A.	350	50	5	6	Pompe 10 kW : Force mécanique et dessalement par osmose inverse.	En cours de négociation CEA-AFME-Égypte (modification en PV envisagée par Photowatt).
- Assouan (1977/1980-1981)	E.E.A.	350	18	5	6	Pompe 10 kW : force mécanique et réfrigération (poisson).	Fin de garantie 01/1983. Inutilisée par les Égyptiens.
FRANCE - Chaudes Aigues (1978/1981)	Avec BRGM (Geowatt 1977) et MAE				24h/24	Centrale électrique géothermique 20 kW.	Non-exploitée et abandonnée
- Vignola, Corse (1979/1980-1981)	COMES-AFME	1200			8	Centrale électrique 100 kW, couplée au réseau EDF.	Non-exploitée et abandonnée.
- Plateau de Moulon (1981)	CEA					Chauffage habitat	En cours de montage.
- Blagnac (/1981)	Sté des HLM de Haute Garonne.				Stockage thermique, appoint gaz (GDF)	Immeuble collectif (26 logements), eau chaude sanitaire et chauffage (garantie 1991).	

- Montpellier, Roubeyrolles (1981)	Occitane de Promotion (promoteur immobilier)				Stockage thermique, appoint gaz	Lotissement (34 pavillons), eau chaude sanitaire et chauffage.	
- Magny les Hameaux (1980)	Service des Mines				Stockage thermique, appoint électrique	Bureaux, eau chaude sanitaire et chauffage.	
- Amilly (1979)	Municipalité				Stockage thermique, appoint fioul	Gymnase, eau chaude sanitaire et chauffage.	
- Nantes (1979)	Maison Phoenix (promoteur immobilier)				Stockage thermique, appoint électrique	Quatre maisons individuelles, eau chaude sanitaire et chauffage.	
- Sophia Antipolis (1978)	CFP Total				Stockage thermique, appoint gaz	Maison individuelle à usage de bureaux, eau chaude sanitaire, climatisation et chauffage.	
- Aramon (1975)	Pour EDF					5 maisons individuelles, eau chaude sanitaire et chauffage.	
- CNEXO (1974/1977)	CNEXO					Pompe 1 kW	
HAUTE VOLTA - Ouagadougou (1971)	Ets P.Mengin – DGRST - FAC / E.I.E.R.	30	2	20	5 – 6	Pompe 1 kW, électricité, démonstration et formation.	
- Ouagadougou 2 (1973/1975)	DGRST / E.I.E.R.						

- Koupela (1974/1975)	C.C.F.D. / H.E.R.	75	5	20	5 – 6	Pompe 1 kW, froid, dispensaire sous capteurs.	Fonctionne
- Djibo (1976/1978)	C.C.F.D. / H.E.R.	70	5	20	5, 24h/24 en 1977-1978	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, logement sous capteurs.	Semble fonctionner
- Djibasso (1976/1979)	FAC / H.E.R.	77	5	30	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, logement sous capteurs.	En 1976, le FAC a financé 13 pompes solaires SOFRETES. Toutes ont été livrées en Haute-Volta. Cinq fonctionnent en 1983. Cinq ont été remplacées par des pompes PV. Trois n'ont jamais fonctionné en raison de problème de forage.
- Demnouo (1976/1978)	FAC / H.E.R.	77	5	30	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique pastorale, logement sous capteurs, et réserve d'eau.	
- Gangaol (1976/1978)	FAC / H.E.R.	77	5	30	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique pastorale, logement sous capteurs, et réserve d'eau.	
- Po (1976/1979)	FAC / H.E.R.	77	5	30	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise.	
- Taparko (1976/1978)	FAC / H.E.R.	77	5	30	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique pastorale, logement sous capteurs.	
- Kiembe(a)ra (1976/1979) - Thiou (1976/1978) - Kongoussi(1976/1979) - Barsalogho (1976/1979) - Gorom (1976/1979) - Markoye (1976/1979) - Puytenga (1976/1979)	FAC / H.E.R.					Pompe 1kW hydraulique villageoise et pastorale avec ou sans logement. Formation sanitaire	

- Kassoum (1976/1978) - Bourzenga (1976-1979-1981)	FAC-COMES / H.E.R.	450	150	10 - 15	6	Modifié en pompe irrigation thermodynamique 5 kW (1979). Modifié en PV 8,5 kW (1980).	A installer. Entretien et suivi assuré par ELF-Haute-Volta.
- Ouagadougou (1981)	FAC-COMES / E.I.E.R.					Pompes PV Irrisol 200 W transportable.	Non-livrée en 01/1983. Entretien et suivi assuré par ELF-Haute-Volta.
- Ouagadougou (/1981)	FAC-COMES / E.I.E.R.					Pompes PV 1 kW Forasol.	Essai un an E.I.E.R. avant transfert sur site. Entretien et suivi assuré par ELF-Haute-Volta.
- Gourcy (1981/1982)	SOS Sahel					Pompe PV 1 kW Forasol, irrigation.	Fonctionne.
INDE - Auroville (1973/1974)	Auroville					MGS 1-260	
IRAN - Shiraz (/1977)	État	77	4	35	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, centre médical sous capteurs.	Abandonné suite à la Révolution islamique.
KENYA - Wajir (/1978)	MRE	77	5	30	5	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, centre médical sous capteurs.	Remplacé en 1982 par pompe PV Guinard.
MADAGASCAR - Tsihombé (/1977)	FAC	77	7 – 8	15	5	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, magasin de stockage sous capteurs.	Abandonnée.

MALI - Diré (1976/1979)	FAC	3200	5500	8	6 – 11	Pompage 75 kW : irrigation, froid, électricité.	Fonctionne mais la prise en charge malienne du périmètre d'irrigation est défectueuse.
- Diola (1974/1975)	C.C.F.D.	80	3	30	6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, centre médical sous capteurs.	Remplacée par pompe PV Diola 2.
- Diola 2 (1979)	C.C.F.D.					Pompe PV 680 W	Nouveau remplacement envisagé par pompe Sofretes PV Forasol 500.
- Katibougou (1976/1977)	C.C.F.D.	105	6 – 7	15	5	Pompe 1 kW, irrigation culture maraîchères, magasin agricole sous capteurs.	Abandonnée.
- Kolokani 1 (1979/1980)	C.C.F.D.		15			Pompe PV 680 W, hydraulique villageoise, dispensaire sous capteurs.	Remplacement envisagé par pompe Sofretes PV Forasol 500.
- Kolokani 2 (1981/1983)	FAC – COMES					Pompe PV 1,7 kW Forasol, marché.	Sous garantie.
- Tominian (1979/)	C.C.F.D.					Pompe PV 800 W.	Matériel égaré, non installé.
- *San* (/1980)			15			Pompe PV 500 W, hydraulique villageoise.	
- *Ombevi* (1979/)				60		Pompe 10 kW, pastorale.	
MAURITANIE - Chinguetti (1971/1973)	MIFERMA	72	5	23	5 – 7	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, école sous capteurs.	Abandonnée car manque d'eau.

- N'Gorel Guidal (/1979)	FED/Société Nationale pour le Développement Rural (SONADER)	1300	200	8	10	Pompe 10 kW, irrigation, électricité à usage agricole et froid.	Maintenance à assurer.
- Iwik Banc d'Arguin (1978/1981)	FAC					Éolienne 3,5 kW, dessalement, eau chaude sanitaire.	Problème de maintenance.
MEXIQUE (1973-1975/1974-1977)	État du Mexique pour toutes les installations : programme solaire national Tonatiuh						10 pompes du programme mexicain seraient remises en service en 1982. Aucune suite n'est donnée.
- Caborca, Sonora, éjido Bahia (1973/juin 1974)		90	3	45	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, école sous capteurs.	
- Ceballos, Durango, éjido 20 Noviembre (1973/septembre 1974)		90	4	40	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, dispensaire et école sous capteurs.	
- Cedral, San Luis Potosi, Escuela Tecnologica Agropescuaria (1973/mars 1975)		80	4	20	5 – 6	Pompe 1 kW, petite irrigation, capteurs au sol.	
- Mexicali, Basse Californie, Bosque De La Ciudad (1973/septembre 1975)		80	7	20	5 – 6	Pompe 1 kW, alimentation en eau, restaurant.	
- CD. Camargo, Chihuahua, Estacion La Cruz, (1973/octobre 1975) transfert Monterrey		80	4	30	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, dispensaire sous capteurs.	
- Tejulpilco, État de Mexico, Paso Guayabal (1973/novembre 1975)		90	4	35	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise.	

- Escarcega, Campeche, Nuevo Progresso II, (1973/décembre 1975)		70	4	25	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, école sous capteurs.	Remplacée par Diesel.
- El Cangrejo, Tecalitlan, Jalisco (/1976)		90	4	50	5 – 6	Pompe 1kW, hydraulique villageoise.	
- Villa de Cos, Zacatecas, éjido Canas (/1976)		90	4	30	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise et pastorale, magasin sous capteurs.	
- Todos Santos, Baja California Sur (/1976)		90	4	30	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, restaurant sous capteurs.	
- Tolosa, Zacatecas, Pinos Zacatecas (/1976)		90	4	30	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, dispensaire sous capteurs.	
- David Gustavo Gutiérrez, Quintana Roo (/1976)		90	4	50	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, dispensaire et école sous capteurs.	
- Santo Domingo, Yanhuitlan, Oaxaca (/1976)		90	4	22	5 – 6	Pompe 1 kW, irrigation, Institut du Tiers Monde sous capteurs.	
- Ixtacuixtla, Tlaxcala (/1976)		90	4	30	5 – 6	Pompe 1 kW, petite irrigation, école sous capteurs.	
- Jaumave, Tamaulipas (/1976)		90	4	13	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise et pastorale, école sous capteurs.	

- Merida, Yucatan, Noc Ac (/1976)		90	4	50	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, capteurs au sol.	
- San Luis de la Paz, Guanajuato (septembre 1975)		1500	150	54 – 30	5 – 6	Pompage électrique 25 kW (turbine) : électricité et eau sanitaire et/ou irrigation. L'installation n'est ni raccordée au réseau électrique, ni mise en valeur pour l'irrigation par le Mexique. La ville de San Luis de la Paz bénéficie déjà d'un réseau d'adduction d'eau potable.	Arrêtée et abandonnée.
- Pompe « Quetzalcoalt » (lieu ?) (/1979), puis projeté à Guadalupe, Nuevo Léon en 1979.	Mexique et COMES		8	40		Projet initial 5kW thermodynamique 24h/24 en 1977, transformé en pompe PV 2 kW en 1979.	Livrée mais non installée.
NIGER							
- Bossey Bangou (1969)	Niger / ONERSOL	80	6 – 7	12	5 – 6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise et pastorale.	
- Bossey Bangou (/1974)	FAC / ONERSOL					Pompe 1 kW, hydraulique villageoise et pastorale.	« à maintenir en fonctionnement » d'après accord CEA-AFME
- Karma (1978/1979)	FED / ONERSOL	800	300	6	5 – 6	Pompe 10 kW, irrigation.	Opérationnelle
- Tabalak (1978/1982)	FED / ONERSOL	400	150	6	5 – 6	Pompe 5 kW, irrigation.	Livré 10/82. En cours. Site d'implantation en négociation.
- 3 boucles Thermodynamiques (1979/)	FAC-COMES / ONERSOL					Pompes 5 kW	Site d'implantation en négociation.

- Ouallam (1978/) - Arlit (1979) - *Toukounous* (1980/) - *2 pompes PV* (1982/) - *Kore-Mairoua* (1982/)	FAC / NIGELEC CEA SOS Sahel Int. FED				24h/24 24h/24	Pompage 20 kW et électricité Froid (-15°C) Pompe 5 kW	Proposition de modification du projet par l'AFME en système PV.
PHILIPPINES (1976)	UNEP	77	9	10	5	Pompe 1 kW	Pompe transférée dans un laboratoire en 1980.
POLYNESIE - île de Tahaa, village de Vaitoare (1979-1980/) - Mururoa (1978-1979/)	CEA DAM CEA DAM		50	10		Pompe PV 1850 W, hydraulique villageoise. Climatisation-froid, locaux du CEA.	A installer.
SENEGAL - IPM de Dakar (1968/1969) - SEGAL - IPM de Dakar (/1975) - ONUDI - Medina Dakhar (1974/1976) - Niakhène (1974/1976) - Meouane (1974/1976)	 ONUDI FAC / Sénégal FAC / Sénégal FAC / Sénégal	88 72 70 70 70	6 4 3 3 3	25 30 40 40 40	5 – 6 6 5 5 5	Station pilote MGS 2-1000 Pompe 1 kW, bureaux sous capteurs. Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, bureaux sous capteurs. Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, bureaux sous capteurs. Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, bureaux sous capteurs.	

- IUT de Dakar (1977)		70	3	40	5	Pompe 1 kW, formation.	
- Diaglé (/1977)		70	3	40	5	Pompe 1 kW, petite irrigation.	Abandonnée, remplacement pompe PV.
- Bakel (1975-1978/1979-1983)	FAC-USAID/SAED	1870	600	10	10	Pompe 30 kW, électricité et irrigation.	Station installée puis en démontage – projet abandonné.
- Diakhao (1979/1980)	Senelec-FAC-COMES / Senelec	2048			24h/24	Pompage 25 kW, eau potable, électricité (220 kWh/j) avec stockage thermique.	Installée
- Bondi Samb (1976/1980)	FAC / SODEVA	400	50	40	6	Pompe 10 kW, hydraulique villageoise et pastorale.	Installée
- Kanel (1974/1980-1981)	FAC-FED-SOS Sahel		50	35		Projet thermodynamique transformé en pompage PV 2,5 kW	Installée
- Coubanao, Kalounayes (1979/)	FAC-COMES					Projet thermodynamique 10 kW, froid (poisson) et irrigation, transformé en projet PV.	Toujours en cours. AFME décide de l'abandonner après l'avoir réorientée vers le PV.
- Dhara (/1977-1981)	FAC					Projet thermodynamique 10 kW en 1976, transféré à Baga Dor-Doune en PV 25 kW en 1981.	
- Bambey (1976/1977)	FAC					Projet thermodynamique d'irrigation transformé en PV.	

- Médina Dakhar (1979)	C.C.F.D.-SOS Sahel		30	40		Pompe PV 1,4 kW, hydraulique villageoise et petite irrigation.	
- Mont Rolland (1979)	Mission		7-18	40-50		Pompe 518 W, eau potable pour dispensaire.	
- Thiangaye (1979/1981)	CIMADE-COMES		25-140	7		Pompe PV 1,4 kW, irrigation maraîchage.	
- Yare-Lao (1980/)	BOAD					Projet thermodynamique 10 kW d'irrigation et hydraulique pastorale. Le COMES s'y oppose.	
SOUDAN - Soba (/1977)	MRE	112	5 – 7	25	5 – 7	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, Institut de l'énergie solaire sous les capteurs.	Abandonnée.
- Shambat Hamad (/1977)	MRE	112	3	55	5 – 7	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise, Centre médical sous les capteurs.	Abandonnée.
TANZANIE - Kambalao (1977-1979/)						Projet thermodynamique MGS 2-1000 en 1977, transformé en installation PV en 1979	
TCHAD - Karal (1974/1976)	FAC	70	3	20	5	Pompe 1 kW, hydraulique pastorale, centre vétérinaire sous capteurs.	Abandonnée en raison des combats.
- Ati (1974/1977)	FAC	70	3	28	5	*Idem*, bureau vétérinaire sous capteurs.	*Idem.*
- N'Gouri (1974/1977)	FAC	70	3	35	6	Pompe 1 kW, hydraulique villageoise.	*Idem.*

- N'Djamena (1977-1980)	FAC	180	20	32	6	Pompe 5 kW : eau, électricité et froid. Marché à bétail.	*Idem.*
THAILANDE - Fang (/1980)						Centrale électrique géothermique 300 kW.	
TOGO - Assahoun (1979/1982)	FED		40-100	12-40		Pompe PV 2,5 kW, irrigation de cultures maraîchères.	A installer.
TUNISIE - Bordj Cedria (/1982)	AFME-MRE					Pompe PV, dessalement.	
PROJETS - Nouvelle-Calédonie (1981/) - Nigéria, État de Sokoto (1980/) - Ouganda (1978/) - Pakistan (1979/) - Yémen et Soudan (1981-1982/) - Lybie (1982/) **POMPES VERGNET** - Cameroun - Côte-d'Ivoire - Gambie - Guinée-Bissau - Haute-Volta - Indonésie - Mali - Niger - Sénégal - Togo						3 Pompes PV Pompes PV Pompe 5kW Pompe 10 kW Pompes PV Laboratoire solaire Pompes à pied 50 installées en 1980 1400 80 220 100 40 580 10 100 150	 150 en cours en 1980 1600 20 30 150 30 100 110 60 150

Ombevi : installations pour lesquelles nous n'avons que peu de traces (certaines sont sûrement restées à l'état de projets, avortés en cours de route).

A.F.M.E. : Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie.
B.R.G.M. : Bureau de Recherches Géologiques et Minières (ministère français de l'Industrie).
B.O.A.D. : Banque Ouest Africaine de Développement.
C.C.F.D. : Comité Catholique Contre la Faim et pour le Développement.
C.N.E.X.O. : Centre National pour l'Exploitation des Océans.
C.O.M.E.S. : Commissariat à l'Énergie Solaire.
C.E.A. : Commissariat à l'Énergie Atomique (ministère de l'Industrie).
C.E.A D.A.M : Commissariat à l'Énergie Atomique Direction des Applications Militaires.
D.G.R.S.T. : Direction Générale de la Recherche Scientifique et Technologique.
E.I.E.R. : École Inter-États d'Ingénieurs de l'Équipement Rural de Ouagadougou, Haute-Volta.
F.A.C. : Fonds d'Aide au Développement (ministère français de la Coopération).
F.E.D. : Fonds Européen pour le Développement.
H.E.R. : Hydraulique et Équipement Rural de Haute-Volta.
I.P.M. : Institut de Physique Météorologique de Dakar.
M.A.E. – M.R.E. : Ministère français des Affaires étrangères – Ministère française des Relations Extérieures.
PV : pompe solaire photovoltaïque de la SOFRETES (Forasol et Irrisol).
Pompe 1 kW : station solaire de pompage thermodynamique équipée du moteur à pistons MGS 2-1000.
S.A.E.D. : Société d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta à Bakel, Sénégal.
Senelec : La société nationale d'électricité du Sénégal.
S.O.D.E.V.A. : Société de Développement et de Vulgarisation Agricole (Sénégal).
U.N.E.P. : United Nations Environment Programme.
U.S.AID : United States Agency for International Development.

Tableau 3 : patrimoine des installations SOFRETES en 1983-1984

Les opérations solaires à l'étranger en général, et celles de la SOFRETES en particulier, sont des opérations de politique étrangère dont l'objectif est de pousser les intérêts français, ceux du gouvernement et ceux des partenaires industriels. Pour y parvenir elles répondent aux critères qui déterminent la relation bilatérale des deux États contractants, la France et le pays du tiers-monde, dans la politique de coopération, ici l'aide au développement agricole, scientifique et technique. Dit autrement, le potentiel de séduction politique de la proposition sociotechnique SOFRETES doit servir à la fois le rayonnement de la France et le prestige du client. Philippe Marchesin met en cohérence ce schéma explicatif dans son ouvrage de synthèse sur la politique française de coopération en expliquant qu'elle répond exclusivement à la satisfaction d'intérêts et à une stratégie d'influence : « depuis la mise en place de la coopération, la France inscrit cette politique publique dans un objectif de rayonnement et d'influence… Nous sommes bien en somme en présence d'une politique classique de puissance »[982]. Si l'auteur ne prend pas précisément l'exemple de la place qu'occupe l'objet technique en particulier dans ce type d'action publique à l'étranger, les opérations SOFRETES s'insèrent cependant parfaitement bien dans ce système en tant qu'instrument d'une sorte de *Soft Power* solaire.

Marchesin identifie les deux dimensions de l'Aide publique au développement : l'aide-intérêt et l'aide-échange.

L'aide est intérêt pour quatre raisons. Premièrement, elle est « un attribut de la puissance » par son « affichage »[983]. Elle fabrique du prestige par définition. Aussi, comme nous l'avons présenté au chapitre 2, on comprend aisément qu'une machine solaire installée à Chinguetti semble un instrument adéquat. Deuxièmement, l'aide est récupérée en reprenant « une bonne partie de la mise », notamment *via* les dépenses du gouvernement client en importations[984]. Troisièmement, les réalisations *in situ* induisent soit de futures commandes, répliques de l'opération de démonstration, soit, pour celles qui « vieillissent mal », une possible future réhabilitation[985]. En effet, l'abandon de l'installation de prestige juste après la récolte des dividendes politiques est courant, au risque alors de voir se ternir l'image première, ce qui force à trouver une issue honorable.

[982] MARCHESIN, Philipe, *op. cit*., 2021, p. 351.
[983] *Ibid*., p. 344.
[984] *Ibid*.
[985] *Ibid*., pp. 344-345.

Enfin, les trois raisons précédentes s'ajoutent « à la contrepartie d'un avantage qui est accordé au donateur », puisque l'aide est échange[986] :

> En somme, la bonne affaire peut être résumée comme suit : l'aide est tout d'abord un échange, une opération qui pourrait bien s'arrêter là. Nonobstant cette transaction plus ou moins équilibrée, car le partenaire le plus fort a tendance à dominer la situation, le donateur, en plus, récupère une partie de la mise, bénéficie de chantiers à répétition, en profite pour prospecter en vue de futurs projets rémunérateurs et, comme si tout cela ne suffisait pas, clame haut et fort qu'au prix de tous ces efforts, il fait preuve de générosité. {…} Et s'il fallait, pour enfoncer le clou de l'hypothèse de l'aide-intérêt, invoquer un ultime argument, il suffirait de se remémorer que l'aide n'est qu'un élément de la politique étrangère qui n'est qu'intérêt.[987]

Par conséquent, le receveur, pour nous le gouvernement client d'une installation SOFRETES par exemple, est tout aussi opportuniste. Les intérêts sont donc croisés : « la coopération se décide au plus haut niveau, celui des chefs d'État, et peut être interprétée de diverses manières -contrepartie, chantage, sanction- selon la nature des relations entre les deux protagonistes. »[988] Selon Marchesin, le cadre de cette relation est « traditionnellement de nature clientéliste », mais la tendance est à « la commercialisation de l'aide »[989]. Il distingue donc les intérêts du donateur et ceux du receveur. En voilà les principaux.

Le donateur attend en retour que ses intérêts économiques soient satisfaits. Il soutient alors ses entreprises à l'export[990]. Il cherche à obtenir une contrepartie avantageuse (des garanties) dans d'autres domaines : « l'un des exemples les plus classiques est relatif aux matières premières et en tout premier lieu au pétrole et à l'uranium considérés comme des sources d'approvisionnement énergétique stratégiques. »[991] La France poursuit également des objectifs diplomatiques puisqu'elle peut négocier un projet d'aide publique contre un soutien politique au niveau international par exemple[992]. Il s'agit de renforcer sa clientèle diplomatique. Marchesin rappelle également la dimension stratégique de l'aide par laquelle la France s'engage à protéger

[986] *Ibid*., p. 345.
[987] *Ibid*.
[988] *Ibid*., p. 347.
[989] *Ibid*., pp. 347-348.
[990] *Ibid*., p. 353.
[991] *Ibid*., p. 354.
[992] *Ibid*., p. 359.

et à maintenir au pouvoir, notamment ses partenaires africains, leurs territoires et leurs ressources[993].

En échange, le receveur, le gouvernement d'un pays pauvre, adresse de nombreuses demandes au sommet de l'État français[994]. Premièrement, les chefs d'État des anciennes colonies devenues indépendantes souhaitent être protégés, c'est un moyen de conserver le pouvoir (ou de le renverser) et son ordre social[995]. Deuxièmement, l'aspect économique domine le don-contre-don. L'État pauvre ne peut pas à lui seul rentabiliser les richesses de ses sols et sous-sols. Le chef de tel ou tel État exsangue a souvent recourt à une demande d'aide publique en vue de réaliser une opération de prestige dans une stratégie électorale, telle la construction d'une infrastructure afin de plaire. Voire de redistribuer aux siens, à sa base, pour se maintenir au pouvoir :

> Les demandes sont nombreuses parce qu'il faut contenter beaucoup de monde, une grande partie des requêtes devant être analysée sous l'angle du clientélisme. La redistribution permet ainsi au pouvoir de se légitimer. {…} Les présidents sont donc particulièrement attentifs à leur entourage qui se confond souvent en partie avec leur communauté d'origine. Il ne serait être question d'oublier les siens qui constituent généralement un socle en qui on peut avoir une totale confiance. {…} Si un clientélisme réussi, avec à la clé la réalisation du projet, conforte en retour le pouvoir, la non-réalisation de promesses voire l'inaction risquent fort de se retourner contre le dirigeant qui peut être pénalisé à la suite d'une absence de redistribution[996].

Troisièmement, sur le plan diplomatique, le receveur attend également du donateur que celui-ci favorise ses intérêts auprès des instances internationales en échange de son soutien. Un État africain francophone peut attendre de la France qu'elle place habilement un de ses hauts fonctionnaires au poste de commissaire européen en charge de la politique de développement et de la coopération des Communautés européennes pour pouvoir plus aisément en bénéficier[997]. Par exemple, dans le cas des opérations solaires conjointes avec la SOFRETES au Niger, l'ONERSOL reçoit des financements du FED et du FAC. Quatrièmement, l'objet de l'aide peut être directement destiné au chef de l'État en personne[998]. Enfin, les conclusions de Marchesin mettent en évidence qu'une grande partie de l'aide « *s'évapore* », c'est-à-dire qu'elle est détournée[999].

---

[993] *Ibid*., pp.365-370.
[994] *Ibid*., pp. 373-374.
[995] *Ibid*., pp. 374-380.
[996] *Ibid*., pp. 382-383.
[997] *Ibid*., pp. 384-385.
[998] *Ibid*., p. 386.
[999] *Ibid*., pp. 392-397.

Les opérations solaires françaises à l'étranger, d'abord celles de la SOFRETES, puis celles des autres[1000], trouvent en grande partie leurs raisons d'être dans ce système. Leur existence est éminemment politique, elle procède d'opportunisme et génère ainsi leurs propres contraintes qui se répercutent sur la machine et sur ses usages.

Là où la SOFRETES est porteuse d'un projet sociotechnique destinée aux populations, l'opération politique dévoie finalement la machine au profit du sommet de la hiérarchie sociale, et « au total, l'aide est utilisée au profit du pays donateur et des élites du pays receveur, au détriment des populations nécessiteuses qui devraient en être les légitimes bénéficiaires. Dans ces pays, l'État reste aux mains d'une élite qui prospère notamment grâce à l'aide »[1001].

1. Croissance (1973-1979) et déclin (1979-1983)

Cette sous-partie établit la dynamique d'ensemble de l'activité de l'entreprise. Elle ne cherche pas détailler les raisons qui peuvent l'expliquer, ni leurs modalités de mise en œuvre. Cet aspect est traité plus loin. Elle doit être lue avec le tableau de synthèse des installations.

En 1973-1974, juste après l'opération Chinguetti en Mauritanie, la commande du gouvernement mexicain, imprévisible, est déterminante. Elle assure à la SOFRETES, grâce à la réalisation d'un programme national d'équipement sur plusieurs années (20 stations de pompage MGS 2-1000 et une centrale électro-solaire), une certaine crédibilité et une renommée internationale. Comme nous l'avons dit précédemment, par la force des choses, le gouvernement français, sur demande de son homologue mexicain, se retrouve engagé aux côtés de la PME dans une opération de politique étrangère qui prend la forme d'un programme de coopération solaire franco-mexicain (*cf. supra* chapitre 2). L'ANVAR, la SOFINNOVA et le CEA participent à cette relation. Ils sont rejoints par la CFP-Total, Technigaz et la Régie Renault en 1975. L'activité prend également de l'ampleur en Afrique grâce à son ancrage historique au Sénégal (IPM de Dakar) et à ses premières installations de démonstration au Niger (avec l'ONERSOL de Moumouni

[1000] Par exemple, celles des entreprises concurrentes de la filière photovoltaïque qui vont la supplanter auprès des pouvoirs publics français et *de facto* auprès des gouvernements clients.
[1001] MARCHESIN, Philippe, *op. cit.*, 2021, p. 396.

Dioffo), en Haute-Volta (EIER de Ouagadougou) et en Mauritanie (l'opération de la MIFERMA à Chinguetti). De nouvelles affaires sahéliennes dans le cadre de l'aide au développement sont engagées dès 1974 en Haute-Volta (dont nous avons déjà parlé, il s'agit d'un projet financé en partie par la DGRST), au Sénégal (dans le cas d'un marché FAC de quatre MGS 2-1000 et du financement par l'ONUDI d'une nouvelle pompe de recherche à l'IPM de Dakar), au Tchad (dans le cas d'un marché du FAC de trois MGS 2-1000). D'autres initiatives, non coordonnées par des gouvernements, existent également. Il s'agit d'entreprises et de laboratoires, étrangers ou français, qui travaillent à une R&D des convertisseurs solaires, ou plus généralement aux transformations des faibles gradients de températures, comme l'Université McGill à Québec, l'entreprise anglaise Plint Partners, le CNEXO en France (dont nous avons déjà parlé). Le projet d'utopie politique d'Auroville en Inde achète aussi un moteur solaire. Le magazine *La Vie Catholique* lance un appel aux dons en 1974 pour équiper un dispensaire à Diola en réponse à une demande du laboratoire solaire de Bamako au Mali. Face à l'engouement du projet « Le soleil contre la faim » auprès des donateurs, le Comité Catholique contre la Faim et pour le Développement (CCFD) organise un programme d'équipement plus vaste auquel la famille de Girardier participe financièrement à titre privé[1002]. Nous avons également trace d'une commande brésilienne et d'une entreprise locale partenaire[1003]. Cette première année d'exercice 1974 impulse donc une dynamique de croissance très forte pendant laquelle l'entreprise est très sollicitée notamment par les gouvernements du tiers-monde.

A partir de 1975, le ministère français de la Coopération lance avec le ministère des Affaires étrangères et le ministère de l'Industrie un programme d'aide au développement destiné à soutenir en Afrique sahélienne des opérations de démonstration de conversion des énergies nouvelles. Le Programme Énergies Nouvelles pour le Sahel

[1002] Au dispensaire de Diola au Mali, l'eau était acheminée en voiture depuis le fleuve. Une fois la pompe SOFRETES installée, le dispensaire est reconstruit sous les capteurs, puis un lycée est créé, alimenté par la pompe, car le bourg connaît alors un développement induit important. Puis l'opération se poursuit en Haute-Volta, à Koupela, où un hôpital existant n'avait pas d'eau. Vient ensuite Djibo, au Nord, où un centre vétérinaire et une pompe pastorale sont construits sur la route du bétail transhumant. Il y aura également les pompe de Katibougou au Mali, et deux autres, l'une au Cap-Vert et la dernière en Tanzanie. « Dossier La Vie catholique », archives privées de Jean-Pierre Girardier et son livre témoignage de 1979, pp. 37-38.
[1003] Les affaires brésiliennes de la SOFRETES font l'objet d'un développement ultérieur. Les premières commandes que nous venons de présenter sont inscrites au premier registre des commandes de la SOFRETES en notre possession : « Liste manuscrite des commandes 101 à 132 », archives privées fonds usine Mengin.

débute en 1976 pour 3 ans. Il finance la plupart des opérations de la SOFRETES au Sahel dont la plus importante du programme est celle de Diré au Mali (sur le fleuve Niger), inaugurée à la fin de l'année 1979[1004]. L'action publique d'aide au développement agricole rencontre donc tout naturellement celle qui doit faire face à la pauvreté énergétique, l'une étant étroitement liée à l'autre puisqu'il s'agit de mettre en place des stations solaires de pompage devant soutenir le développement d'une agriculture irriguée[1005].

Pendant cette période, de 1975 à 1979, la cartographie des commandes s'élargit à l'Amérique du Sud, au Moyen-Orient et à l'Asie. Il s'agit exclusivement d'installations thermodynamiques jusqu'en 1979. Au Moyen-Orient et au Machrek, les commandes des E.A.U., de l'Égypte, de l'Arabie Saoudite et de l'Iran, prolongent le marché de la démonstration solaire en pays exportateurs de pétrole (initié par le Mexique), mais lui ajoute *de facto* une dimension géopolitique liée à la position de la France dans le conflit israélo-arabe et dans la Guerre froide (notamment avec l'Égypte), c'est-à-dire pas seulement corrélée aux relations bilatérales avec un fournisseur de brut. En Afrique, aux CCFD et FAC viennent s'ajouter à liste des bailleurs le MAE français, le FED, l'US AID, les Nations Unies et des entreprises publiques de l'électricité comme la SENELEC, NIGELEC et l'EEA (Égypte). Il s'agit donc très majoritairement d'institutions publiques. Les derniers projets de stations mixtes (pompage et électricité) au Niger et au Sénégal

[1004] Le Programme « Énergie Nouvelle pour le Sahel » est lancé en 1975 par le ministère de l'Industrie (Délégation aux Énergies Nouvelles) et le ministère de la Coopération, pour trois ans, avec un financement de 10 MF par an. Officiellement, il visait à soutenir la diffusion d'opérations de démonstrations prototypiques dans le contexte de cherté des prix du pétrole qui asservissait davantage la balance des paiements des pays du tiers-monde depuis 1973. Ces opérations ciblaient principalement les installations de pompage solaire thermodynamique et photovoltaïque, ainsi que les démonstrations éoliennes et les transformations de la biomasse. « Rapport de présentation de la 3ème tranche du marché pour l'utilisation d'une centrale solaire de pompage à Diré au Mali », octobre 1977, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16 ; Comité directeur du FAC, « Utilisation des énergies nouvelles au Sahel », décembre 1977, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19980545, carton 71 ; Comité directeur du FAC, « Utilisation des énergies nouvelles au Sahel », juin 1978, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19980545, Carton 73 ; Voir le tableau récapitulatif des installations du programme dans *Afrique agriculture*, n°49, 1er septembre 1979, pp. 26-27. Le MAE (MRE) administre de son côté le « Plan sectoriel ENR » dont il délègue la responsabilité en 1979 au COMES, tout comme le font les ministères de la Coopération et de l'Industrie avec le programme Énergies Nouvelles pour le Sahel. « Rapport d'activité du SAI de l'AFME de 1987 », Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230. Lire également : MOUTHON, Alexandre, *op., cit*., 2020.

[1005] Sur le projet Diré lire MOUTHON, Alexandre, *op., cit*., 2020. Le projet de Bakel, sur le fleuve Sénégal, procède des mêmes principes sociotechniques et objectifs agricoles. La centrale est censée intégrer un projet de mise en valeur agricole beaucoup plus vaste et qui la précède. République du Sénégal, Primature, Délégation générale à la recherche scientifique et technique, *Projet de turbine solaire pour l'irrigation dans la vallée du fleuve Sénégal*, novembre 1975, archives privées de Georges Alexandroff.

intègrent aux côtés des entreprises nationales d'électricité des structures locales à vocation industrielle spécialisées dans la fabrication d'éléments (surtout les capteurs) qui travaillent en étroite collaboration avec les laboratoires solaires de Dakar (le CERER) et l'ONERSOL de Niamey avec lesquels Girardier est en contact depuis les années 1960. Il s'agit donc d'entreprises (*joint-venture* et filiales) conçues pour être des acteurs du transfert de savoir et de savoir-faire solaire par et pour l'Afrique. De 1975 à 1979, le carnet de commandes est donc tellement plein que la petite entreprise peine à les satisfaire sans accuser des retards inhérents à toute fabrication prototypique et à tout chantier situé aux confins des régions pauvres et désertiques des pays du tiers-monde. Son activité commerciale de prospection, par elle-même ou par l'intermédiaire d'agents tiers, est tout aussi soutenue que son activité proto-industrielle[1006].

En 1978-1979, des vents contraires se mettent à souffler et les premiers signes de rupture apparaissent[1007]. La Régie Renault se retire de la SOFRETES et le gouvernement demande au CEA de reprendre ses parts. Jean-Pierre Girardier est nommé chevalier de l'Ordre National du Mérite sur proposition du ministre de l'Industrie André Giraud[1008] : « le seul fournisseur mondial pour un certain nombre d'installations importantes au Mexique, au Mali et en Arabie Saoudite. En quelques années la SOFRETES est devenue le symbole de la réussite dans l'énergie solaire »[1009]. Cependant, le nouveau programme de développement quinquennal qu'il présente ne reçoit pas le soutien attendu des pouvoirs publics et l'entreprise, devenue une filiale d'établissements publics, arrive à l'échéance des aides à la recherche au développement dont elle bénéficie depuis 1975-1976. Simultanément, un nouvel acteur fait son apparition, le COMES, l'administration de mission solaire du gouvernement, qui hérite de la gestion financière des dossiers solaires

[1006] Le dossier COFACE déposé par Renault au début de l'année 1977 dresse un état des lieux complet de l'activité de la SOFRETES, de la maison mère les Etablissements Pierre Mengin et de leur perspectives commerciales et industrielles. Voir le dossier COFACE déposé par SOFRETES-Mengin-Renault Moteurs Développement le 18 mai 1977 pour une demande d'assurance prospection à l'étranger de 1976 à 1982, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1007] Nous développons cet aspect au chapitre 5.
[1008] Lettre du Chef du Bureau du Cabinet du ministre de l'Industrie au Directeur de la DIMME du 2 juin 1978 ; Note de la DIMME « Croix de Chevalier de l'Ordre National du Mérite de M. Girardier PDG de la SOFRETES » du 7 juin 1978 ; Lettre du Secrétaire Générale de la DGI au Chef du Bureau du Cabinet du ministre de l'Industrie du 13 juin 1978, Dossier SOFRETES 1976-1981, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1009] Lettre du Secrétaire Générale de la DGI au Chef du Bureau du Cabinet du ministre de l'Industrie du 13 juin 1978, Dossier SOFRETES 1976-1981, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

à l'étranger du ministère de la Coopération et du MAE en cours, et des futures orientations des aides. La relation avec le COMES devient difficile, traduisant ainsi un changement dans la position du gouvernement par rapport à la SOFRETES et à sa machine. Une fusion de la SOFRETES avec sa maison mère, Les Etablissements Pierre Mengin (EPM) est orchestrée, et Alsthom Atlantique, désormais actionnaire, prend le contrôle de l'activité commerciale traditionnelle. Le jeu d'acteurs, en interne et en externes, est donc modifié dans une nouvelle politique publique solaire. Il n'y a plus de commandes. Les chantiers peinent à être achevés. L'entreprise est d'office placée dans une logique de demande d'aides pour survivre. Symptomatique de ce nouvel état de fait, une demande de l'Inde pour un station SOFRETES thermodynamique mixte de moyenne puissance, avec transfert de technologie, est refusée par le Président du COMES, Henry Durand, aux motifs que l'opération est trop onéreuse pour que la France en récupère un bénéfice financier :

> Je veux bien croire que le marché de ce type de machine est important en Inde, mais je doute qu'une cession de licence puisse être lucrative, si, contrairement à toutes les habitudes, c'est le bailleur de licence qui effectue au licencié un versement comptant. La centrale solaire complète de 50 kW de série, surtout construite en Inde, ne devant pas coûter plus de 1 MF, il faudrait que ce pays en construise une centaine, à un taux de *royalty* de 5 %, pour que la France récupère sa mise. Une telle éventualité me parait improbable, ou en tout cas très lointaine.[1010].

Il n'y a donc aucune volonté d'industrialiser l'objet technique, ni d'en assurer un transfert technologique alors que la demande existe. Pourtant, les opérations de séduction solaire à l'étranger se poursuivent mais avec d'autres techniques et d'autres prestataires.

De 1979 à 1983, les restructurations internes de la SOFRETES se succèdent très rapidement (au moins une chaque année et un plan social). Les activités solaires thermodynamiques se limitent à honorer les anciens contrats encore en cours et à assurer la maintenance de certaines installations en place dans la limite de la durée de garantie. De nombreux projets sont transformés en installations photovoltaïques faute de disponibilité de la technologie thermodynamique puisque la SOFRETES n'a plus les moyens ni en hommes ni en trésorerie, ni en capacité de production, d'en concevoir et d'en fabriquer les éléments, et que la volonté politique semble manquer. Voire même

[1010] Lettre de Henry Durand, Président du COMES, à M. Jacquard, CEA, du 7 décembre 1978, pochette 1978-1983, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245.

d'anciennes installations thermodynamiques sont remplacées par des dispositifs de pompage solaire photovoltaïques. Le CEA est l'actionnaire ultra-majoritaire qui mène avec l'administration de mission solaire (le COMES, puis l'AFME à partir de 1982) la liquidation progressive (nouveau statut juridique, déménagement de l'entreprise, réorientation de l'activité au sein du groupe CEA) au cours des dernières années (1980-1983)[1011].

L'exclusion progressive de la SOFRETES des instruments de la politique d'aide à l'innovation est emblématique de ce changement de statut qui affecte sa proposition sociotechnique, d'abord plébiscitée en 1973, puis honnis en 1983 alors que la mise au point technologique a progressé et que la demande existe. Comme nous l'avons montré, au moment de sa création, la SOFRETES est portée par la SOFINNOVA et la DITEIM (Marbach et Gaudin). Fin 1974, La SOFRETES est inscrite au Programme innovation du MDIS en tant qu'action d'évaluation technologique de l'énergie solaire[1012]. Gaudin loue les potentiels de ses réalisations[1013]. En 1975, bénéficiant d'une très forte valorisation de ses actifs solaires, la SOFINNOVA revend ses parts à CFP-Total et au CEA (mais reste présente). La DGRST accorde une aide au développement pour 3 ans de 1976 à 1978. En 1980, alors que le CEA devient ultra-majoritaire, il crée sa propre société de financement de l'innovation, l'Entreprise de Promotion de l'Innovation au CEA (EPICEA)[1014]. Cependant, EPICEA n'apporte aucun soutien à la filiale solaire de sa maison mère alors qu'elle est en recherche de financements. Cela illustre d'autant plus l'abandon précoce de la SOFRETES par ceux-là mêmes qui ont participé à la créer, et qui cherchent par ailleurs, au même moment, des repreneurs et/ou des investisseurs. En effet, la SOFINNOVA est actionnaire d'EPICEA aux côtés du CEA, et Pierre Jacquard (X-Mines, 1935-2016), son directeur, est également le Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles du CEA, ainsi que l'administrateur le plus puissant de la SOFRETES.

[1011] Nous développons cet aspect au chapitre 5.
[1012] « Le Programme innovation », *Annales des Mines*, octobre-novembre 1974, p. 14.
[1013] GAUDIN, Thierry, « Notes de réflexion », *Annales des Mines*, octobre-novembre 1974, p. 92. Gaudin résume la politique énergétique française un an après de choc pétrolier de 1973 et évalue en regard les applications solaires disponibles dont celles de la SOFRETES. Ce numéro des *Annales des Mines* est consacré à l'innovation et à l'évaluation technologique.
[1014] A., J.-F., « Le CEA crée une société financière d'innovation », *Le Monde*, 4 avril 1980.

2. Des opportunités

Les affaires de la SOFRETES existent car elles sont autant d'opportunités pour tous les acteurs engagés. Ces opportunités répondent cependant à des intérêts potentiellement asymétriques et divergents selon les acteurs.

2.1 Pour la SOFRETES

Pendant la phase de croissance, prévaut au sein de l'entreprise de Montargis une ébullition commerciale qui pousse la direction et les employés vers le toujours plus d'activité. L'enthousiasme pour le moteur solaire et ses attributs socio-politiques en est le ferment principal. L'équipe est animée par un louable dessein, celui d'œuvrer pour un monde meilleur, plus juste[1015]. Il faut garder à l'esprit que l'objet solaire est conçu pour la performance sociale, c'est-à-dire que ses éléments transposent ses objectifs sociaux dans ses mécanismes. La machine doit d'abord permettre aux communautés délaissées des marges de s'approprier la technologie (dans un moyen terme) afin d'atteindre une souveraineté énergétique et alimentaire, et de la conserver[1016]. C'est un projet de citoyenneté renouvelée fondé sur l'accès à une autonomie relative par rapport au centre décisionnel grâce à une participation aux choix énergétiques locaux qui favoriserait plus d'équité et une moindre dépendance aux instruments de contrôle d'un système politico-

[1015] Marbach insiste sur l'importance que revêt cet aspect dans la compréhension du projet SOFRETES. Au demeurant, il ne faut pas non plus diminuer la lucidité de Girardier et de son équipe quant aux impératifs gestionnaires et aux rapports de forces alors à l'œuvre entre l'alternative solaire et la norme des fossiles, par bien des points antagonistes au projet tiers-mondiste (dans le bon sens du terme).

[1016] Cette question est largement débattue dans les années 1970 au sein des institutions internationales, promoteurs et bailleurs de l'aide au développement et de ses opérations de démonstration solaire. Girardier et Vergnet de la SOFRETES sont d'ailleurs invités en 1976 à intervenir à l'OCDE. GIRARDIER Jean-Pierre, VERGNET Marc, « The solar pump and the problems of integrated rural developement », *in* OCDE, JEQUIER Nicolas, *Appropriate Technology. Problems and Promises*, 1976, pp. 253-259. Voir également les éléments de réflexion proposés en 1979 dans la revue Tiers-Monde notamment celle de Rodot, alors Directeur du PIRDES au CNRS et peu favorable à la SOFRETES : RODOT, Michel, « Énergie solaire et développement », *Tiers-Monde*, tome 20, n°78, 1979, Découvertes et innovations scientifiques au service du tiers-monde, Colloque Henri Laugier, pp. 244-246 ; LEITE LOPES, José, « Transfert de technologie et rôle de la recherche dans le Tiers Monde », *Tiers-Monde*, tome 20, n°78, 1979, Découvertes et innovations scientifiques au service du tiers-monde, Colloque Henri Laugier, pp. 317-321 ; pp. 295-303 ; AUGER, Pierre, « Les transferts des techniques », *Tiers-Monde*, tome 20, n°78, 1979, Découvertes et innovations scientifiques au service du tiers-monde, Colloque Henri Laugier, pp. 317-321.

énergétique réticulaire et fossile[1017]. Cet état d'esprit, pousse la direction à répondre favorablement à un maximum de demandes (elles-mêmes peut être motivées par l'usage d'un tel instrument de séduction politique). Ce qui peut être perçu comme une direction prise au mépris d'un certain réalisme gestionnaire. En effet, certaines commandes requièrent la conception de nouveaux prototypes qui n'existent pas encore, alors que dans le même temps, il faut produire et installer ce qui existe déjà et qui doit être amélioré. Cette analyse en termes de prise de risque inconsidérée peut néanmoins être nuancée par le fait qu'il s'agit principalement de commandes gouvernementales, et que l'entreprise est très vite filialisée par de grands groupes dans lesquels les intérêts de l'État prédominent. De plus, techniquement, comme nous l'avons déjà explicité, la machine est simple à fabriquer, à monter et à utiliser. La prise de risques est d'autant plus relative que les sommes en jeu sont faibles (quelques millions seulement) par rapport aux potentiels politiques dont la proposition est porteuse. Un aspect ne doit pas non-plus être écarté du schéma compréhensif initial : une entreprise est faite pour vendre. Et c'est bien ce que cherche aussi à faire Girardier. Son outil industriel personnel doit fonctionner vertueusement afin de lui permettre de mener à bien ses projets, autant que faire se peut, par eux-mêmes, c'est-à-dire qu'ils doivent se financer, opportunément, les uns les autres. N'oublions pas qu'il éponge une partie des déficits de la SOFRETES grâce aux bénéfices tirés de l'activité traditionnelle des Établissements Pierre Mengin dans l'assainissement en leur sous-traitant les étapes de fabrication et une partie des études. C'est sur ce modèle qu'existe la SOFRETES pendant ses premières années d'exercice du point de vue de la direction et des employés.

Le succès commercial des années 1973-1979 se mesure à l'aune de l'engouement des gouvernements clients pour les opérations solaires qui impliquent un moteur SOFRETES, et non pas en termes de retombées économiques pour l'entreprise, qui de toute manière n'est pas censée atteindre un équilibre budgétaire avant au moins 1982

[1017] Comme nous l'avons déjà mentionné (*cf. supra* chapitre 2 et MOUTHON, Alexandre, *op. cit*., 2020), les critiques que René Dumont formule à propos des impacts réels des installations solaires de la Coopération sur les sols et sur l'organisation agro-pastorale de leurs lieux d'implantation, nous semblent constituer un ensemble des plus pertinents, formulé par un acteur majeur à la fois de l'écologie politique de l'époque, mais également de la politique agraire postcoloniale établie en commun entre les intérêts de l'ancienne métropole et ceux de la classe dirigeante des États nés des indépendances. Son regard sceptique sur les bienfaits des pompes solaires, notamment car elles peuvent favoriser le surpâturage au niveau des points d'eau et qu'elles n'apportent pas la fumure nécessaire à l'entretien des sols irrigués, est bien entendu à connaître afin de ne pas tomber ici dans un discours partisan.

selon la projection très hypothétique du plan de développement quinquennal présenté en 1978[1018].

L'entreprise place des prototypes dans des opérations de politique étrangère, elle ne commercialise pas des objets industriels de série. Finalement, on dénombre moins de quatre-vingts installations dans le monde entier. Il faut donc relativiser cette approche dite commerciale qui nous semble absolument erronée et ne pas correspondre aux réalités.

2.2 Pour les gouvernements clients

L'aspect singulier des affaires solaires de la SOFRETES réside donc dans le fait que se sont des gouvernements qui passent commande, directement ou indirectement.

La volonté politique peut émaner d'un chef de gouvernement. Au Mexique, l'initiative revient à un membre de l'équipe dirigeante (F. V. Murray, *cf. supra* chapitre 2) et le Président Echeverria s'approprie l'idée. En Arabie Saoudite, c'est lors de la visite présidentielle de VGE à Ryad en janvier 1977 que Jean-Claude Colli, alors Délégué aux Énergies Nouvelles (DEN), montre une photographie de la centrale mexicaine de San Luiz de la Paz au ministre de l'Industrie et de l'Électricité d'Arabie Saoudite. Celui-ci met immédiatement 1 M$ à la disposition d'une opération similaire[1019]. Pour la centrale électro-solaire de Diré, c'est le ministère de la Coopération qui demande à la SOFRETES de concevoir une installation offerte par la France au gouvernement malien *via* les dispositifs de l'Aide au développement (FAC). Dans tous les cas de figure, l'affaire se traite à l'échelon gouvernemental. En Iran, le Shah en personne engage un programme d'équipement solaire du territoire sur le modèle du programme national mexicain à partir d'une première opération de démonstration à Shiraz en 1977[1020]. La famille régnante fait éditer un document de propagande officiel, orné des portraits du Shah, de son épouse et de leur fils, pour présenter ce futur programme de prestige dont la Révolution islamique

[1018] « Plan de développement de la SOFRETES à 5 ans (1978-1982) », 2 versions (l'une à la fin 1977 alors que RMD est toujours actionnaire, et l'autre en date du 9 juin 1978 après son départ), Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1019] En Arabie Saoudite, c'est lors de la visite officielle de VGE. Lettre de M. Teboul à la DIMME du 9 septembre 1981, Dossier SOFRETES 1976-1981, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1020] SOFRETES, « Solar Energy Program for Iran's Rural Areas », 1978, archives privées fonds BCD (CEA).

de 1979 empêchera la réalisation[1021]. Il faut ici noter le caractère très symbolique du choix du site de Shiraz qui marque l'entrée de la Persépolis antique. Il s'agit, comme au Mexique, d'associer l'opération à un récit national et à sa géographie (choix de marqueurs territoriaux). Au Sénégal, lors de l'exposition technique de la SOFRETES à Dakar en 1974, Girardier présente directement au Président Senghor les installations possibles. Aux Philippines, c'est Madame Marcos, la femme du Président, qui se charge des opérations solaires de prestige. Elle reçoit directement la SOFRETES et passe commande. Les exemples sont forts nombreux.

Certains États clients sont donc solvables comme les pays exportateurs de pétrole (Mexique, EAU, Iran, Arabie Saoudite) qui sont également clients des industries occidentales dans lesquelles les pétrodollars sont recyclés. D'autres sont engagés dans un développement industriel avec des marchés intérieurs en devenir comme le Mexique, le Brésil et la Chine. S'ils sont des États pauvres comme en Afrique, c'est l'aide publique au développement (nationale ou internationale) qui pourvoit à la dépense, ces derniers étant dépendants des économies occidentales pour l'écoulement de leurs ressources minérales, et leurs élites pour se maintenir au pouvoir. Par exemple, en 1978 au Niger, un « fonds spécial uranium » est créé spécifiquement par le ministre de l'Industrie, André Giraud, pour financer des réalisations solaires, notamment celles de l'ONERSOL, le laboratoire solaire de Niamey qui travaille en étroite collaboration avec la SOFRETES sur plusieurs projets[1022]. Pour le Niger, c'est un instrument financier qui lui permet de légitimer dans des opérations de prestige l'exploitation de son uranium par la France dont les actions de l'État, donc celles du Président Kountché, sont dépendantes, notamment pour la construction de toutes les infrastructures[1023]. C'est avec cet argent que « le superbe bâtiment de l'ONERSOL-Recherche » est construit à Niamey[1024].

[1021] Nous possédons un exemplaire original de ce document officiel issu des archives privées de Max Clémot. Archives privées fonds BCD (CEA).
[1022] Contrat AFME-CEA, Assistance technique à l'étranger, avril 1983, Bilan et perspective d'un développement des Énergies renouvelables au Niger, Annexe IV, septembre 1982, Archives nationales, répertoire 19940249, carton 245.
[1023] Niger, « Le Président Seyni Kountché : en attendant le pétrole, le Niger poursuit la diversification de ses ressources énergétiques (charbon, hydro-électricité, énergie solaire », Afrique-informations n°359 du 11 mars 1980, Archives nationales, ministère de la Coopération, Dossier Niger, répertoire 20000137, carton 50.
[1024] Contrat AFME-CEA, Assistance technique à l'étranger, avril 1983, Bilan et perspective d'un développement des Énergies renouvelables au Niger, Annexe IV, septembre 1982, Archives nationales, répertoire 19940249, carton 245.

L'argent solaire qui circule est donc entièrement public. Il bénéficie d'abord à l'État et ceux qui le servent. Une pompe solaire coûte finalement très peu par rapport à la place qu'elle peut occuper dans la relation d'interdépendance entre les intérêts français mis en présence par son intermédiaire et ceux des gouvernements en place à la tête des États du tiers-monde. Nous parlons donc bien ici d'opportunisme politique. Pour les dirigeants du tiers-monde, l'opération de prestige solaire qu'autorise le moteur SOFRETES sert donc leurs intérêts politiques immédiats auprès de leurs populations et de l'opinion publique mondiale.

Les communautés villageoises auxquelles sont destinées les pompes solaires sont parmi les plus pauvres et les plus périphériques de ces territoires, notamment en raison de leur éloignement du pouvoir central et de ses infrastructures (adduction d'eau, d'électricité et axes de communication). Aussi, ces marges délaissées et dominées apparaissent tout à coup mises en valeur grâce à un projet développementaliste offert par le chef de l'État qui légitime la continuité de son pouvoir et met à jour la relation. Cette stratégie à partir du local peut servir une politique de prestige auprès du reste de la population et plus loin encore. Le Président égyptien Sadate offre en 1979 vingt-deux maisons solaires à des habitants de son village natal. L'événement fait l'objet d'une forte couverture médiatique qui lui permet de mettre en avant sa figure de bienfaiteur et sa proximité avec sa base électorale, mais aussi de leader du monde arabe et son rôle diplomatique au Moyen-Orient : « ces vingt-deux logements, les premiers du genre en Égypte, ont été financés grâce aux droits d'auteur touchés après la publication de l'ouvrage autobiographique d'Anouar El-Sadate, *A la recherche d'une identité*, et grâce aux prix Nobel de la paix. M. Sadate quittera son village samedi pour Ismaïlia, où il doit recevoir dans la soirée l'ambassadeur itinérant des États-Unis au Proche-Orient. »[1025] A *Sadat City*, une des villes nouvelles que Sadate fait construire en grande périphérie du Caire en 1978, une station solaire est construite avec l'aide du CEA dans le cadre d'accords de coopération scientifique et technique signés en 1977 et 1980[1026]. En 1982,

[1025] Dépêche de l'AFP du 17 août 1979, Ministère des Affaires Étrangères, DGRCST Affaires scientifique, « Égypte : des maisons solaires offertes par le Président Sadate », note pour Henry Durand, Président du COMES, 21 août 1979, Archives nationales, COMES, dossier Égypte, répertoire 20010454, carton 33.
[1026] Compte-rendu de la Mission en Égypte CEA, PIRDES, COMES du 25-29 novembre 1979, 11 décembre 1979, Archives nationales, COMES, dossier Égypte, répertoire 20010454, carton 33 ; Accord général en matière de coopération dans le domaine des énergies renouvelables entre le gouvernement de la République française et le gouvernement de la République arabe d'Égypte, 12 mars 1980, Archives nationales, COMES, dossier Égypte, répertoire 20010454, carton 33. En Égypte la SOFRETES et le CEA installent

le nouveau chef de l'État, Moubarak, récupère le projet de son prédécesseur à son profit en le déplaçant à El Oweinat, une vallée artificielle qu'il fait ériger en plein désert, aux confins de la frontière Égypte-Lybie[1027].

L'opération solaire se doit donc d'être visible pour être valable, ce qui n'est pas une évidence puisqu'elle est non seulement très rare, de taille et de puissance très modeste, et qui plus est fort éloignée du centre. Donc en règle générale, chaque station fait l'objet d'une inauguration mise en spectacle par les pouvoirs publics, que ce soit au Mexique, au Mali, en Égypte, au Sénégal, au Niger ou encore au Cap-Vert par exemple, qui, petit pays récemment indépendant, dépêche sur place une garnison, symbole de la nouvelle souveraineté, pour pallier le manque de spectateurs[1028].

A Diré, au Mali, l'organisation très politique de l'inauguration est grandiose[1029].

Bien que la station solaire soit opérationnelle en juillet 1979, les autorités françaises et maliennes décident d'attendre le 23 novembre 1979 pour procéder à l'inauguration officielle[1030]. En effet, l'été correspond à la saison des pluies, c'est-à-dire à la période des crues du Niger. Inversement, l'hiver est marqué par la saison sèche. Or, l'agriculture traditionnelle[1031] pratiquée par les populations du Delta intérieur du Niger est une agriculture vivrière de décrue. À ce titre, elle est fragilisée par les épisodes de sécheresse prolongés et successifs qui menacent leur autosuffisance alimentaire et les acculent à la survie. Le début des années soixante-dix est marqué par un de ces épisodes

surtout deux stations solaires, l'une de dessalement de l'eau mer sur le bord de la mer Rouge (El Hamrawin), l'autre de pompage et de froid de conservation sur les rives du lac Nasser.

[1027] Contrat AFME-CEA, Assistance technique à l'étranger, fiche Égypte, avril 1983, Archives nationales, répertoire 19940249, carton 245.

[1028] Inauguration de la centrale de Diré le 23 novembre 1979 (MOUTHON, Alexandre*, op. cit*., 2020, p. 76) ; Le Président de la République du Sénégal, Abdou Diouf, se rend à la centrale de Diakhao le 27 février 1981 (DIEDHIOU, Salif, *op. cit*., 2016, p. 187.) ; Inauguration d'El Hamrawin le 17 janvier 1982 (Rapport du groupe de travail CEA-AFME sur la SOFRETES, 28 février 1983, archives privées fonds BCD (CEA) ; Le Président nigérien visite plusieurs fois la station de Karma (Contrat AFME-CEA, Programme 1983, Annexe IV, septembre 1982, Archives nationales, répertoire 19940249, carton 245) ; Entretiens avec Djelal Nerguti en août 2020 ; Entretiens avec Jean Avila et Marc Jacquet-Pieroulet en juin 2020 qui insistent sur le fait qu'au Mexique les Murray n'accordent aucun intérêt aux installations solaires *in situ* mais qu'ils les visitent uniquement pour les mettrent en scène en organisant une couverture médiatique.

[1029] Dossier photographique de l'inauguration de Diré, archives personnelles de Jean-Pierre Girardier et archives privées fonds BCD (CEA).

[1030] MOUTHON, Alexandre, *op. cit*., 2020.

[1031] Il convient de nuancer ici le recours à l'expression « agriculture traditionnelle » communément employée. En effet, les populations du Delta intérieur du Niger sont surtout des pasteurs nomades, privilégiant donc l'élevage et non l'agriculture. C'est pendant la période coloniale que la France organise le peuplement de cette région en déplaçant des paysanneries sahéliennes, comme le rappelle Vittorio Marabito. MARABITO, Vittorio, « L'Office du Niger au Mali, d'hier à aujourd'hui ». *Journal des africanistes*, tome 47, fascicule 1, 1977, pp. 53-82.

aux conséquences désastreuses pour les populations, impliquant disette et mort du bétail. C'est dans le contexte de la Grande sécheresse (1969-1973) qui se prolonge durant toute la décennie que le projet solaire de Diré est programmé et inauguré. Ainsi, il doit marquer les esprits. Inaugurée à la saison sèche, la station solaire de Diré devient un symbole de lutte contre la sécheresse, puisqu'elle convertit la mortelle chaleur solaire en eau d'irrigation là où elle manque si cruellement.

L'importance de l'opération politique se lit dans la présence des représentants de la puissance publique à l'événement. Célébrée en grandes pompes par le ministre français de la Coopération, Roger Galley, le ministre malien du Développement Industriel, Lamine Keita, et le Président du COMES, Henry Durand, Diré devient la plus grande centrale solaire au monde[1032], une opération de prestige technique comme la V^e^ République gaullienne les affectionne[1033]. Tous trois sont des hommes de science, de technique et d'énergie : Roger Galley, Ingénieur de l'École nationale supérieure du pétrole et des moteurs, et artisan du nucléaire français, Lamine Keita, ingénieur hydraulicien formé à Grenoble, et Henry Durand, normalien, partisan du photovoltaïque français, placé par le Président de la République, Valéry Giscard D'Estaing, à la tête de l'administration de mission solaires, juste avant le premier tour des élections législatives de mars 1978.

L'étude de cas du programme présidentiel mexicain *Tonatiuh* est peut-être l'un des plus parlants pour illustrer l'existence par la politique du solaire en général et des machines SOFRETES en particulier. Certain de ses aspects méritent d'être détaillés pour bien comprendre ses motivations, sa mise en œuvre et ses effets.

Tout d'abord, rappelons que c'est à l'occasion d'une commande passée directement à la SOFRETES que le gouvernement mexicain demande à son homologue français la mise en place d'une coopération franco-mexicaine (FRAMEX), dans le domaine de l'énergie solaire. Si le gouvernement mexicain prend cette décision c'est qu'il poursuit des objectifs politiques. Nous devons les identifier. Dans le même temps, il faut saisir en quoi cette action publique d'un nouveau genre s'insère dans une relation bilatérale. Les relations franco-mexicaine sont anciennes et bonnes au début des années

[1032] *Le Monde* du 26 novembre 1979 ; *Afrique agriculture*, n°49, 1^er^ septembre 1979.
[1033] HECHT, Gabrielle, *op. cit*., 2004, p.186.

1970, tout comme l'est, du point de vue européen, la situation macroéconomique du Mexique qui devient exportateur de brut après la découverte de nouveaux gisements de pétrole[1034]. Depuis 1962, les autorités françaises souhaitent développer des intérêts au Mexique en renforçant les relations bilatérales. Les premiers accords de coopération scientifique et technique sont signés en 1965[1035]. C'est le cadre que la nouvelle coopération solaire intègre et prolonge à de nouveaux domaines[1036]. Pendant le sextennat du Président Echeverria (1970-1976) les relations commerciales, scientifiques et techniques entre la France et le Mexique sont modestes mais elles se développent[1037]. Renault, actionnaire de la SOFRETES en 1975, tente de s'y installer par exemple (*cf. infra* chapitre 5). Le CEA établit des liens avec l'Institut national de recherches nucléaires créé en 1972 puisque l'État mexicain s'engage à cette date dans la construction d'une centrale nucléaire à Laguna Verde (technologie US), et que la question du combustible qui se pose (gisements mexicains exploitables ? Contrats pour la fourniture de combustible ?) intéresse le CEA[1038]. C'est dans ce cadre bilatéral que le Président Echeverria lance son programme politique d'équipement de pompage solaire de démonstration à l'échelle nationale qu'il espère rapidement mis en œuvre : le programme *Tonatiuh* (le dieu soleil pour les Aztèques). Il est planifié à la fin de l'année 1973 sur les deux dernières années du mandat présidentiel, de 1974 à 1976. Au départ, il prévoit l'installation de la première commande de dix pompes sanitaires et pastorales sur les six premiers mois de l'année 1974[1039]. Dans les faits, seulement deux pompes MGS 2-1000 de 1 kW sont mises en route cette année-là et les autres le sont courant 1975. La deuxième commande concerne la centrale électro-solaire de pompage de San Luiz de la Paz qui est achetée, conçue, fabriquée, montée et démarrée en 1975 (*cf. infra* chapitre 4). La troisième et dernière commande ajoute une série de dix nouvelles pompes MGS 2-1000 pour 1976. La toute dernière installation du programme fait l'objet de nombreuses tractations jusqu'en en 1979 (*cf. infra* chapitre 4). Pour le moment, positionnons le regard

[1034] SIRY RAYON, François, « L'évolution des échanges scientifiques entre le Mexique et la France. Des réseaux entre intellectuels de l'Entre-deux-guerres et de l'Après-guerre à l'institutionnalisation d'une coopération franco-mexicaine (1930-1994) », thèse de doctorat en histoire, sous la direction de DOSIL MANCILLA, Francisco Javier, Universidad Michoacana De San Nicolas De Hidalgo, 2019, pp. 25-168 et pp. 169-175.
[1035] *Ibid*., pp. 137-168.
[1036] *Ibid*., pp. 217-219.
[1037] *Ibid*., pp. 173-177.
[1038] *Ibid*., p. 223.
[1039] SOFRETES, « Dossier comptable de la commande mexicaine », archives privées fonds usine Mengin.

uniquement du côté mexicain. L'opération *Tonatiuh* pilote la naissance d'une politique publique solaire mexicaine. Mais à quels problèmes publics répond-elle ?

Le programme solaire du Président Echeverria est un instrument à visée intersectorielle qui lui permet d'apporter une réponse politique à quatre enjeux car il les recouvre : le problème agraire, la question de l'énergie, celle de l'environnement et bien sûr celui de sa propre légitimité.

Premièrement, la politique publique agraire mexicaine revêt une dimension très particulière. Elle fonde le récit national. C'est sur elle que repose la légitimité historique du régime qui domine l'État, et donc de ceux qui le servent[1040]. Le contrat social qui établit la République mexicaine repose sur une organisation corporatiste des différents secteurs sociaux afin de les intégrer au Parti Révolutionnaire Institutionnel d'État (PRI) qui, en échange de leur soutien, assure une politique redistributive, en premier lieu celle de la terre et de ses moyens d'exploitation, à la paysannerie pauvre qui est représentée au sein du parti unique par la Confédération Nationale Paysanne (CNC)[1041]. Depuis la Révolution nationale de 1910, les terres des anciennes grandes propriétés privées sont censées être progressivement réparties auprès de communautés paysannes pauvres qui en obtiennent une propriété collective (l'*ejidos*). Cependant, dans les faits, la réforme agraire est appliquée de façon spasmodique, avec un manque de volonté politique. Par conséquent, dans les années 1970, les *ejidos* représentent environ la moitié des terres arables mexicaines. Les inégalités se creusent car les *ejidos* sont composés de parcelles trop petites, principalement situées dans les régions arides, et ils ne disposent pas de moyens de mise en valeur suffisants pour assurer une agriculture de subsistance. Les inégalités sont donc particulièrement socio-spatiales[1042]. L'accès à l'eau dans les régions

[1040] Pour une analyse critique du modèle mexicain lire DUMONT René, MOTTIN Marie-France, *Le mal développement en Amérique latine*, Paris, Seuil, 1981, pp. 15-101.

[1041] BIZBERG, Ilan, « La transformation politique du Mexique : fin de l'ancien régime et apparition du nouveau ? », *Critique internationale*, n°19, 2003, pp. 117-135 ; CHEVALIER, François, « La démocratie mexicaine » et son parti dominant : genèse et développements », *Revue française de science politique*, n°2, 1988, pp. 232-248 ; QUINTANA S., Victor M., « Paysans et citoyens au Mexique. Stratégie paysannes de résistances à la mondialisation à l'Ouest de l'Etat du Chihuahua », thèse de doctorat en sociologie, sous la directions de GROS, Christian, Université Sorbonne nouvelle-Paris 3, 2009 ; DEVINEAU, Julie, « Les politiques d'équipement au Mexique : Privatisation, décentralisation et reconfiguration du pouvoir politique en milieu rural », *Revue internationale de politique comparée*, vol. 17, 2010, pp. 57-72.

[1042] REVEL-MOUROZ, Jean, « Au Mexique : développement agricole et crise agraire au terme de la présidence Echeverria », *Cahiers du monde hispanique et luso-brésilien*, n°28, 1977, pp. 245-258 ; BATAILLON, Claude, « La tradition indienne et le choc du progrès », *Le Monde diplomatique*, octobre 1974, p. 26 ; EGG J., LERIN François, TUBIANA Laurence, « Choc pétrolier et crise agricole : notes sur la situation de l'agriculture dans deux pays exportateurs de pétrole sans excédents de capitaux (Mexique,

arides est de ce fait crucial. Pour le chef du PRI et de l'État, répondre à ce problème est donc d'abord une question de légitimité politique. S'ajoute à cela la pression démographique sur les *ejidos* qui accélère l'exode rural et la paupérisation de la paysannerie qui voit se multiplier les sans-terres. A la toute fin des années 1960, la croissance démographique devient supérieure à celle de la production agricole. Les pôles de développement industriel qui se concentrent sur les quelques grandes agglomérations et le long de la frontière américano-mexicaine absorbent les crédits publics. Les régions du Nord concentrent les grandes exploitations agricoles modernes, irriguées et productives. La rente pétrolière est utilisée pour contracter des emprunts et pour importer des denrées. Ce schéma de développement, que René Dumont qualifie de « mal-développement »[1043], désajuste davantage les rapports entre la paysannerie et l'autorité : « la campagne électorale qui a porté M. Luis Echeverria à la Présidence, en 1970, s'est déroulée avec en arrière-plan la présence de quelques trois millions de travailleurs agricoles sans terre, de 2,5 millions de minifundistes, et avec comme perspective une crise alimentaire menaçant, selon l'opinion de René Dumont, de tourner à la famine. »[1044] Echeverria entreprend alors différentes actions comme un programme de mise en culture de terres nouvelles par la colonisation dans les régions tropicales du sud, et par l'irrigation dans les régions arides. Pour ces dernières, il crée un organisme responsable de plans d'actions régionaux, la Commission Nationale des Zones Arides (CONAZA)[1045]. C'est elle qui est désignée par le Président comme l'administration en charge de mettre en œuvre sur le terrain le programme des pompes solaires *Tonatiuh*. On l'aura compris, le pouvoir en place se doit absolument de défendre les *ejidos* dans les discours et par des opérations séduction, alors que dans les faits ils périclitent :

> Mais l'ejido qui justifie la politique agraire du gouvernement est devenu un dogme, il ne faut pas y toucher sous peine d'être contre-révolutionnaire. Cet ejido mythique est devenu un véritable cancer. Nous n'en critiquons pas le principe, mais le fonctionnement saboté. Derrière ce paravent, les forces au pouvoir, les puissants latifundiaires, les banquiers et les industriels manipulent les budgets, gèrent à leur gré et dans leurs intérêts toute l'économie de la nation. Mais l'ejido fournit un discours commode, dans un pays tellement enlisé dans le mal-développement et embrouillé dans ses justifications révolutionnaires qu'il est

Nigéria) », *Économie rurale*, n°147-148, 1982, pp. 27-31 ; HIERNAUX NICOLAS, Daniel, « L'État et le territoire : bilan de trois sexennats de politiques urbaines et régionales au Mexique (1970-1985) », *International Review of Community Development*, 1987, pp. 103–113.

[1043] DUMONT René, MOTTIN Marie-France, *op. cit*., 1981, pp. 15-101.

[1044] REVEL-MOUROZ, Jean, *op. cit*., 1977, p. 246.

[1045] *Ibid*.

devenu peu à peu totalement schizophrène. Même quand elles sont sincères, les élites ne s'y retrouvent même plus, entre le discours et la réalité.[1046]

La proposition sociotechnique SOFRETES semble parfaitement en adéquation avec le mythe fondateur de l'*ejido* et avec les besoins immédiats de légitimité du PRI : « par *ejido* collectif nous entendons : réintégrer l'*ejido* dans sa véritable conception sociale et économique, qui en fait une unité économique de production, formée en tant qu'institution, qui se dirige selon des principes de coopération, d'autogestion et de démocratie interne, et où l'intérêt collectif l'emporte sur l'intérêt individuel. »[1047] C'est là une des raisons de la politique publique solaire d'Echeverria. Le parti au pouvoir peut par exemple se servir des capacités de séduction politique de la pompe solaire pour des opérations d'ajustement social auprès des populations pauvres dominées par de grands propriétaires terriens qui disposent eux d'infrastructures de pompages puissantes et carbonées là où les communautés villageoises voisines et délaissées par le pouvoir central ne disposent même pas d'un accès aisé à l'eau sanitaire. Dans un pays aux inégalités sociales très marquées comme au Mexique, l'opération solaire et sa communication bien maîtrisée peut servir à mettre à jour la relation avec une marge socio-spatiale revendicatrice, « la situation du milieu paysan est pourtant explosive. Les autorités politiques et syndicales contrôlent plus ou moins bien les mouvements violents et illégaux »[1048]. En 1976, par exemple, des révoltes éclatent et des propriétés privées irriguées sont envahies[1049]. Un rapport de mission au Mexique du COMES reconnaît explicitement aux projets solaires ce rôle de médiateur auprès des communautés excentrées et non-autosuffisantes en énergie et en alimentation. Il conclut que la politique solaire est utile « socialement, parce que des concessions importantes devront être faites en milieu rural, particulièrement délaissé jusqu'à présent et par conséquent explosif »[1050].

N'oublions pas qu'il s'agit seulement d'une vingtaine de pompes par rapport aux millions de paysans pauvres. L'aspect est démonstratif, politiquement, pas

[1046] DUMONT René, MOTTIN M. F., *op. cit*., 1981, p. 63.
[1047] REVEL-MOUROZ, Jean, *op. cit*., 1977, p. 256 ; VANEK, J., « L'institutionnalisation de la participation populaire au développement : problèmes et solution en tenant compte des contextes socio-économiques, politiques et technologiques », « IV Vers l'indépendance technologique et la participation dans le monde en développement par l'énergie solaire coopérative », UNESCO, Dakar, Sénégal, 10-14 décembre 1979, 26 novembre 1979, pp. 13-17.
[1048] *Ibid*., p. 258.
[1049] *Ibid*.
[1050] COMES, Rapport de mission au Mexique 9/11/81- 13/11/81, 4/12/81, Archives nationales, COMES, répertoire 20020454, carton 39.

techniquement. Il n'est pas question de développer et de pérenniser les usages de l'objet technique sur place au risque de désajuster pour de bon l'ordre social. Comment concevoir d'offrir à toute la paysannerie mexicaine un objet qui pomperait l'eau grâce à la chaleur du soleil alors que les riches propriétaires devraient payer leur carburant ? Une fois installée, la pompe est livrée à l'*ejido* sans aucun programme de suivi. Les bénéfices sont recherchés à court terme. Il est remarquable de noter que la pompe MGS 2-1000 est conçue pour satisfaire des besoins sanitaires et pastoraux et non pour irriguer des périmètres. Or si l'objet est adéquat sur les fronts pionniers tropicaux, dans les zones arides, ce sont des infrastructures d'irrigation dont les paysans ont besoin. Le technicien-monteur de la SOFRETES ayant installé les pompes confirme que lorsque les paysans découvrent que le débit des MGS 2-1000 ne permet pas l'irrigation ils sont très déçus par ce cadeau du gouvernement[1051]. La seule station capable de fournir l'eau nécessaire à l'agriculture est celle installée en montagne, à San Luiz de La Paz. Cette centrale produit de l'électricité et de la force motrice de pompage. L'eau est stockée dans des bassins. Jean Avilla, qui reste deux ans sur place pour la faire fonctionner, explique que San Luiz de La Paz est une ville et qu'elle dispose donc déjà de son réseau d'électricité et d'eau potable. Il n'y a pas à cet endroit de communautés paysannes intéressées par son usage. Seuls quelques maraîchers aménagent alors de petits périmètres irrigués. Ce projet de centrale ne répond à aucun besoin local et son usage n'est pas envisagé.

D'où l'intérêt de savamment choisir la localisation des pompes afin qu'elles remplissent leur fonction politique de prestige et secondairement d'élévation d'un peu d'eau, mais cela sans induire un vrai virage dans les mécanismes d'assujettissement. Elles doivent se répartir dans les *ejidos* et abriter de préférence une école ou un dispensaire, symboles de l'État bienfaiteur comme le retient le quotidien l'*El Paso* au Texas en qualifiant la nouvelle école publique de *l'ejido* Bahia à Caborca au Sonora de « *solar school* », dans un État frontalier où les paysans luttent contre le populisme agraire de l'État[1052]. Leur cartographie doit donc rendre compte de la répartition des actions de la politique agraire nationale entre les plans d'irrigations des régions arides (principalement au Diésel) et les plans de colonisation de nouvelles terres en régions tropicales, mais également peut-être des lieux symboliques du récit national et de la construction de l'État-

[1051] Entretien avec Jean Avilla du 22 avril 2021.
[1052] *El Paso Times*, Texas, 3 avril 1976, p. 39 ; ANDERSON, Steven E., Agrarian Populisme and the Mexican State : The Struggle for Land in Sonora, University of California Press, 1981.

nation. Il s'agit de communiquer, pas vraiment de pomper l'eau. Nous avons analysé la spatialisation des installations SOFRETES au prisme de ces critères. Les résultats confirment cette grille interprétative (*cf. supra* le tableau des installations p. 346). Le gouvernement choisi le mot Aztèque *Tonatiuh* pour désigner le programme. Or, le Mexique n'est pas du tout un État autochtone. Les populations d'origine indienne sont marginalisées comme dans la plupart des États d'Amérique latine, mais elles ont participé à la Révolution à travers la figure de Zapata. La première installation est prévue à San Luiz Potosi (*cf. supra* chapitre 2) qui est le lieu symbolique de naissance de la Révolution nationale puisque c'est là que le dissident Madero est emprisonné par le dictateur Porfirio Diaz en 1910. Il s'échappe pour les États-Unis où il rédige le Plan de San Luis Potosi qui est considéré comme l'appel à la rébellion qui marque le début de la Révolution prévu pour le 20 novembre 1910 (le Plan aborde la question de la répartition des terres aux paysans)[1053]. Comme pour filer la symbolique, la seconde pompe est installée à Ceballos au Durango, dans l'*ejido 20 Noviembre*. Ces deux exemples sont symptomatiques, nous n'allons pas développer chaque cas, le message est suffisamment clair. Une autre pompe est destinée à être mobile pour permettre des démonstrations itinérantes, une manière d'intégrer des territoires en les parcourant et en diffusant le message solaire. Dans la péninsule du Yucatan, au sud tropical, des opérations de colonisation de nouvelles terres sont menées sur les anciennes terres Mayas dans le Quintana Roo qui devient le 30ème État mexicain en 1974. Une pompe est installée à David Gustavo Gutiérrez, une colonie perdue dans la forêt qui porte le nom du premier gouverneur, David Gustavo Gutiérrez Ruiz, qui devient en 1975 le Secrétaire général de la Confédération Nationale des Organisations Populaires (CNOP), c'est-à-dire un organe corporatiste important intégré au PRI[1054]. Il s'avère qu'en plus David Gustavo Gutiérrez Ruiz est un économiste spécialisé en politique agricole, formé en France à l'Institut de développement économique de Paris, et qu'il a travaillé au Crédit Agricole. Hasard ou non, quoi qu'il en soit, un profil qui ne peut venir que renforcer FRAMEX et *Tonatiuh*.

[1053] United States Congress, Senate Subcommittee on Foreign Relations, *Revolutions in Mexico*, 62nd Congress, 2nd Session, Washington, D.C., Government Printing Office, 1913, pp. 730-736.
[1054] CAMP, Roderic Ai, *op. cit*., 2011, p. 1565.

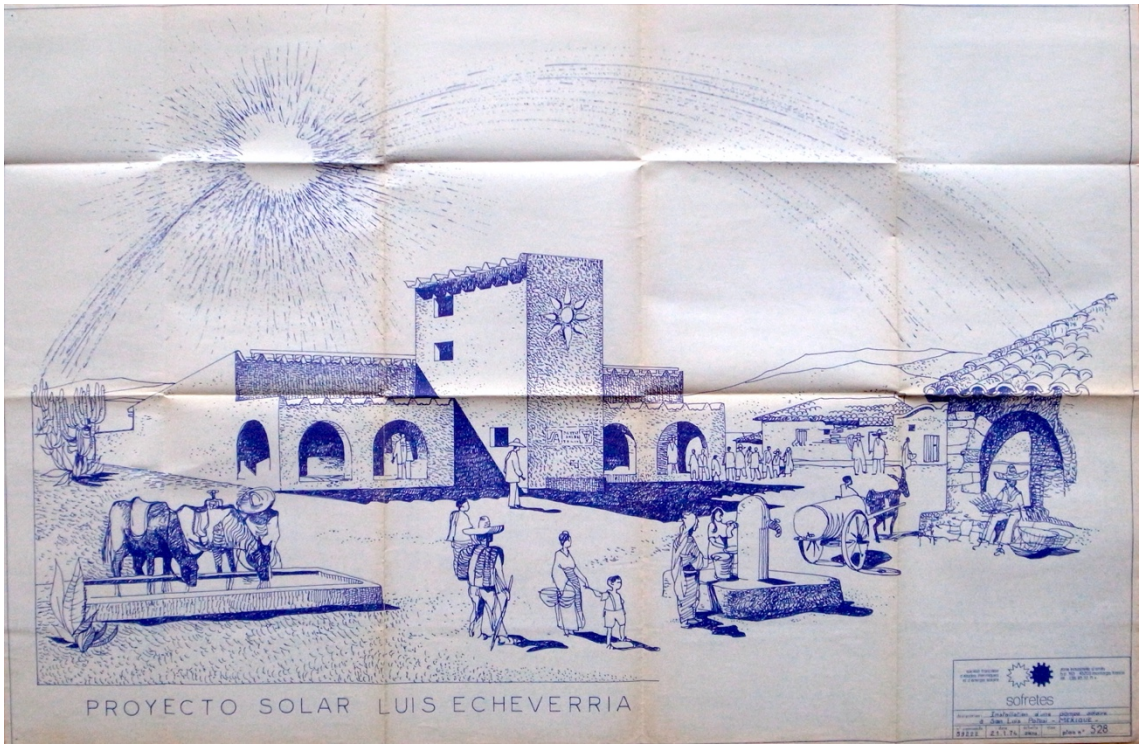


Figure 33 : « Installation d'une pompe solaire à San Luiz Potosi ». Plan de Georges Alexandroff pour la SOFRETES, n°528, 21 janvier 1974, archives privées de Georges Alexandroff.

Le choix des sites et le mésusage des pompes, qui traduisent le caractère uniquement politique de l'opération, apparaissent clairement dans des bilans de terrain du programme *Tonatiuh* dressés par le COMES en 1979 : « site choisi par le président mexicain pour des motifs essentiellement politiques, utilisations précaires, signification socio-économique parfois douteuse, absence de maintenance de la part des Mexicains, infrastructures défaillantes. »[1055] Et : « en ce qui concerne celle de San Luiz de La Paz, un engagement des Mexicains sur l'utilisation effective des installations en parfait état de marche, mais inutilisées, serait vivement souhaité. »[1056]

Voilà comment nous pouvons expliquer la manière avec laquelle l'opération solaire et l'objet technique servent la politique agraire présidentielle. Il s'avère qu'ils sont également des instruments de séduction utiles au volet environnemental de la politique de l'énergie. Une opportunité supplémentaire.

[1055] SAI du COMES, Note pour le comité financier du COMES du 28 juin 1979, Archives nationales, répertoire 20050139, carton 42.
[1056] SAI du COMES, Note pour Monsieur De Wissocq (DG DGEMP), Mexique : énergies renouvelables, 2 juin 1979, « Télégramme à transmettre au Mexique, Projet Tonatiuh », 29 mai 1979, Archives nationales, répertoire 20050139, carton 42.

Le 14 décembre 1973, l'ambassade des États-Unis à Mexico télégraphie au Département d'État à Washington : « *Government of Mexico Plans to meet Energy Crissis* »[1057]. Le texte résume les trois orientations officielles privilégiées par les autorités mexicaines en réponse au choc pétrolier de l'automne. Premièrement, une augmentation des ressources allouées aux industriels du secteur de l'énergie avec pour objectif l'autosuffisance des approvisionnements, notamment à la pétrolière nationale PEMEX et à la *State Oil Agency*, afin qu'ils trouvent tout simplement plus de pétrole. Deuxièmement, des mesures d'économie des consommations. Enfin, un effort mené pour développer des conversions énergétiques alternatives à celle du pétrole : « *and (3) to redouble mexico's search for alternative energy sources within the country, including expansion of nuclear power plants, expansion of geothermal facilitites, increase coal production, and investigating possibilitites such as solar energy.* »[1058] Comme dans les autres sociétés industrielles à l'époque du choc pétrolier, le solaire est envisagé comme une possibilité à long terme qui pourrait servir à économiser des fossiles, c'est-à-dire, pour le moment, à un champ d'expérimentations de possibles techniciens. L'électricité d'origine nucléaire est en revanche considérée comme une alternative à la dépendance au pétrole plus rapidement disponible. Dans les deux cas, le Mexique ne possède pas la technologie. Cependant, le pays dispose d'une main d'œuvre qualifiée (formée notamment grâce à des programmes de coopération scientifique et technique) et de l'argent du pétrole.

Très concrètement, la politique de l'énergie d'Echeverria consiste à investir massivement dans l'exploration et l'exploitation pétrolière afin d'augmenter ses exportations dont les caisses de l'État sont dépendantes[1059]. En 1972, des gisements sont

---

[1057] Télégramme du 14 décembre 1973, http://wikileaks.org/plusd/cables/1973MEXICO09392_b.html
Le solaire est présent dans les *diplomatic cables* du gouvernement des États-Unis d'Amérique révélés par *Wikileaks*. Il s'agit principalement de la correspondance diplomatique entre le Département d'État à Washington et ses ambassades à travers le monde (et entre celles-ci). Nous avons identifié et traité les 1707 occurrences « *solar power* » dans les *Kissinger cables* (1973-1976) et les *Carter cables* (1977-1979). https://wikileaks.org/plusd/?qproject[]=ps&qproject[]=cg&qproject[]=cc&qproject[]=fp&qproject[]=ee&q=&qfconcept=SOLAR+POWER#result

[1058] « et (3) redoubler la recherche par le Mexique de sources d'énergie alternatives dans le pays, y compris l'expansion des centrales nucléaires, l'expansion des installations géothermiques, l'augmentation de la production de charbon et l'étude de possibilités telles que l'énergie solaire ». *Ibid*.

[1059] Câble diplomatique de l'ambassade des États-Unis d'Amérique à Mexico au Département d'État de Washington du 10 janvier 1974, « PRESIDENT ECHEVERRIA APPROVES ENERGY COMMISSION POLICY PROPOSALS ; 5.7 BILLION DOLLAR, THREE-YEAR ENERGY DEVELOPMENT PLAN ANNOUNCED », http://wikileaks.org/plusd/cables/1974MEXICO00199_b.html.

découverts au sud du pays mais le gouvernement attend 1974 pour l'annoncer, profitant de la fenêtre d'opportunité du choc pétrolier[1060]. En 1976, un gisement super-géant est découvert au Mexique. Le Président Portillo (1976-1981), qui arrête la politique populiste de redistribution, renforce davantage la politique pétrolière et la dépendance de l'État qui gage cette manne pour contracter des emprunts[1061]. Le Mexique est exportateur de pétrole mais importateur de denrées alimentaires, ce qui fait écrire à René Dumont que Portillo mène une politique alimentaire avec l'argent du pétrole, non une politique agraire et que le boom pétrolier engendre un désastre agricole[1062]. Cette politique pétrolière précipite le pays dans la crise de la dette au début des années 1980. Dans le domaine nucléaire, le lancement d'un programme civil est en discussion depuis la fin des années 1950[1063]. Il est acté en décembre 1971 avec la planification de la centrale de Lagune Verde selon la technologie BWR (réacteur à eau bouillante) de General Electric[1064]. Des recherches d'uranium sont menées, et les fabricants étrangers du combustible nucléaire comme la France cherchent à obtenir des contrats d'approvisionnement pour la future centrale (la question des contrats de retraitement se pose également)[1065]. Les réserves de minerais exploitables identifiées sont annoncées comme les plus importantes d'Amérique latine alors qu'est étudiée la possibilité de construire une usine d'enrichissement[1066]. En 1978

[1060] CORTEN, André, « Le développement pétrolier au Mexique : une stratégie d'organisation du rapport de la population à l'espace », *Canadian Journal of Political Science,* septembre 1988, pp. 495-511 ;
[1061] *Ibid*. ; DARTOIS, Laurent, « Les paradoxes de l'abondance », *Le Monde*, 6 mars 1985 ; STEVIS Dimitris, MUMME Stephen, « Nuclear Power, Technological Autonomy, and the State in Mexico », *Latin American Research Review*, Vol. 26, No. 3, 1991, pp. 55-82 ; STEVIS Dimitris, MUMME Stephen, « Energy diversification and nuclear technology : The Mexican case », *Ekistics*, Vol. 57, No. 344/345, 1990, pp. 310-318.
[1062] DUMONT René, MOTTIN M. F., *op cit*., 1981, pp. 52-60.
[1063] STEVIS Dimitris, MUMME Stephen, *op. cit*., 1990, 1991.
[1064] *Ibid*. La France choisit la technologie concurrente à eau pressurisée (PWR) de Westinghouse.
[1065] *Ibid*. ; Câbles diplomatiques de l'ambassade des États-Unis d'Amérique à Mexico au Département d'État de Washington du 21 novembre 1973 « NUCLEAR FUEL SUPPLY FOR MEXICO POWER REACTOR » (http://wikileaks.org/plusd/cables/1973MEXICO08716_b.html) ; Câble diplomatique de l'ambassade des États-Unis d'Amérique à Mexico au Département d'État de Washington du 12 décembre 1978, « FRENCH COOPERATION WITH MEXICO IN ENRICHMENT, POWER GENERATION EQUIPMENT », http://wikileaks.org/plusd/cables/1978MEXICO20482_d.html.
[1066] STEVIS Dimitris, MUMME Stephen, *op. cit*., 1990, 1991 ; Solar Energy Research Insitute (SERI) for U.S. Department of Energy, HAWKINS Donna, *Energy in Mexico. A profile of solar energy activity in its national context*, 1980, p. 11 ; Câble diplomatique de l'ambassade des États-Unis d'Amérique à Mexico au Département d'État de Washington du 12 novembre 1975, « MEXICAN NUCLEAR POWER PLANS », http://wikileaks.org/plusd/cables/1975MEXICO09983_b.html.

est créée URAMEX, l'entreprise nationale en charge de mettre en place une filière de l'uranium[1067].

Le solaire est une anecdote. Il intègre le volet communication de la politique de l'énergie pour donner la réplique aux préoccupations environnementalistes en faisant valoir son image d'énergie renouvelable non-polluante. C'est-à-dire une place conforme à celle qu'il occupe en France ou aux États-Unis. Le Mexique, comme les États-Unis, doit faire face à un problème de santé publique lié à la pollution atmosphérique des centres urbains due à la combustion des fossiles dans l'industrie et à la circulation automobile. En ce début des années 1970, la pollution de l'air qui est un thème récurrent des revendications écologistes n'épargne pas le Mexique puisque la capitale Mexico est régulièrement montrée du doigt, notamment dans la presse internationale, comme une des villes les plus polluées au monde[1068]. S'ajoute à cela que le développement urbain et industriel de la région frontalière entre les États-Unis et le Mexique concentre avec excès ce problème. Le Mexique ne doit pas uniquement rendre des comptes à sa propre population[1069]. N'oublions pas qu'une des premières lois de protection environnementale aux États-Unis est le *Clean Air Act* de 1970. C'est de ce problème public environnemental lié aux usages des fossiles que naît l'idée au sein du gouvernement mexicain de concevoir un programme solaire qui ferait d'une pierre quatre coups plus un. En plus de séduire les paysans, les urbains et les écologistes de tous horizons, pour légitimer le PRI et faire rayonner le Mexique, *Tonatiuh* sert, par sa mise en œuvre, la carrière individuelle du technocrate qui en est à l'initiative, le porteur du projet F. V. Murray et sa famille. Si le Président Echeverria s'approprie le projet pour en faire une politique publique, sa mise en œuvre revient aux Murray qui cherchent à en retirer des dividendes.

F. V. Murray construit sa carrière au gouvernement sur la question environnementale mais dans son volet sanitaire puisqu'il est Sous-secrétaire d'État à l'amélioration de l'environnement de 1972 à 1976, alors que celui-ci dépend du ministère

---

[1067] STEVIS Dimitris, MUMME Stephen, *op. cit*., 1990, 1991 ; URAMEX, *Presencia de uramex en el desarrollo de méxico,* Uramex, 1980 ; Câble diplomatique de l'ambassade des États-Unis d'Amérique à Mexico au Département d'État de Washington du 20 juin 1979, « MEXICO'S URANIUM PROGRAM », http://wikileaks.org/plusd/cables/1979MEXICO10324_e.html.

[1068] SEVERO, Richard, « Mexico Builds Her Industry but the Cloud on the Horizon Is Smog », *The New York Times*, October 9, 1972, p. 6 ; MURRAY, F. V., *La contaminacion en México*, Fondo de Cultura Economica, 1975.

[1069] Câble diplomatique de l'ambassade des États-Unis d'Amérique à Mexico au Département d'État de Washington du 24 août 1973, « SEMINAR ON ENVIRONMENTAL PROBLEMS ALONG BORDER, EL PASO, SEPTEMBER 26-28, 1973 », http://wikileaks.org/plusd/cables/1973MEXICO06289_b.html.

de la Santé (*cf. supra* chapitre 2). La pollution de l'air, néfaste à la santé publique, est son champ de bataille[1070]. C'est donc ce que nous nommerions aujourd'hui le potentiel décarboné du solaire qui l'intéresse d'abord. L'idée d'un verdissement de la politique de l'énergie, qui va trouver son prolongement, comme nous l'avons explicité plus haut, dans la politique agraire, pour finalement composer une action publique très cohérente. F. V. Murray va capitaliser sur cette opération pour pousser ses intérêts à l'échelle nationale et internationale.

A l'échelle nationale, le neveu de F. V. Murray, l'ingénieur Antonio Murray, est conseiller technique à la Commission Nationale pour les Zones Arides (*cf. supra* chapitre 2), l'administration de mission créée en 1970 par Echeverria que nous avons mentionnée plus haut. C'est pour cette raison que la CONAZA se retrouve en charge de mettre en œuvre *Tonatiuh* sur le terrain de la politique agraire. C'est Antonio Murray qui visite les chantiers et organise leur couverture médiatique comme en témoignent les employés de la SOFRETES présents au Mexique[1071]. C'est lui l'interlocuteur direct de Girardier qui en réfère directement à son oncle au gouvernement. Un troisième membre de la famille, Hector Murray Santos, qui est l'assistant de F. V. Murray, est le responsable financier du programme[1072]. F. V. Murray participe au choix de la localisation de la première pompe solaire en 1974. Si au départ, San Luiz Potosi est pressenti pour les raisons déjà invoquées, il change d'avis au profit d'une localisation qui sert d'abord ses intérêts personnels (San Luiz Potosi sera la troisième). En effet, Murray brigue sans succès l'investiture du PRI pour les élections au poste de Gouverneur de l'État frontalier du Sonora en 1973, puis en 1978[1073]. Or la pompe pilote est installée à Caborca, justement

[1070] SEVERO, Richard, *op.* cit., 1972 ; MURRAY, F. V., *op. cit.*, 1975 ; Câbles diplomatiques de l'ambassade des États-Unis d'Amérique à Mexico au Département d'État de Washington du 24 août 1973, *op. cit.* ; Câbles diplomatiques du Département d'État de Washington à l'ambassade des États-Unis d'Amérique à Mexico du 27 septembre 1973, INFORMAL MEETING 9/26/73 WITH C.P. FRANCISCO VIZCAINO MURRAY, UNDER SECRETARY FOR ENVIRONMENTAL IMPROVEMENT, MEXICAN HEALTH MINISTRY », http://wikileaks.org/plusd/cables/1973STATE192968_b.html.

[1071] Entretiens avec Jean Avilla, Jean-Pierre Girardier et Madame Girardier, Marc Jacquet-Pierroulet, *op. cit.* ; archives photographiques de Jean-Pierre Girardier et archives privées du fonds BCD (CEA). Les employés de la SOFRETES (ci-dessus) qui rencontrèrent Antonio Murray sur le terrain témoignent que l'homme se désintéressait complétement des pompes solaires et qu'il ne cherchait que la visibilité médiatique. Antonio Murray se rend également en France pendant cette période. Lors de ses voyages, il visite les époux Girardier à leur domicile. Il leur propose d'ailleurs d'intégrer un de leur fils à la vie politique mexicaine. De ces rencontres, Madame Girardier a conservé d'assez mauvais souvenirs. Elle mentionne un homme portant fréquemment une arme et leur demandant d'entreposer parfois une valise remplie d'argent.

[1072] SOFRETES, « Dossier comptable de la commande mexicaine », archives privées fonds usine Mengin.

[1073] CAMP, Roderic Ai, *op. cit*., 2011, p. 1015 ; CAMP, Roderic Ai, « Losers in Mexican Politics : A Comparative Study of Official Party Precandidates for Gubernational Elections, 1970-1975 », *in* WILKIE

au Sonora[1074]. Le hasard semble exclu. Tout comme en Basse-Californie où la pompe SOFRETES est installée dans la ville frontalière (et jumelle) de Mexicali, capitale de l'État fédéré, en plein cœur de *Bosque de la Ciudad*, un parc zoologique artificiel construit pour assainir l'air de l'agglomération, « *vital pulmon para Mexicali* »[1075]. Et cela au moment où F. V. Murray publie un livre de référence sur la pollution atmosphérique au Mexique[1076].

A l'échelle internationale, Murray se fait élire par acclamation Président de la 4ème cession du Conseil de gouvernement du PNUE au Kenya le 30 mars 1976[1077].

Cette démonstration laisse maintenant peu planer de doutes sur l'origine et la mise en œuvre très opportuniste de la politique publique solaire mexicaine. Les éléments de langage mobilisés par le très beau film d'animation promotionnel et surtout par la brochure papier très pédagogique, qui sont réalisés pour soutenir la campagne officielle de sensibilisation aux applications de l'énergie solaire qui accompagnent la réalisation du programme *Tonatiuh*, confortent absolument notre analyse[1078]. Dans la brochure *ENSO*, le discours présente les pompes solaires comme une solution à la pauvreté énergétique et alimentaire des régions rurales arides déshéritées et isolées de « *5 milliones de mexicanos marginados* », tout en participant à la protection de l'environnement[1079]. En ce sens, il est en adéquation avec la proposition sociotechnique de la SOFRETES, mais beaucoup moins avec la réalité des effets de la politique agraire mexicaine sur la paysannerie et des objectifs du programme solaire que nous avons démontrés. D'ailleurs, la suite donnée à *Tonatiuh*, à la politique publique solaire mexicaine et à la coopération solaire avec la France, prolonge parfaitement l'existence politique du solaire et de la machine

James W., RUDDLE Kenneth, *Quantitative Latin American Studies : Methods and Findings*, Statistical Abstract of Latin America Supplement 6, Los Angeles, UCLA Latin American Center Publications, University of California, 1977, pp. 28-29.

[1074] Les Murray et Girardier sont en couverture du journal *El Imparcial*, Sonora, 30 juin 1974, archives personnelles de Jean-Pierre Girardier.

[1075] Voir le site web du parc : http://www.mexicali.gob.mx/bosque/

[1076] MURRAY, F. V., *La contaminacion en México*, Fondo de Cultura Economica, 1975.

[1077] PNUE, *Report of the government council on the work of its fourth session 30 March – 14 April 1976*, UN, New York, 1976, p. 3.

[1078] Il s'agit du film *Nuestro amigo el sol*, produit par *BGB producciones* et réalisé par Agustin Demetrio et Barrios Bilbatua Gomez. Un ingénieur de la SOFRETES récupérera dans une poubelle du CEA Cadarache une copie du film avant sa destruction (il n'a donc pas été archivé par l'établissement public). Il l'a remise à Frédéric Caille pendant la rédaction de cette thèse. Un book photo qui présente chaque pompe solaire de la première phase du programme (1974-1975) est également conservé dans la documentation personnelle de Girardier.

[1079] *ENSO Energia Solar Mexico*, archives personnelles de Jean-Pierre Girardier.

SOFRETES telles qu'elles sont utilisées par le gouvernement depuis 1973.

L'instrumentalisation opportuniste d'une capacité de séduction de l'objet technique continue après 1976, mais avec de nouveaux acteurs et d'autres machines.

Conçu pour la durée du mandat présidentiel d'Echeverria, *Tonatiuh* est abandonné par le gouvernement suivant, ce qui prouve une fois de plus qu'il n'existe absolument pas pour induire la diffusion d'un nouveau système technique. En fait, cette technique n'intéresse pas les gouvernants. D'ailleurs, au niveau institutionnel, le programme d'équipement *Tonatiuh* n'a pas donné lieu à la création d'une administration spécialisée, de mission par exemple. Des individualités mènent l'action publique solaire au sein de diverses institutions pour leur propre compte : les Murray au ministère de la Santé et à la CONAZA. Sous la présidence de Portillo (1976-1981), F. V. Murray quitte le gouvernement et réoriente sa carrière dans les institutions de l'énergie nucléaire. Il est successivement le Directeur de L'*Institut of Nuclear Energy* (1977-1979), puis le Directeur général d'URAMEX (1979-1982)[1080]. *Tonatiuh* est une réalisation du ministère de la Santé de l'administration précédente. Institutionnellement parlant, *Tonatiuh* n'appartient pas au secteur de l'énergie. Quand F.V. Murray part, il emporte avec lui la SOFRETES et ses pompes, qui disparaissent des agendas. Elles ne sont plus représentées au sommet de la hiérarchie décisionnelle. Nonobstant, les États-Unis, la RFA et la France, cherchent à poursuivre une coopération dans le domaine solaire. Aussi, la politique publique solaire mexicaine est-elle réorientée par de nouveaux acteurs et de nouveaux objets techniques.

Il est intéressant de suivre d'abord cette transition du point de vue du Département d'État américain grâce à ses *diplomatic cables*.

Un télégramme de 1976 nous apprend que quelques mois avant l'élection de Portillo à la Présidence, F. V. Murray fait une nouvelle proposition au gouvernement pour acheter 1000 pompes SOFRETES. L'ampleur de la commande est-elle réaliste ? S'agit-il d'une manœuvre politique de Murray qui agite son levier solaire ? L'un n'empêche pas forcément l'autre. « *SMA is requesting administration support for a long range program to build 1,000 1 kw plants throughout the country and two 50 kw plants. It is unlikely, however, that so ambitious a program will be approved at this time.* » [1081] Le 17 mars

[1080] CAMP, Roderic Ai, *op. cit*., 2011, p. 1015

[1081] « SMA demande le soutien de l'administration pour un programme à long terme visant à construire 1000 centrales de 1 kW dans tout le pays et deux centrales de 50 kW. Il est toutefois peu probable qu'un

1977, le Département d'État américain informe les ambassades US de Mexico et de Paris que le *Department Of Energy* (DOE) a rencontré les 3-4 février 1977 des représentants de la SOFRETES qui leur ont alors affirmé que le gouvernement mexicain étudiait avec sérieux le projet de milliers de pompes solaires supplémentaires. L'*Energy Research Developement Administration* (ERDA) demande à clarifier rapidement cette déclaration car cette information pourrait alors être utilisée auprès du Congrès comme argument pour appuyer une modification « *in ERDA and AID legislation with regard to cooperation with developing countries in non-conventional energy technologies* »[1082]. Le télégramme se conclut sur les 18 pompes SOFRETES installées à cette date. Le lendemain, 18 mars 1977, l'ambassade US de Mexico répond par l'affirmative et ajoute que le projet prévoit en plus de construire les pompes sur le sol mexicain : « *GOM still seriously considering long range plan to install 1000 one kw pumping systems and several 50 kw pumps. GOM buying plants from Sofretes and assembling them in Mexico. Eventually hopes to fabricate everything here. Mexico currently has 18 solar pump installations and will have 19th in month or so. All except pump installations and will have 19th in month or so. All except pump at San Luis de la Paz (which now is 30kw) are one kw pumps.* »[1083] Puis, le télégramme annonce le changement administratif en cours au Mexique, suite à la victoire de Portillo aux élections présidentielles, qui sera déterminant pour l'avenir du programme solaire. Vizcaino Murray quitte le Sous-Secrétariat d'État à l'Amélioration de l'Environnement, qui jusque-là chapeautait le programme solaire, pour prendre la Direction de la *Nuclear Energy Institut* (INEN). Les Murray emportent avec eux le programme de pompes solaires qui sera peut-être réactivé depuis l'INEN. Cela confirme que le solaire au Mexique est donc avant tout un instrument des Murray et de l'ancienne

programme aussi ambitieux soit approuvé à ce moment-ci ». Télégramme de l'ambassade des États-Unis à Mexico au Département d'État à Washington du 12 mars 1976, « SOLAR ENERGY », http://wikileaks.org/plusd/cables/1976MEXICO03324_b.html.

[1082] « Dans la législation ERDA et AID en ce qui concerne la coopération avec les pays en développement dans le domaine des technologies énergétiques non conventionnelles ». Télégramme du Département d'État à Washington à l'ambassade des États-Unis à Mexico du 17 mars 1977, « STATUS OF FRENCH-MEXICAN SOLAR ENERGY COOPERATION », http://wikileaks.org/plusd/cables/1977STATE059645_c.html.

[1083] « GOM envisage toujours sérieusement d'installer 1000 systèmes de pompage d'un kW et plusieurs pompes de 50 kW. GOM achète des centrales à Sofretes et les assemble au Mexique. Espère éventuellement tout fabriquer ici. Le Mexique compte actuellement 18 installations de pompes solaires et en aura une 19e dans un mois environ. Toutes sont des installations de pompage. Toutes les pompes sauf à San Luis de la Paz (qui est maintenant de 30 kW) sont des pompes d'un kW ». Télégramme l'ambassade des États-Unis à Mexico au Département d'État à Washington du 18 mars 1977, « MEXICAN SOLAR PUMP PROGRAM », http://wikileaks.org/plusd/cables/1977MEXICO03400_c.html.

administration au pouvoir. Pour le dire autrement, le solaire n'est pas un programme, socialement et institutionnellement enraciné, qui reste, alors que les hommes changent tout autour, mais bien l'inverse. A partir des redistributions des cartes de 1977, le DOE propose d'envoyer des experts solaires échanger sur une possible coopération avec le nouveau Sous-Secrétariat d'État à l'Amélioration de l'Environnement, M. Romero. Le télégramme de l'ambassade US à Mexico du 23 février 1978 nous informe que ce dernier décline finalement la proposition initialement bien accueillie car le programme solaire a été transféré à une autre administration. Les Américains cherchent alors à trouver le bon interlocuteur. Ils se tournent vers de Dr. Ibarra et la nouvelle administration mexicaine pour la désalinisation des eaux, la *Saline Water Utilization Director General* (DIGAAS). Ibarra se révèle l'interlocuteur que les Américains recherchaient. Il se montre très enthousiaste à l'idée d'une coopération solaire US-Mexique, notamment sur les technologies photovoltaïques. La NASA est donc priée de se joindre au DOE lors d'une rencontre d'experts qui doit être organisée avec Ibarra : « *DIGAAS is interested in broad range of topics to be covered - passive architecture, active architecture (including solar heating), photovoltaics, desalination with solar energy, water reuse with solar energy, the role of solar in the general energetics picture, environmental improvement through increased solar energy use, costs (particularly of photovoltaics), and development of standards for incorporating solar energy in housing construction regulations.* »[1084] Ce télégramme mentionne, pour mémoire, dans ses références aux précédents échanges sur le sujet, un télégramme de Carter lui-même. Nous n'avons malheureusement pas accès à ce message, mais son existence confirme que l'affaire solaire mexicaine est suivi par la Présidence US. Cependant, le Département d'État repousse la rencontre souhaitée par les Mexicains. Il demande à l'ambassade US de Mexico de bien peser l'influence de la DIGAAS qui, pour Washington, semble une administration de peu d'envergure dans sa capacité à influencer la politique de l'énergie mexicaine. De plus, il souhaiterait profiter d'un événement comme celui-là pour élargir le spectre des interlocuteurs à d'autres pays

[1084] « DIGAAS s'intéresse à un large éventail de sujets à couvrir - architecture passive, architecture active (y compris le chauffage solaire), photovoltaïque, dessalement avec l'énergie solaire, réutilisation de l'eau avec l'énergie solaire, rôle de l'énergie solaire dans le tableau énergétique général, amélioration de l'environnement grâce à une utilisation accrue de l'énergie solaire, coûts (en particulier du photovoltaïque) et élaboration de normes pour l'intégration de l'énergie solaire dans les réglementations de construction de logements ». Télégramme de l'ambassade des États-Unis à Mexico au Département d'État à Washington du 16 juin 1978, « SOLAR ENERGY », http://wikileaks.org/plusd/cables/1978MEXICO09967_d.html.

de l'Amérique latine. Le télégramme du 4 août 1978 enjoint l'ambassade de modérer la relation avec Ibarra le temps pour Washington d'approfondir toutes les dimensions qu'implique une coopération technique solaire avec le Mexique, car les enjeux seraient bien plus vastes : « *US-Mexico cooperation in solar energy technology (which will be a logical follow-on to the seminar) raises number of broader issues that will be discussed.* »[1085] Le 1er septembre 1978, l'ambassade US à Mexico informe Washington de la proposition d'Ibarra d'organiser une rencontre en novembre 1978 pour étudier la faisabilité d'un projet de construction d'un village solaire auto-suffisant au Mexique (voire même dans d'autres pays d'Amérique latine) dans le cadre de *joint-ventures* avec des industriels américains. Ibarra ajoute que son gouvernement envisage également ce projet avec les Français et les Allemands, mais « *greater interest was in joining with U.S. for obvious reasons* »[1086]. La position d'Ibarra est devenue plus solide car la DIGAAS a été reconnue par le Président mexicain comme l'administration de coordination pour les questions solaires, « *referring to (b) by presidential order dated August 2, 1978 Aguas Aalinas Directorate designated agency charged with solar energy development* »[1087]. Pour préparer au mieux la rencontre de novembre, l'ambassade US à Mexico rédige un long courrier, le 6 novembre 1978, afin de clarifier le paysage solaire mexicain en identifiant les intérêts des différentes organisations intéressées et leurs partenaires étrangers. Un bilan de la coopération solaire franco-mexicaine est alors établi. Selon l'ambassade, « les Français » percevraient défavorablement leur expérience passée du programme *Tonatiuh* en raison des problèmes de maintenance auxquels ils doivent faire face. L'ambassade fait vraisemblablement référence à l'avis du COMES sur les installations SOFRETES et non pas à l'analyse de la situation par la SOFRETES elle-même. En effet, depuis mars 1978, c'est le COMES qui gère désormais les relations solaires françaises à l'internationale. Or, cette administration ne soutient guère la SOFRETES et ses propositions sociotechniques thermodynamiques, elle privilégie plutôt

[1085] « La coopération entre les États-Unis et le Mexique dans le domaine de la technologie de l'énergie solaire (qui sera une suite logique au séminaire) soulève un certain nombre de questions plus larges qui seront discutées ». Télégramme du Département d'État à Washington à l'ambassade des États-Unis à Mexico du 4 août 1978, « SOLAR ENERGY », http://wikileaks.org/plusd/cables/1978STATE197024_d.html.

[1086] Télégramme de l'ambassade des États-Unis à Mexico au Département d'État à Washington du 01 septembre 1978, « SOLAR ENERGY SEMINAR », http://wikileaks.org/plusd/cables/1978MEXICO14403_d.html

[1087] « se référant à l'alinéa b) par ordonnance présidentielle du 2 août 1978, la Direction d'Aguas Aalinas a été désignée comme l'organisme chargé du développement de l'énergie solaire ». *Ibid*.

le photovoltaïque et d'autres acteurs industriels. Les problèmes de maintenance résultent principalement de l'abandon des pompes à leur propre sort par l'administration mexicaine et non d'une quelconque défaillance technicienne. D'ailleurs, les télégrammes US précédant (de 1973 à 1976) font état d'installations parfaitement fonctionnelles. Le contrat passé entre le gouvernement mexicain et la SOFRETES ne prévoit pas non plus de plans de maintenance après la période de garantie. La maintenance des installations relève des moyens que le client lui alloue et ne repose pas sur des interventions gracieuses et infinies de l'entreprise. Et ce, comme pour n'importe quel type d'installation industrielle, d'autant plus pour des réalisations prototypiques. L'absence de moyens mis à la disposition de la poursuite du programme *Tonatiuh* à partir de 1977 confirme en partie notre constat : il n'a sans doute jamais été question de pérenniser ces installations dont la raison d'être se trouve justifiée par leur nature démonstrative. D'abord de leur capacité à satisfaire un intérêt politique, celle des Murray à se placer dans le gouvernement et la haute administration, et celle du Président Echeverria à asseoir son contrôle des campagnes ; peut-être moins de leur capacité technique à satisfaire un besoin quotidien. Une autre raison peut être invoquée pour expliquer pourquoi les Américains insistent sur les problèmes de maintenance des pompes de *Tonatiuh*. Ils cherchent à décrédibiliser la coopération française pour placer leurs produits : « ces difficultés ont été montées en épingle par les principaux concurrents de la France, notamment par les États-Unis…De façon à incriminer le matériel français et la conception même de notre coopération, en passant sous silence bien entendu les insuffisances du partenaire mexicain. Ils voulaient entamer le monopole mondial de SOFRETES par le biais de l'expérience mexicaine. »[1088] D'après le télégramme, le COMES tente de réorienter la coopération solaire franco-mexicaine en proposant à la DIGAAS deux nouveaux projets, dont une version du « village solaire », en dépêchant sur place deux représentants : « *there are however, two new projects under consideration, both with DIGAAS - one would be on solar architecture and the other a solar village. Two french solar officials (one of them, as we understand it, in charge of french solar energy efforts) will be here the week of november 20, at which time some decisions may be made on these two*

[1088] SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note pour le Comité financier du COMES, « Éventuelle subvention pour le Mexique », 28 juin1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.

projects. »[1089] Les Américains et les Français doivent également faire face à l'offensive solaire allemande qui, selon ce télégramme, est la plus solide. Elle est composée de trois différents projets :

> Desalination with solar energy at la paz, b.c.s., (b) a large project to convert the fishing village of las barrancas, in b.c.s. to a total solar energy supply. This would include facilities for the refrigeration of fish as well as the personal electric needs of the townsfolk, telecommunications, etc. The project will be funded on the german side by the federal ministry for science and technology (bmft) which has chosen a german industrial consortium to which it will contract the work. The german contribution may come to 20 million dm. Selection of mexican firms to be partners to the german firms is currently being awaited, (c) houses where solar energy will provide domestic needs are planned for mexicali[1090].

Finalement, les discussions américano-mexicaines s'étirent en longueurs. La fameuse rencontre a lieu en décembre 1978 à Mexico où elle prévoit une nouvelle entrevue à Washington. Les termes des échanges restent vagues sur les réalisations solaires envisageables et se bornent à relayer une dilution de promesses d'intérêts communs tout au long de l'année 1979, pour finalement se recentrer sur l'hypothétique projet de « village solaire » visiblement encouragé par Carter :

> As per telecon between bill Carter, doe, and S and T counselor Wilcox, DOE is still willing to meet with DIGAASES dirgen Ibarra this month. DOE is specifically interested in discussing further the possibilities of cooperation in the development of a solar village in Mexico. Because many of DOE's solar staff will be attending ISES conference in Atlanta from May 28-June 1, it will most useful to schedule Ibrra's visit either before or after that time. it would also be preferable to have IUESE discussions prior to the June 7-8 mixed commission[1091].

[1089] « Il y a cependant deux nouveaux projets à l'étude, tous deux avec DIGAAS - l'un serait sur l'architecture solaire et l'autre sur un village solaire. Deux responsables de l'énergie solaire français (l'un d'entre eux, si nous le comprenons, est chargé des efforts de la France en matière d'énergie solaire) seront ici la semaine du 20 novembre, date à laquelle certaines décisions pourraient être prises sur ces deux projets ». Télégramme de l'ambassade des États-Unis à Mexico au Département d'État à Washington du 6 novembre 1978, « SOLAR ENERGY SEMINAR »,
http://wikileaks.org/plusd/cables/1978MEXICO18415_d.html.

[1090] « Dessalement grâce à l'énergie solaire à La Paz, B.C.S., b) un grand projet visant à convertir le village de pêcheurs de Las Barrancas, en Colombie-Britannique, à un approvisionnement total en énergie solaire. Cela comprendrait des installations pour la réfrigération du poisson ainsi que les besoins personnels en électricité des citadins, les télécommunications, etc. Le projet sera financé du côté allemand par le ministère fédéral de la Science et de la Technologie (BMFT) qui a choisi un consortium industriel allemand auquel il sous-traitera les travaux. La contribution allemande pourrait s'élever à 20 millions de dm. La sélection d'entreprises mexicaines pour être partenaires des entreprises allemandes est actuellement attendue, (c) des maisons où l'énergie solaire fournira des besoins domestiques sont prévues pour Mexicali ». *Ibid*.

[1091] « Selon la téléconférence entre Bill Carter, doe, et conseiller S and T Wilcox, le DOE est toujours disposé à rencontrer DIGAASES dirgen Ibarra ce mois-ci. Le DOE est particulièrement intéressé à discuter plus avant des possibilités de coopération dans le développement d'un village solaire au Mexique. Étant donné qu'une grande partie du personnel solaire du DOE assistera à la conférence de l'ISES à Atlanta du

A l'issue de cette commission mixte US-Mexique, la décision de construire le village solaire de *Ajuchitlan* est actée[1092].

Le gouvernement de Portillo (1976-1981), qui mène, comme nous l'avons dit, une politique de l'énergie exclusivement pétrolière et très secondairement électronucléaire, confie donc la question de la coopération solaire à une institution existante, la DIGAAS, qui ajoute à ses prérogatives le volet solaire en devenant la *Direccion General de Aprovechamiento de Aguas Salinas y Energia Solar* (DIGAASES) afin de piloter le nouveau plan solaire national, le *Plan Nacional Maestro Energia Solar*[1093], qui intègre le Programme d'électrification rurale du gouvernement par le biais exclusif d'installations photovoltaïques[1094]. A partir de 1979, le COMES et le ministère de l'Industrie français tentent de prendre langue avec le gouvernement mexicain sur la question solaire alors que celui-ci est courtisé par des projets américains[1095], allemands[1096] et israéliens[1097]. La difficulté est de trouver le bon interlocuteur, la personne ressource au gouvernement puisque Murray n'est plus là. Pour le COMES, il s'agit de réhabiliter les installations abandonnées de *Tonatiuh* afin de ne pas en perdre le bénéficie en termes d'image de marque pour le solaire français en général, l'objectif étant de placer de nouveaux projets de coopération dans le domaine désormais prioritaire de la filière technique du photovoltaïque. La SOFRETES et sa proposition sociotechnique ne sont pas censées être réactivées, par de nouvelles commandes par exemple, mais tout simplement écartées pour être remplacées par des propositions photovoltaïques. Politiquement, pour les Mexicains et les Français, cela ne change rien. Il est toujours question d'opportunité. Là où ces nouvelles relations politiques intéressent plus particulièrement notre analyse c'est sur la réapparition de F. V. Murray dans l'équation des forces en présences. En effet, Murray

---

28 mai au 1er juin, il sera très utile de planifier la visite d'Ibarra avant ou après cette heure. Il serait également préférable d'avoir des discussions IUESE avant la commission mixte des 7 et 8 juin ». Télégramme du Département d'État à Washington à l'ambassade des États-Unis à Mexico du 11 mai 1979, « US-MEXICO SOLAR DISCUSSIONS », http://wikileaks.org/plusd/cables/1979STATE120392_e.html.

[1092] Télégramme du Département d'État à Washington à l'ambassade des États-Unis à Mexico du 12 septembre 1979, « COOPERATION ON SOLAR VILLAGE PROJECT », http://wikileaks.org/plusd/cables/1979STATE239581_e.html.

[1093] HAWKINS, Donna, *op. cit.*, 1980, pp. 1 et 12.

[1094] *Ibid*., p. 11 ; NASA, STEIGELMANN William, ASMON Itil, for U.S. Department of Energy, Conservation and Renewable Energy, Division of Solar Thermal Energy Systems, *Market Assessment of Photovoltaic Power systems for Agricultural Applications in Mexico*, July 1981, pp. IX-XII.

[1095] *Ibid*., p. 14.

[1096] *Ibid*., p. 13. Il s'agit du programme SONNTLAN.

[1097] *Ibid*., p. 14.

tente d'orchestrer son retour solaire à plusieurs reprises dans les négociations. Il vient en quelques sortes parasiter le nouveau schéma institutionnel du solaire franco-mexicain en réactivant son levier solaire. Il se sert de son ancienne position de porteur du solaire au sein du gouvernement pour pousser son avantage dans une lutte personnelle de pouvoir. Le solaire est pour lui un instrument de carrière qu'il essaye de faire fructifier au maximum. Il interfère dans les relations entre les ministres de l'Industrie en faisant une proposition pour une nouvelle commande de pompes SOFRETES. Voyons comment se construit ce nouveau système relationnel franco-mexicain.

Le SAI du COMES se rend au Mexique en novembre 1978 pour reprendre en main la coopération bilatérale sur les restes du programme *Tonatiuh*. La DIGAASES, dirigée par Javier Ibarra Herrera, agissant dans le cadre du Secrétariat aux Etablissements Humains et aux Travaux Publics (SAHOP), accepte l'idée d'une réhabilitation des anciennes installations SOFRETES, mais émet surtout de nouvelles demandes dans le domaine photovoltaïque[1098]. Dans sa note au ministre du Commerce extérieur, Jean-Jacques Subrenat (1940-), le diplomate du MAE qui dirige le SAI du COMES, propose que la future collaboration solaire soit abordée lors de la visite de VGE de février 1979 par l'intermédiaire « d'un ministre français de la suite présidentielle et son homologue mexicain »[1099]. Cependant, la relation bilatérale a du mal à s'établir en raison d'une lutte d'influence entre autorités mexicaines autour de l'instrument solaire de politique publique.

Jean-Jacques Subrenat présente les forces en présence dans une note confidentielle adressée au Président du COMES, Henry Durand[1100]. F. V. Murray refait surface sur le solaire en essayant de court-circuiter Ibarra à la DIGAASES qui « comptait sur la protection du Président Portillo pour conserver les attributions solaires durement obtenues. Le second compte sur ses amitiés politiques, mais aussi sur son approche plus globalisante que celle du Dr. Ibarra : Murray veut en effet les énergies nucléaire et solaires (souligné dans le texte) »[1101]. Pour se démarquer, leur tactique est la même. Ils tentent

[1098] SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note pour Monsieur le ministre du Commerce extérieur, « Énergies renouvelables : perspectives franco-mexicaines », 16 janvier 1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1099] *Ibid*.
[1100] SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note confidentiel pour Monsieur Durand, « Mexique », 19 mars 1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1101] *Ibid*.

d'établir directement des liens avec un partenaire étranger. Ibarra se rapproche des Allemands avec le projet SONNTLAN et « voudrait bien être la tête de pont avec la France (Tonatiuh et projets à l'étude) »[1102]. Murray prend langue avec les Américains et tente d'atteindre directement le ministre de l'Industrie français André Giraud en contournant le COMES[1103]. Un troisième acteur semble profiter de la confusion pour se positionner en médiateur et tirer la couverture à lui[1104]. Il s'agit d'une figure du nucléaire mexicain, M. Eibenschutz, Directeur de la Commission Nationale de l'Énergie et ingénieur diplômé en 1960 de l'Institut nationale des sciences et techniques nucléaires du CEA Saclay[1105].

L'imprécision des attributions ministérielles mexicaines et la démarche de Murray empêchent toute avancée concrète sur l'avenir à donner aux anciennes installations SOFRETES et aux nouveaux projets[1106]. Les documents du COMES sur cette affaires laissent entendre que F. V. Murray n'est pas sincère. Murray fait une proposition à Girardier d'une nouvelle commande ponctuelle de 50 pompes. Le COMES veut faire entendre raison à Girardier sur les véritables intentions de Murray : « manœuvre de la famille Murray à des fins de pouvoir personnel, manque de sérieux »[1107]. Murray, « dont les antécédents dans l'affaire *Tonatiuh* laissent des souvenirs tenaces », a très habilement manœuvré pour que sa proposition arrive au gouvernement mexicain par ministres interposés, ce qu'explique le Président du COMES, Henry Durand, au ministre de l'Industrie, André Giraud, pour le mettre en garde en vue de sa prochaine rencontre avec le ministre mexicain de l'Industrie, M. Oteyza, qui risque justement d'être accompagné de Murray :

> M. Viscayno Murray, désireux de reprendre l'ensemble des activités solaires au Mexique, a pris l'initiative de se faire remettre une offre par ministres interposés, afin de créer un état de fait. En effet, en obtenant l'accord de principe des autorités françaises et d'un ministre mexicain pour un projet de cette importance, il dépossèderait les autres administrations des

[1102] *Ibid*.
[1103] *Ibid.*
[1104] *Ibid.*
[1105] https://www.gob.mx/cnsns/estructuras/juan-eibenschutz-hartman; http://pbnc2014.org/media/uploads/bios/Juan_Eienschutz_bio.pdf.
[1106] SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note pour Monsieur Durand, « Mexique », 4 avril 1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1107] *Ibid*.

activités en énergies renouvelables, ne serait-ce que par le caractère limité des ressources humaines et techniques, qui n'autorisent pas une multiplication des centres de décision[1108].

Le risque ultime étant pour la France de traiter avec le mauvais interlocuteur, compromettant ainsi tout prolongement au solaire français au Mexique.

L'affaire des 50 pompes SOFRETES que Murray « a tenté en vain de faire entériner lors des entretiens entre MM. Giraud et Oteysa » et les incertitudes institutionnelles mexicaines durent[1109]. Jean-Jacques Subrenat propose une mission au Mexique avec Girardier dont l'objectif serait de faire arrêter définitivement une décision franco-mexicaine pour la réhabilitation des installations de *Tonatiuh* le nécessitant[1110], car « le COMES estime que la réhabilitation de *Tonatiuh* est essentielle pour la réputation des activités françaises dans le domaine du solaire au-delà de SOFRETES »[1111].

La situation litigieuse se normalise au début de l'année 1980. Murray semble enfin écarté des affaires solaires que la DIGAASES conduit. Une dizaine de stations auraient été remises en état selon les autorités mexicaines, et le COMES prend en charge le financement d'une pompe photovoltaïque commandée à la SOFRETES[1112]. Cependant, les difficultés auxquelles fait face la SOFRETES (*cf. infra* chapitre 5) provoque la suspension de ce dernier chantier et la question se pose de savoir s'il faut s'adresser à un concurrent pour sa réalisation[1113]. Un état de la réhabilitation de *Tonatiuh* en mars 1981 fait apparaître une situation toute autre[1114]. Sur le terrain, la partie mexicaine ne remplit pas suffisamment sa part du contrat en allouant trop peu de moyens nécessaires à la remise en état des capteurs solaires de la dizaine de pompes restantes alors que « 4 fonctionnent de manière satisfaisante tandis que 3 sont politiquement abandonnées »[1115]. Ce qui semble

[1108] Président du COMES, Henry Durand, Note pour Monsieur le ministre de l'Industrie, 6 avril 1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1109] SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note pour Monsieur De Wissocq (DG DGEMP), 2 juin 1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1110] SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note pour Monsieur Durand, « Mexique », 11 mai 1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42 ; SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note pour Monsieur De Wissocq (DG DGEMP), 2 juin 1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1111] SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note pour le Comité financier du COMES, « Éventuelle subvention pour le Mexique », 28 juin1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1112] SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note, « Mexique : énergies renouvelables », 17 mars 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1113] *Ibid* ; SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note pour Monsieur Durand, « SOFRETES/Mexique », 15 février 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1114] SAI du COMES, Bernard Devin, « État du programme de réhabilitation de Tonatiuh au 10 mars 1981 », 6 mars 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 31.
[1115] *Ibid*.

s'expliquer par l'attitude que nourrissent les pouvoirs publics envers un programme de l'administration précédente : Ibarra de la DIGAASES dénigre *Tonatiuh* qu'il présente comme un échec[1116]. Cependant, il souhaite poursuivre la coopération franco-mexicaine mais en la réorientant vers des projets qui mettent en œuvre la technologie photovoltaïque. Une posture que le COMES, et notamment son Président Henry Durand, approuve et soutien : « cette fois la réhabilitation est bien lancée, me semble-t-il. Ceci nous enlèvera un gros souci. Il n'en reste pas moins que l'effort fait pour faire fonctionner du matériel vétuste et totalement obsolète n'a guère de signification pratique… »[1117] Concernant la centrale électro-solaire de San Luiz de la Paz, il ajoute : « il ne m'a pas paru utile de proposer la contribution française de 100 000 Fr. suggérée par M. Devin (il y a mieux à faire en investissant dans des programmes nouveaux : voir plus loin). »[1118] Durand fait ici explicitement référence aux projets photovoltaïques alors à l'étude, notamment la demande mexicaine pour un vaste programme de télévision scolaire solaire rurale.

Un nouveau gouvernement, de nouvelles administrations, de nouveaux hommes, de nouvelles technologies et de nouvelles opportunités solaires remplacent les anciennes pour satisfaire les exigences de légitimité du pouvoir envers la paysannerie ; qui elles ne changent pas.

Le Président du COMES a conscience de la fragilité de ce nouveau programme d'équipement solaire, à défaut d'y reconnaître sa raison d'être, puisqu'il précise que les élections présidentielles approchant, ce plan national (le Programme National d'Energie Solaire, PRONAESYC) ne verra pas le jour sous cette administration[1119].

Cela n'empêche pas le Président Portillo de faire installer un système solaire sur *Los Pinos*, la résidence présidentielle, (comme l'a fait le Président américain Jimmy Carter sur la Maison blanche à Washington) prouvant une fois encore l'instrumentalisation de sa capacité de de séduction[1120].

L'analyse du dossier mexicain établit l'existence politique du solaire en explicitant l'instrumentalisation de sa capacité de séduction politique au service d'intérêts

[1116] Henry Durand, Président du COMES, « Coopération COMES-DIGAASES rencontre avec le Dr. Javier Ibarra, les 17 et 18 mars 1981 à Mexico », 20 mars 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 39.
[1117] *Ibid*.
[1118] *Ibid*.
[1119] *Ibid*.
[1120] SAI du COMES, Yves Chevalier, « Analyse du Programme national d'énergie solaire (PRONAESYC) », 6 avril 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 39.

particuliers, au détriment de la proposition sociotechnique de la SOFRETES. Elle représente seulement une opportunité. Quant à la volonté politique de prolonger *Tonatiuh* elle ne sert pas à soutenir la SOFRETES mais à assurer la continuité d'un instrument de relation internationale créateur d'opportunités.

A partir de 1980, les autres déterminants de l'absence de la SOFRETES du Mexique ne relèvent pas de ceux qui nous intéressent dans cette sous-partie, qui s'attache plutôt à identifier les déterminants justifiant de sa présence à partir de 1974. Nous en renvoyons donc l'étude complémentaire aux chapitres 5 et 6.

Dans la relation politique bilatérale qui fonde l'existence d'un contrat commercial entre un gouvernement étranger et la SOFRETES, n'oublions pas que l'opportunisme solaire concerne les deux parties.

2.3 Pour les partenaires de la SOFRETES

Dans le schéma de l'aide-intérêts et de l'aide-échange, après avoir analysé la situation du point de vue du receveur (demande), nous nous plaçons maintenant du côté du donateur (offre).

Si la SOFRETES et ses machines représentent pour les gouvernements clients des opportunités pour nouer des relations de coopération bilatérale intéressées et servir d'instrument de politique publique intérieure, la proximité qu'autorise *de facto* la SOFRETES avec le sommet de la hiérarchie politique attise les convoitises de grandes entreprises nationales qui montent au capital de la PME pour la filialiser (Régie Renault, CFP-Total, Technigaz, CGE), d'établissements publics (le CEA) et d'administrations (le MAE, le ministère de la Coopération, le ministère de l'Industrie et le COMES-AFME), afin de profiter des opportunités d'accès aux gouvernants qu'elle offre. Ils sont tous acteurs de la politique étrangère de la France, c'est-à-dire d'une politique d'influence. Les uns et les autres œuvrent de concert à pousser leurs intérêts mutuels. Le solaire en général et la SOFRETES en particulier leur sert d'intermédiaire diplomatique et commerciale. Symptomatique de la rencontre de ces intérêts non directement solaires, la petite filiale sénégalaise de la SOFRETES, la Société industrielle des applications de

l'énergie solaire (SINAES), créée en 1976 à l'initiative du gouvernement sénégalais, rassemble dans son capital la Régie Renault, la CFP-Total, le CEA, Elf, et l'État sénégalais dont le Président de la République occupe également le poste de Président de la SINAES[1121].

Le MAE identifie clairement « trois catégories de motivations » dans le domaine des opérations extérieures de démonstration solaire[1122]. Les premières sont « politiques, notamment comme moyen de dialogue et de rayonnement, et également de préservation ou de consolidation des équilibres internationaux. Une catégorie particulièrement importante d'actions, celle de l'aide au développement, rentre bien évidemment dans ce cadre. »[1123] Les deuxièmes relèvent des échanges scientifiques avec les autres pays dits développés. Les troisièmes sont « économiques, notamment dans l'optique de retombées commerciales, avec comme partenaires : les pays en voie de développement bénéficiant de ressources excédentaires (pétrole, etc.) ; les pays intermédiaires solvables ; les pays récipiendaires des contrats d'assistance multilatérale, voire les agences d'aide multilatérale elles-mêmes. »[1124] On ne peut pas être plus clair. La question subsidiaire de l'industrialisation de l'objet technique reste cependant en suspens. L'action publique solaire à l'étranger a-t-elle oui ou non pour objectif, ou tout du moins, pour corolaire, de favoriser sur place l'industrialisation de la proposition sociotechnique dont est porteuse l'opération solaire de démonstration ? Les pouvoirs publics français envisagent-ils réellement de soutenir le développement industriel des pays du tiers-monde grâce à ces projets solaires d'abord conçus pour leurs paysanneries pauvres et isolées ? Rappelons que le transfert du savoir-faire est un des éléments constitutifs de la proposition sociotechnique de la SOFRETES ; l'appropriation de la technique est bien le cœur de cette entreprise solaire. Nous avons vu avec l'exemple mexicain que le gouvernement receveurs-acheteur n'en a pas l'intention. Le MAE n'ont plus. Cela se comprend aisément en regard des motivations énoncées ci-dessus. Un tel objectif irait par définition contre

[1121] Entretien avec Marc Frager du 12 décembre 2018 ; *Cf. infra* chapitre 5 pour une analyse plus détaillée de la SINAES.
[1122] MAE, « Analyse des actions ENR du MAE, éléments pour un plan sectoriel », Pochette « Projet de développement des énergies solaires par pays, 1980 », Dossier « Énergies solaires et renouvelables », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 6.
[1123] *Ibid*., p. 3.
[1124] *Ibid*.

les intérêts de la partie française : « jusqu'à présent, le MAE s'est gardé d'intervenir dans des opérations qui reviendraient à financer le développement industriel dans le domaine des énergies renouvelables, contrairement à la revendication posée par les PVD devant la communauté des pays industrialisés, et ceci dans le souci probable de préserver les chances de nos exportateurs. » « Nos exportateurs », cette dernière expression mérite clarification. Il ne s'agit pas seulement de la SOFRETES et de ses machines solaires par exemple (ou de ses concurrents), mais aussi de ses partenaires industriels qui l'utilisent pour placer leurs intérêts sectoriels plus larges (*cf. infra* chapitre 5). L'enjeu est de favoriser le transfert de technologies (conventionnelles et/ou sophistiquées) plutôt que l'appropriation d'alternatives techniques. Cet objectif bien connu de la politique de coopération, qui est dénoncé par Cot pendant son ministère, dessert les affaires de la SOFRETES[1125]. En plus de n'être qu'un faire-valoir pour ses partenaires en quête de marchés et de rayonnement, son produit ne remplit pas les conditions pour être industrialisé au détriment des populations auxquelles il est destiné. Dit autrement : faire du solaire, ce n'est pas l'objectif, encore moins si l'objet en question est conçu pour être approprié par le receveur.

Au niveau des instruments institutionnels mis en place pour administrer l'action solaire à l'étranger, le COMES est doté d'un Service de l'action internationale, le SAI, qui est confié dans un premier temps, comme dit précédemment, à un agent du MAE. Il s'agit d'un service de politique étrangère dont la mission est de capitaliser le potentiel de séduction politique du solaire à des fins diplomatiques et commerciales. Avant la création de l'agence d'objectifs solaire en 1978, le DEN joue les représentants solaires, par exemple aux Émirats Arabes Unis en 1975[1126], où encore lors des voyages présidentiels

[1125] Déclaration de Jean-Pierre Cot à Nice au colloque sur les nouvelles perspectives de la coopération scientifique et technique entre l'Afrique et la France à la lumière du Plan d'action de Lagos, 28 janvier 1982, Dossier Relations du COMES avec la Présidence de la République, les ministères, les organismes et entreprises publics ou privés, ministère de la Coopération, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 6 ; MRE-ministère de la Coopération et du Développement, Rapport « Une nouvelle politique de coopération pour la science et la technologie », Dossier Relations du COMES avec la Présidence de la République, les ministères, les organismes et entreprises publics ou privés, ministère de la Coopération, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 6.

[1126] A la demande de Cheik Zayed, une délégation française est reçue en octobre 1975. Elle est composée de Jean-Claude Colli (DEN), Robert Chabbal (Directeur scientifique du CNRS), Jean Deflandre (CNRS, délégué à l'ANVAR qui est actionnaire de la SOFRETES. Deflandre siège à son Conseil d'administration), un agent de la Direction générale de l'Industrie et M. Vignet (spécialiste des problèmes de dessalement au CEA). Compte-rendu de mission aux EAU de Jean Phéline (agent du CEA, conseiller technique à la DEN) le 28 janvier 1978, Dossiers « coopération par pays », Dossier EAU 1975-1982, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 33.

de VGE, comme celui qu'il effectue en Arabie saoudite en 1977 qui déclenche le contrat SOFRETES pour la centrale de Ryad (*cf. infra*). La présence du DEN dans la suite diplomatique confirme le rôle d'instrument de politique étrangère qui est dévolu aux opérations solaires. A partir de 1979, les dossiers solaires du FAC, c'est-à-dire les opérations de coopération comme celles du programme Énergies nouvelles pour le Sahel (ex. Diré au Mali), sont transférés au SAI du COMES[1127]. A partir de 1980, lorsque l'activité de la SOFRETES décline, le COMES apporte un soutien financier pour achever les contrats en cours et pour assurer le suivi de quelques opérations témoins au-delà du délai de garantie[1128]. Cependant, l'objectif n'est pas vraiment la survie de la SOFRETES, ni celui de sa proposition sociotechnique, mais plutôt de « maintenir le prestige de la France »[1129].

Cette capacité de séduction incroyable que possède une pompe solaire installée dans le désert est particulièrement bien énoncée par le Conservateur en chef du Département des Antiquités égyptiennes du musée du Louvre, Directeur des fouilles du musée du Louvre à Tôd, en Égypte. Celui-ci écrit à Henry Durand, alors Président du COMES, pour lui rappeler tout l'intérêt que représenterait pour le rayonnement de la France l'installation d'une motopompe solaire sur un site de fouille très reculé. Le prestige du Louvre et de l'Antiquité égyptienne ne faisant qu'ajouter du crédit au potentiel d'influence de l'objet technique et ce, à la fois pour les pouvoirs publics français et égyptiens, mais aussi pour les intérêts industriels tout en atteignant le cœur des habitants :

> Je sais bien que la bourgade de Tôd à l'orée du désert, très isolée des grandes villes, pourrait bien paraître éloignée à ceux qui sont habitués aux glorieux établissements industriels dont le renom est susceptible de servir une publicité tapageuse. En Égypte, cela est bien différent. Non seulement les chantiers de fouilles, aussi distants qu'ils soient des grandes métropoles du Nord, sont le point de mire des voyageurs et personnalités de toutes sortes : il n'est pas une mission de ministre étranger ou français voire de chef de gouvernement ou d'État, et de nombreux industriels en croisières, envoyés par les ministères égyptiens ou notre ambassade, qui ne nous rend une visite. La pompe solaire de Tôd fera toujours devant eux la plus brillante des démonstrations. D'autres part, le gouverneur de la région et les notables, tous plus ou moins apparentés, comme vous le savez, au gouvernement du Caire, nous visitent constamment. Enfin, le fellah, qui a tant de mal à irriguer, est bien loin d'être indifférent aux innovations qui viennent de France et qui pourraient être appliquées chez

[1127] Commande annuelle (passée dans le cadre de la convention générale) N°79.10.365 du 31/3/1980 du ministère de la Coopération au COMES, Annexe 2, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 6.
[1128] SAI du COMES, Henry Durand, Note « Deux conventions avec SOFRETES », 12 septembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1129] *Ibid*.

lui. Vous voyez que, s'agissant de démonstration donc de propagande, notre désert ne serait pas aussi inutile qu'on pourrait le penser[1130].

L'opportunité d'une demande solaire d'un gouvernement client-receveur ne se présente par forcément par elle-même comme dans le cas mexicain. Il convient, pour déclencher cette demande, de prospecter « de nouveaux contacts avec des pays ou territoires où nous devons rechercher des débouchés industriels et commerciaux en échange d'une coopération scientifique et technique qui nous est demandée. »[1131] C'est ainsi que le SAI du COMES suit avec attention les résultats d'une mission au Pakistan que le MAE a confiée au Chef du projet solaire du CEA (le CEA étant à cette époque l'actionnaire majoritaire de la SOFRETES) et qui devrait déboucher sur une proposition de coopération : « quant aux suites industrielles et commerciales, il est en effet indispensable de les garder à l'esprit dès le début de la coopération que l'on se propose d'inaugurer »[1132]. Ceci sachant que l'interlocuteur Pakistanais de ce dialogue solaire est le ministre du Pétrole[1133]. Au Niger, la coopération solaire est intégrée dans le Plan minier franco-nigérien[1134]. Nous avons déjà mentionné l'existence du fond spécial uranium dédié au financement des opérations solaires au Niger. Ce que nous relevons ici, c'est l'inscription des opérations solaires de coopération dans un volet du plan minier, ce qui traduit très bien l'intérêt qu'elles servent pour la partie française. Lors d'une réunion CEA-SOFRETES-CCCE-COMES au sujet de la coopération solaire franco-nigérienne, si les relations entre le CEA et le COMES sont assez conflictuelles à propos des types de technologies à soutenir, ils sont tous d'accord sur le fait que « les bonnes relations franco-nigériennes passent obligatoirement par les énergies renouvelables au Niger »[1135].

[1130] Lettre de Ch. Desroches Noblecourt, Conservateur en chef du Département des Antiquités égyptiennes du musée du Louvre, Directeur des fouilles du musée du Louvre à Tôd, à Henry Durand, Président du COMES, du 12 septembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1131] SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note pour Monsieur de Wissocq (DG DGEMP), « Énergies renouvelables : action internationale du COMES en 1979 », 7 juin 1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1132] SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat pour le Président du COMES à Monsieur le ministre des Affaires étrangères, « Pakistan, énergies renouvelables », 11 avril 1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1133] *Ibid*.
[1134] République du Niger, ministère des Mines et Industries, ministère français des Relations Extérieures, Coopération et Développement, Plan Minéral de la République du Niger (1ère partie), Chapitre 3, 1982, pp. 158-208. Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000137, carton 50 ; *Idem* pour les Plans de 1980, 1979 et 1978.
[1135] SAI du COMES, Yves Lambert, « Compte-rendu de la réunion coopération franco-nigérienne », 14 octobre 1980, p. 3. Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.

Lorsque la SOFRETES installe une pompe aux Émirats Arabes Unis en 1975, elle le fait grâce à l'intervention de son actionnaire pétrolier, la CFP-Total (*cf. infra* chapitre 4 et 5). Elle est précurseur dans la relation solaire bilatérale avec les pays arabo-pétroliers. En 1977, le ministre du pétrole des EAU demande à la DEN un centre de recherche sur l'énergie solaire, « pour des raisons de prestige »[1136]. La question d'offrir une opération de démonstration solaire pour faciliter et entretenir les bonnes relations dans les échanges pétroliers (mais aussi dans d'autres secteurs) est parfaitement assumée comme le révèlent ne nombreux documents d'archives du COMES, notamment ceux qui rendent compte des relations avec les pays du Golfe.

Une note, rédigée en 1979 par le SAI du COMES, à l'attention de la Présidence de la République, l'alerte sur l'intérêt que manifestent les pays exportateurs de pétrole du Golfe, notamment des EAU, pour le financement d'opérations de démonstration solaire dans les pays du tiers-monde, par l'intermédiaire des Fonds arabes pour le Développement. Cette volonté s'expliquerait par le besoin de « manifester leur souci de bonne gestion des ressources naturelles, pour eux-mêmes et pour le reste du monde »[1137]. En bref, pour soigner leur image de marque d'exportateur de brut à l'heure du deuxième choc pétrolier, et pour construire un nouvel instrument dans leur relation avec l'Afrique. Il s'agit là d'opportunités de « coopération triangulaire (technique française, fonds arabes, lieu d'implantation PVD) » que les autorités françaises peuvent capitaliser en Afrique francophone[1138]. Cependant, la collaboration bilatérale pour des projets d'installations solaires dans le Golfe (et pas seulement en Afrique de manière indirecte) doit être davantage développée. A l'automne 1979, le COMES mène une campagne de promotion auprès des pays du Golfe pour envisager des projets de coopération[1139]. Il est proposé de les inviter à l'inauguration de la centrale de Diré au Mali. En mars 1980, le Président VGE fait une tournée dans le Golfe. A cette occasion, un certain nombre d'accords de coopération sont engagés dans différents secteurs et de grands contrats d'équipements

[1136] DEN, « Coopération avec les EAU dans le domaine de l'énergie solaire », 24 octobre 1977, Dossiers « coopération par pays », Dossier EAU 1975-1982, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 33.
[1137] SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, « Note pour la Présidence de la République », « EAU : énergie renouvelables », 11 juillet 1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1138] SAI du COMES, Yves Lambert, Note pour M. de Wissocq (DG DGEMP), « Coopération avec les pays membres de la Ligue arabe », 25 septembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1139] SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note « Pays arabes du Golfe », 27 novembre 1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.

sont négociés. La plupart concerne les approvisionnements en pétrole et l'industrie chimique dérivée, l'exportation des technologies nucléaires civiles françaises, l'aéronautique civil et les infrastructures électriques[1140]. Parmi eux se trouvent des accords concernant les énergies renouvelables[1141]. Ceux passés avec les EAU dans le domaine de la coopération pétrolière assoient davantage la position de la CFP et sécurisent les approvisionnements français[1142]. Dans le domaine solaire, ils prévoient l'installation du centre de recherche demandé, ainsi que différentes applications thermodynamiques et photovoltaïques de pompage, de dessalement et de génération d'électricité[1143]. Il est symptomatique de constater que ces accords concernant les énergies renouvelables sont signés entre le ministre de l'Industrie française et le ministre du Pétrole et des Ressources minières des EAU[1144]. Quelques mois plus tard, en septembre 1980, le SAI du COMES fait le point sur tous les projets solaires en cours avec les pays de la Ligue arabe, dont ceux de la SOFRETES[1145]. Le rôle des opérations de prestige solaire dans la politique pétrolière française (et dans celles des autres acteurs du système international) n'est pas une supposition, il est parfaitement énoncé dans une note du DG du COMES de novembre 1980 qu'il adresse au DG de la DGEMP. En effet, le COMES demande qu'une partie du financement des projets solaires destinés aux pays du Golfe soient pris en charge par les instruments de la politique pétrolière :

> Il n'y aurait pas lieu d'accepter le principe d'un partage des frais si la France ne se trouvait en face d'une surenchère venant du Japon, pour lequel l'« énergie solaire » est, sous forme de coopération et d'institut de recherche, l'un des atouts de sa politique pétrolière : le Japon souhaite en effet devenir opérateur à part entière dans le Golfe… Il reste cependant probable qu'il faille aller plus loin quant à une participation financière de la France. Par

[1140] Ministère de l'Industrie, cabinet du ministre, Note « préparation de la visite du Président de la République dans le Golfe », Dossiers « coopération par pays », non-datée, Dossier EAU 1975-1982, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 33. Cette note fait le point sur les principales affaires en cours par pays (Koweit, Bahrein, Qatar, E.A.U, Jordanie).
[1141] *Ibid*.
[1142] MAE, « visite présidentielle, accords de coopération France-EAU », télégramme du 7 mars 1980, Dossier EAU 1975-1982, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 33 ; MAE, « Abou Dhabi – Les accords », mars 1980, confidentiel, pp. 9-10, Dossier EAU 1975-1982, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 33 ; Présidence de la République, Communiqué commun à l'occasion de la visite de M. VGE, Président de la République française à l'État des EAU, Dossier EAU 1975-1982, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 33.
[1143] Accord de coopération dans le domaine des énergies renouvelables signé le 6 mars 1980 à Abou Dhabi par M. André Giraud, ministre français de l'Industrie, et M. Oteiba, ministre du Pétrole et des Ressources Minières de l'État des EAU, Dossier EAU 1975-1982, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 33.
[1144] *Ibid*.
[1145] SAI du COMES, Yves Lambert, Note pour M. de Wissocq (DG DGEMP), « Coopération avec les pays membres de la Ligue arabe », 25 septembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.

> conséquent, je vous demande de me faire savoir s'il ne serait pas possible de faire appel aux fonds provenant de la taxe sur les carburants pour le soutien de ces actions dans le Golfe qui relèvent, en majeure partie, de la politique pétrolière française.[1146]

La plupart des demandes des pays arabo-pétroliers du Golfe se réclament donc d'une politique solaire de prestige tout comme la réponse française qui se double d'intérêts économiques sectoriels : des cadeaux solaires en échanges de préférences pétrolières par exemple. En effet, ces pays sont bien équipés en réseau électrique d'origine fossile. La disponibilité de leurs propres réserves de pétrole et de gaz ne les pousse pas à développer d'alternatives, ni à envisager des opérations de démonstration solaire ayant une réelle utilité sociale[1147]. Cet état de fait limite l'industrialisation potentielle des solutions solaires alors expérimentées, voire les empêche puisque ce n'est pas là leur finalité. Au contraire, le solaire sert alors à placer les intérêts sectoriels traditionnels de la grande industrie. Motoristes, pétroliers, atomistes et électromécaniciens sont les principaux actionnaires de la SOFRETES et des PME solaires en générales. Leur présence, leurs motivations et leurs actions sont étudiées plus en détail au chapitre 5. Nous en donnons ici quelques exemples afin d'illustrer plus concrètement le volet intérêt du donateur dans le schéma qui détermine le projet de coopération solaire.

Si des agents de Renault jouent les intermédiaires avec les gouvernements mexicain ou brésilien pour le compte de la SOFRETES, c'est avant tout car le motoriste et constructeur automobile cherche à pénétrer leurs marchés. Il s'agit d'avoir l'opportunité de marchander dans leur secteur d'activité principal grâce à une prise de langue qu'autorise les affaires solaires[1148]. Lorsque Girardier part en Chine, c'est dans le cadre d'une mission commerciale Renault-Berliet dont l'objectif est de vendre des camions. Max Clémot, l'ingénieur rapporteurs d'affaires détaché par le CEA à la SOFRETES, est maintes fois sollicité par Renault pour effectuer certaines rencontres au sommet sous couvert de propositions solaires. Mais à chaque fois, c'est l'occasion d'aborder d'autres sujets pour ses compagnons de mission que sont les agents de Renault ou de CFP-Total. C'est le cas lors d'une rencontre organisée par Renault avec le dictateur

[1146] DG du COMES, Note pour M. le DG de la DGEMP, « Coopération en énergie solaire avec les Pays du Golfe », 27 novembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1147] Compte-rendu de mission aux EAU de Jean Phéline (agent du CEA, conseiller technique à la DEN) le 28 janvier 1978, Dossiers « coopération par pays », Dossier EAU 1975-1982, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 33.
[1148] Entretien avec Francis Hurteau du 27 novembre 2018 ; *Cf. infra* chapitre 5.

Somoza au Nicaragua, où lors d'un voyage d'affaire au Moyen-Orient dans lequel Clémot est embarqué pour une grande tournée du Pakistan à l'Irak[1149]. Un des agents de Renault, qui représente ses intérêts dans les relations commerciales de sa filiale actionnaire des Etablissements Pierre Mengin, est d'origine franco-égyptienne. C'est lui qui va négocier avec les partenaires égyptiens l'accord de coopération solaire qui engage le CEA et l'entreprise nationale d'électricité egyptienne[1150]. En Arabie saoudite, c'est un représentant de Total-Moyen-Orient qui assure le suivi du chantier de la station SOFRETES, et qui sert d'intermédiaire avec les autorités saoudiennes. Au Soudan et au Kenya, la représentation commerciale est assurée par le partenaire pétrolier, Total Nitoc à Khartoum et Total Nairobi[1151]. La CFP-Total poursuit toujours ses objectifs pétroliers quand elle agit au nom de la SOFRETES, cet aspect est parfaitement reconnu par le ministère de l'Industrie (et par le CEA), « la CFP pour qui le solaire reste une vitrine qui présente un certain attrait notamment sur les marchés du Moyen-Orient »[1152]. Pour le CEA ce sont ses attachés nucléaires, présents dans les ambassades, qui facilitent les contacts dans les pays où le CEA est particulièrement actif comme en Iran, au Niger ou en Bolivie[1153]. Les membres du gouvernement français en déplacement à l'étranger procèdent de la même manière. Clémot, alors qu'il est à Caracas pour un salon-exposition des techniques, rencontre le premier ministre Raymond Barre qui, avant sa rencontre avec le gouvernement Vénézuélien, lui demande des précisions sur les offres solaires possibles alors que l'objet de sa visite n'est pas le solaire[1154]. C'est Renault qui est à l'initiative de

[1149] Entretiens avec Max Clémot des 19 juin, 9 novembre, 19 novembre 2018 ; CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010 ; correspondance entre CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul et GIRARDIER Jean-Pierre 2009-2010, archives privées fond BCD (CEA) ; *Cf. infra* chapitre 5.
[1150] Correspondance avec Bernard Devin (CEA), août-septembre 2018 et entretien avec Félix Hurteau, *op. cit*. ; *Cf. infra* chapitre 5.
[1151] Dossier « notes de frais » des employés de la SOFRETES, documentation juridique et comptable de la SOFRETES, archives privées fond usine Mengin ; *Cf. infra* chapitre 5.
[1152] DIMME, « Note sur la SOFRETES », du 11 janvier 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16, p.3 pour la citation ; DIMME, « Note sur la SOFRETES », du 24 novembre 1977, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910397, carton 48, reproduction interdite. Dans un télex de J.C. Gilbert de Total Moyen-Orient à Teboul DG de la SOFRETES et agent du CEA le 30 octobre 1980 le pétrolier met en garde contre le retard pris par le chantier de la centrale de Ryad en Arabie Saoudite qui porte préjudice à l'image de Total. Archives privées, fonds BCD (CEA) ; *Cf. infra* chapitre 5.
[1153] Compte-rendu du Conseil d'administration de la SOFRETES du 23 mars 1978 par exemple, archives privées, fonds BCD (CEA) ; *Cf. infra* chapitre 5.
[1154] Entretiens avec Max Clémot des 19 juin, 9 novembre, 19 novembre 2018 ; CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010 ; correspondance entre CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul et GIRARDIER Jean-Pierre 2009-2010, archives privées fonds BCD (CEA) ; *Cf. infra* chapitre 5.

la présence de la SOFRETES à cette exposition « *Francia* ». En 1977, Renault produit un film de promotion en trois langues (français, anglais et espagnol) de son catalogue solaire avec l'aide du MAE et du ministère de la Coopération, afin d'accompagner sa prospection auprès des gouvernements étrangers[1155].

Cette utilisation du solaire comme vecteur dans les relations internationales est confirmée par la position des États-Unis d'Amérique : « les autorités fédérales s'apprêtent à incorporer les énergies renouvelables dans l'attirail des instruments de leur diplomatie… L'énergie solaire devient un instrument de la politique étrangère des États-Unis. »[1156] Non seulement les États-Unis d'Amérique s'en servent aussi, mais ils veillent sur ce qu'en font les autres. Ils sont au courant des affaires de la SOFRETES au Mexique et ailleurs, ainsi que de la politique publique solaire française et de ses actions à l'étranger. Sans doute car l'US AID, l'agence nationale américaine pour le développement, est le partenaire financier des gouvernements français et sénégalais dans le cadre de la centrale solaire que la SOFRETES installe avec *Thermo Electron Corporation* à Bakel sur le fleuve Sénégal, mais surtout en raison d'un dispositif de veille solaire.

Le solaire est présent dans les *diplomatic cables* du gouvernement des États-Unis d'Amérique révélés par *Wikileaks*. Il s'agit principalement de la correspondance diplomatique entre le Département d'État à Washington et ses ambassades à travers le monde (et entre celles-ci). Nous avons identifié 1707 occurrences « *solar power* » dans les *Kissinger cables* (1973-1976) et les *Carter cables* (1977-1979) [1157].

L'énergie solaire occupe, en première lecture, une place mineure, quantitativement anecdotique, noyée dans des millions de messages. Nonobstant, ce constat statistique est remarquable. Si le solaire peut sembler une préoccupation marginale dans les affaires du Département d'État américain au regard, non pas des enjeux qu'il soulèvent, car les implications du choix ou du non-choix solaire sont sévères, mais plutôt aux processus du temps court de la décision qu'impliquent la fin de Guerre du Vietnam, l'approvisionnement en pétrole, les intrigues de palais d'un monde bipolaire,

[1155] Dossier COFACE déposé par SOFRETES-Mengin-Renault Moteurs Développement le 18 mai 1977 pour une demande d'assurance prospection à l'étranger de 1976 à 1982, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1156] SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note pour le ministère de l'Industrie et pour Monsieur de Wissocq (DG DGEMP), « USA programme solaire », 30 mai 1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.
[1157]https://wikileaks.org/plusd/?qproject[]=ps&qproject[]=cg&qproject[]=cc&qproject[]=fp&qproject[]=ee&q=&qfconcept=SOLAR+POWER#result

et les relations à l'atome militaire et civil, le solaire est cependant bien inscrit aux affaires courantes des relations internationales à défaut de l'être à l'agenda. Nous pourrions même nous en étonner tant il est d'usage de considérer les applications de l'énergie solaire comme une question de possibles techniciens et pas du tout comme une entrée politique aux relations internationales. D'ailleurs, la rareté relative des alertes solaires diplomatiques peut également être reconsidérée puisque restreindre l'attention portée à une alternative technique permet d'en écarter le choix, d'en nier l'intérêt, d'occulter des contestations, d'affirmer l'évidence intrinsèque de son inefficience, et le caractère inéluctable de sa relégation à un futur proche.

Cette source diplomatique propose donc une entrée originale dans l'existence politique du solaire. Elle nous permet de recouper des informations sur certains individus, certaines institutions et relations gouvernementales, certaines négociations commerciales, qui apparaissent dans les dossiers mexicains, iraniens, et saoudiens de la SOFRETES, pour ne citer que ceux des plus stratégiques.

Dans les *Solar cables*, les ambassades y informent l'administration centrale des programmes solaires de recherche et de démonstration, des grands congrès scientifiques et techniques, des visites sur les terrains d'expérimentation (expertises, échanges), des négociations commerciales solaires (thermodynamique et photovoltaïque), et des mesures de politique publique (mise en administration du solaire, mesures incitatives, éléments de discours), en cours dans leurs pays de résidence et dans leurs régions d'ancrage, ainsi qu'avec l'URSS et au sein de l'OTAN. Ces relations internationales solaires concernent aussi bien des alliés traditionnels (France, Israël, OTAN), qu'une clientèle stratégique (Mexique, Arabie Saoudite, Japon, Iran), ainsi que le bloc de l'Est et l'URSS.

Sur cette période (1973-1979), la SOFRETES est particulièrement active dans ces relations internationales. L'entreprise et ses réalisations apparaissent directement et indirectement dans cette correspondance. Le solaire français y est présent en tant qu'offre technologique à l'export (là où la SOFRETES installe ses pompes solaires : Mexique, Afrique francophone, Iran, Arabie Saoudite, etc.), ainsi qu'en terme de politique publique à travers la création du programme de recherche national solaire au CNRS (le PIRDES) en 1975, de l'administration de mission COMES en 1978, et des éléments de langage solaires du ministre de l'Industrie André Giraud qui l'accompagne (notamment en 1979). Nous nous intéressons donc surtout à ces *Solar cables* qui concernent les régions du

monde dans lesquelles la SOFRETES est présente, ainsi qu'au suivi US des affaires solaires françaises intérieures et extérieures. En effet, à travers ces 1707 *Solar cables*, c'est de la veille solaire géopolitique des États-Unis dont il est question. Or, les actions solaires françaises y sont particulièrement représentées.

L'existence diplomatique de *Solar cables* affirme la nature profondément politique des enjeux technico-commerciaux liées aux applications de l'énergie solaire. Les affaires solaires sont bien internationales et stratégiques, et le gouvernement des États-Unis s'assure du suivi des dossiers solaires français.

La question de savoir si l'objet technique fonctionne convenablement pour satisfaire les besoins des populations concernées n'est pas centrale, ni même controversée. D'ailleurs, le contenu des télégrammes ne laisse en rien entendre que les technologies dont il est question seraient susceptibles de ne pas fonctionner. Le solaire est ici un instrument au service du politique.

Tableau 4 : répartition géographique des principaux *solar cables* de la base de données *Wikileaks*

PAYS	PERIODE	*SOLAR CABLES* (Depuis/vers)
France	1973-1979	104 / 137
Mexique	1973-1978	38 / 35
Iran	1974-1977	37 / 40
Arabie Saoudite	1973-1978	38 / 64
Sénégal	1974-1979	5 / 11
Mauritanie	1976-1978	6 / 3
Niger	1974-1978	3 / 9
Brésil	1975-1979	14 / 34
Burkina-Faso	1974	1
Mali	1978	1
Égypte	1974-1977	38 / 51
Cameroun	1976-1978	1 / 9
Soudan	1974-1976	7 / 4
EAU	1976-1978	6 / 8
Kenya	1976-1978	2 / 7
Algérie	1977-1979	2 / 2
Irak	1978-1979	4 / 3
Israël	1974-1978	33 / 57
Japon	1973-1975	62 / 41
Koweït	1974-1978	2 / 14
Madagascar	1976	1
Australie	1973-1975	53 / 75

Canada	1974-1979	11 / 29
Chine (Hong Kong)	1978	1
US mission to European Union	1976-1978	10
Allemagne	1974-1977	34 / 90
Inde	1974-1978	59 / 39
Italie	1974-1975	111 / 117
Japon	1973-1975	62 / 41
OTAN	1973-1976	49
OCDE	1974-1977	10 / 28
Qatar	1979	2
Moscou	1973-1979	62 / 56
Corée du Sud	1978-1979	10 / 2
Espagne	1974-1979	38 / 75
Tanzanie	1978	1
Turquie	1974-1978	10 / 49
Venezuela	1975-1979	10 / 2
Yémen	1979	2

Le *US Department Of Energy* (DOE) crée en avril 1978 un *International solar commercialization working group* (ISCWG) dont la mission est de parcourir les pays du tiers-monde pour commercialiser les technologies solaires américaines là où les gouvernements en manifestaient la demande[1158]. Les *Solar cables* relayent les déplacements du *ISCWG* dont l'objectif affiché est de placer l'offre commerciale solaire US par rapport à celle de ses concurrents. On observe que là où la SOFRETES développe ses projets phares, comme au Mexique, en Iran et en Arabie Saoudite, le *ISCWG* organise des visites de promotion, tout comme il le fait dans toute l'Afrique de l'Ouest francophone : Sénégal, Mali, Niger, Mauritanie, Burkina Faso, pour ne citer que les principaux États clients de la SOFRETES. Le cas des pays exportateurs de pétrole qui lancent un programme solaire est symptomatique car le gouvernement des États-Unis y met en œuvre des programmes de coopération solaire parallèles au français.

Les *Solar cables* se font également l'écho des nombreuses actions internationales de communication solaire qui sont entreprises sous l'impulsion des États-Unis lors de réunions d'experts diligentées par le *Committee on the Challenges of Modern Society of NATO* (CCMS), dans le cadre du *CCMS Solar Energy Pilot Study* de 1973 à 1978, dont l'objectif est d'encourager la diffusion du chauffage et de la climatisation solaire des

[1158] *Solar Energy Commercialization for Middle East Country*, DOE, 1978, p. 11 et https://wikileaks.org/plusd/cables/1978STATE295990_d.html

locaux[1159]. Des travaux récents d'historiens démontrent que la création et l'animation du *CCMS* répondent en fait à des objectifs politiques de mise à jour des relations publiques de l'OTAN, et d'élargissement de son rayonnement et de ses prérogatives, recouverts par une rhétorique environnementaliste[1160]. Dans ces circonstances, le *CCMS Solar Energy Pilot Study* apparaît comme un instrument de politique étrangère utilisé à des fins éloignées de la satisfaction des besoins quotidiens des citoyens grâce aux applications de la conversion de la chaleur solaire. En d'autres termes, le *CCMS Solar Energy Pilot Study* n'a de solaire que son nom. Il pourrait même avoir été néfaste au développement réel du solaire puisqu'il en fait un élément de discours international censé fédérer alors que le manque de volonté politique le disqualifie par le rapide abandon des prétendus programmes de recherche dont l'unique vertue est finalement d'avoir été annoncés. La France et le Danemark sont les co-pilotes des États-Unis à la tête du *CCMS Solar Energy Pilot Study[1161]*. La géographie des participants se dessinent dans les *Solar cables* où l'on retrouve entre autres le Mexique, l'Iran, et L'Arabie Saoudite. En dernière analyse, le *CCMS Solar Energy Pilot Study* nous semble bien renseigner l'existence politique du solaire en illustrant son instrumentalisation diplomatique.

Dans les pays du tiers-monde, les affaires de la SOFRETES en particulier et les opérations solaires de démonstration en général représentent donc des opportunités croisées multiples pour tout le système d'acteurs impliqués : la PME, les gouvernements, certains décideurs et administrateurs, les groupes industriels actionnaires, mais finalement bien peu pour les populations locales puisque les installations ne concernent que quelques milliers d'usagers dans le monde sur une période très courte et qu'elles ne

[1159] MORSE Frederick H. et ROSE Ingrid B., « CCMS Solar Energy Pilot Study », *Solar Energy*, Volume 18, Issue 4, 1976, pp. 273-280.
[1160] RISSO, Linda, « NATO and the Environment : The Committee on the Challenges of Modern Society », *Contemporary European History*, Volume 25, August 2016, pp. 505-535 : « *Launched with considerable fanfare in 1969, the Committee on the Challenges of Modern Society (CCMS) was supposed to bring new life to NATO by both re-energising public support and engaging with a variety of themes, issues and partners well beyond the alliance's traditional scope. The first aim of this article is to go beyond the careful media operation that surrounded the launch of the CCMS and to examine the scepticism and resistance of some European partners, particularly the British. The second aim is to demonstrate that NATO started to think in terms of crisis management, disaster relief and environmental disasters well before 1989. The sheer military strength of the alliance and of its partners did remain central – and notably came back to the forefront in 1979 – but the alliance did start to see itself as a geopolitical player and to consider engagement beyond its strictly defined geographical area as early as 1969.* »
[1161] DOE, *CCMS Solar Energy Pilot Study, First Follow-Up Report, October 1979,* January 1980.

font l'objet d'aucune maintenance, ni industrialisation. Cela s'explique par le fait que pour la partie française, l'action publique solaire relève de la politique étrangère dans son volet rayonnement et non de la politique de l'énergie au sens industriel, et que du point de vue du gouvernement client, elle relève d'opérations politiques de séduction des masses.

Au manque de volonté politique de développer des solutions sociotechniques solaires et à la stratégie de séduction politique à laquelle sont inféodés la machine et son promoteur, s'ajoutent d'autres contraintes pour la SOFRETES qui participent sur le long terme à la disparition de l'entreprise et de l'objet technique.

3. Des contraintes

Les opportunités qui portent la phase d'effervescence (1973-1979) de la SOFRETES génèrent paradoxalement leurs propres contraintes.

D'abord en interne, car la société est de peu de moyens et son capital humain est un ensemble composite qui manque de cohérence par rapport à son objet.

Cependant, les difficultés rencontrées par la SOFRETES et sa proposition sociotechnique sont surtout liées aux terrains des opérations, aux postures des commanditaires et des bailleurs, à l'existence de plusieurs types de concurrences et à la mise en place d'un cadre juridique international de l'énergie solaire contraignant.

Il s'agit alors d'externalités négatives qui se cumulent dès la phase de croissance à un déficit de capacité de réponse interne. Ces contraintes sont connues des pouvoirs publics qui en sont pour partie responsables puisqu'ils organisent le système d'acteurs et de règles dans lequel le solaire et la SOFRETES existent.

3.1 Des contraintes internes

Jusqu'en 1978, les commandes affluent tous azimuts et la société n'est pas en mesure de toutes les satisfaire, ni d'ailleurs de mener à bien toutes ses idées de projets[1162].

[1162] Les notes de frais occasionnées par les voyages d'affaires des ingénieurs-commerciaux de la SOFRETES nous renseignent sur la fréquence de leurs déplacements, sur la multiplicité de leurs destinations dans le monde et sur les charges qu'ils représentent pour l'entreprise. Ces documents comptables permettent de mesurer l'intensité des sollicitations étrangères et des démarchages commerciaux

Le manque de trésorerie, la faiblesse des capitaux disponibles, les limites de l'outil industriel et commercial, et les faibles effectifs d'une main d'œuvre aux origines très diverses, l'en empêchent.

À son apogée, pour l'année 1978, 36 MF de commandes sont enregistrées sur les six premiers mois de l'année mais « en raison de la limitation des moyens de la SOFRETES, 15,8 MF seulement pourront être facturés en 1978 »[1163]. La réponse industrielle n'assure donc même pas la moitié des possibles commerciaux. L'entreprise compte alors quarante-quatre salariés, et les effectifs de la maison mère, les Etablissements Pierre Mengin (le bureau d'étude et l'usine auxquels la SOFRETES sous-traite), cent vingt-sept employés. Cette main d'œuvre est essentiellement active en France métropolitaine. Les affaires sont menées dans la précipitation par une équipe qui essaye de pallier les dysfonctionnements, notamment le fait que l'aspect commercial prend le dessus sur les activités de R&D et de production qui peinent à suivre car les ingénieurs d'études sont par la force des choses amenés à remplir des fonctions de chargés d'affaires[1164].

Le principal problème vient du suivi des installations sur le terrain qui requièrt la présence d'une main d'œuvre expatriée dès l'étape du montage mais aussi lors de la mise en route, puis des activités de maintenance pendant la période de garantie. C'est d'autant plus nécessaire dans le cas des stations mixtes de moyennes puissances (pompage, électricité, irrigation, froid) qui sont toutes des prototypes. A San Luiz de la Paz au Mexique, par exemple, un technicien-monteur reste deux ans sur place (1975-1977). Le coût de cette présence, encore plus lorsqu'il s'agit d'un ingénieur dont le salaire est beaucoup plus élevé que celui d'un technicien-monteur, occasionne des dépassements considérables par rapport au budget initialement prévu par chaque contrat. La PME ne dispose pas de moyens financiers suffisants pour entretenir l'équipe dont elle a besoin à l'international. Elle n'a ni réseau commercial, ni personnel de maintenance sur place.

Aussi cherche-t-elle dans l'urgence des solutions auprès des pouvoirs publics et

---

de la PME, ainsi que les relais locaux utilisés, telles les succursales ou les filiales des grands groupes actionnaires présents sur place à travers leurs réseaux de distribution par exemple. Archives privées fonds usine Mengin, cartons « notes de frais – déplacements », identifiés par employé, notamment le dossier de Max Clémot, l'ingénieur rapporteur d'affaires, détaché à la SOFRETES par le CEA à partir de 1974.

[1163] Procès-verbal du Conseil d'administration de la SOFRETES du 1er juin 1978, archives privées, fonds BCD (CEA).

[1164] Lettre de Max Clémot et Jean-Paul Durand à Pierre Jacquard (CEA) du 13 avril 1979, archives privées, fonds BCD (CEA).

de ses partenaires industriels. Le MAE met régulièrement sur la période de jeunes ingénieurs du Service national (des VSNA) à sa disposition pour des missions géographiques de courtes durées[1165]. Si cela permet de pallier au plus pressé, cette solution participe plutôt, sur le moyen terme, à entretenir la précarité de la main d'œuvre et le besoin de solution alternative à l'embauche. Cette dernière est telle que la société recherche sur place, au cas par cas, des expatriés d'horizons variés, qui peuvent servir de relais locaux en « donnant la main » pour telle ou telle tâche, comme la réception des caisses de matériel au port, leur acheminement en camion sur site, le montage des stations elles-mêmes, etc. Au Tchad par exemple, c'est un « aventurier d'affaires » expatrié, que Girardier embauche à la tâche pour assurer le suivi sur place[1166].

Le CEA détache à la SOFRETES, de 1974 à 1980-1981, deux ingénieurs qui jouent un rôle très important. L'un est responsable technique des installations de moyennes puissances (Jean-Paul Durand) et l'autre est ingénieur commercial rapporteur d'affaires (Max Clémot). La Régie Renault fait de même (de 1975 à 1977) pour participer aux recherches sur les moteurs et les capteurs au sein des Etablissements Pierre Mengin. D'autres personnels de Renault, de CFP-Total et du CEA interviennent en tant que personnes ressources dans les affaires de la SOFRETES à l'étranger, car ces dernières bénéficient d'un réseau commercial à l'export bien implanté, contrairement à la SOFRETES.

Les rôles d'intermédiaires de ces agents doubles (Renault-SOFRETES, CEA-SOFRETES, Total-SOFRETES) sont des éléments à bien prendre en considération dans l'analyse des relations solaires qui s'établissent avec les gouvernements étrangers clients de la SOFRETES. Les effets de leurs actions sont à interpréter au prisme de leurs

[1165] Cartons « notes de frais – déplacements », identifiés par employés, notamment les VSNA comme Hervé Méhu, archives privées fonds usine Mengin ; Liste manuscrite des VSNA affectés aux opérations ENR par Pays, pochette « Projet de développement des énergies solaires par pays, 1980 », Dossier « Énergies solaires et renouvelables », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 6 ; SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, « Note pour M. Durand – KENYA », 11 mars 1980, répertoire 20050139, carton 42. Par exemple, dans cette note, le SAI prévient le Président du COMES de la grande vulnérabilité du suivi des installations de démonstration SOFRETES une fois le VSNA parti. Il alerte également sur la charge trop importante qu'il représente pour l'enveloppe de coopération des ambassades. Lire aussi l'intervention de F. BERTIN, chargé de mission au MAE, qui présente le rôle du MAE en matière de coopération scientifique et technique, et la politique du MAE dans le domaine de l'énergie solaire à Cargèse en 1977. CHASSAGNE G., DUPUY C., LEVY M (dir.), *Énergie solaire, conversion et applications*, Institut d'Études scientifiques de Cargèse 19 juin – 2 juillet 1977, Paris, CNRS, 1978, pp. 829-830.

[1166] Entretiens avec Djelal Nerguti en août 2020.

objectifs, c'est-à-dire, ceux de leurs entreprises d'attache, et ceux qui leur sont assignés au nom de la SOFRETES. Il faut donc bien distinguer les travailleurs employés directement par la SOFRETES, de ceux qui lui sont temporairement alloués. Or, il apparaît que ces derniers occupent des postes dans la R&D, dans l'administration de l'entreprise (un Directeur général en 1978 précédemment employé par Alsthom), et dans la gestion de ses affaires à l'étranger au contact des gouvernements clients. Ils sont également actifs sur le terrain des chantiers, au contact des populations locales.

C'est donc une configuration très particulière du capital humain qui fait fonctionner le système d'acteurs interne de la SOFRETES, qui se caractérise par de multiples tutelles et autant de liens de dépendances, qui ne sont peut-être pas exempts de conflits d'intérêts et de rapports de forces.

A l'échelle interne, la modeste PME apparaît comme un espace de positions, réceptacle d'acteurs d'horizons lointains, qui l'animent en réaction à des externalités elles-mêmes complexes et pas forcément synchrones. Aussi, il n'est pas certain que l'entreprise, en tant qu'entité administrative, soit cohérente par rapport à son objet et aux activités qu'elle doit mener sur le terrain. Il semble qu'elle soit plutôt un nœud de forces centrifuges, et qu'en l'état, cette configuration desserve plutôt le projet sociotechnique de son fondateur (*cf. infra* chapitre 5). D'ailleurs, la situation s'envenime à partir de 1979 car les effectifs diminuent en raison de démissions (des ingénieurs chef de projet par exemple) et de restructurations (notamment de la Direction), et bien que les commandes cessent, l'entreprise doit honorer les contrats en cours qui prennent de plus en plus de retard. Pourtant la DIMME préconise, dans un premier temps, de soutenir le plan de développement à 5 ans que la SOFRETES lui remet pour la période 1978-1982, et qui prévoit un besoin en capital d'au moins 30-35 MF supplémentaires pour satisfaire sa croissance[1167]. Une demande de financement des besoins liée à l'augmentation nécessaire du capital, qui est réitérée par le CEA en 1979 auprès du ministre de l'Industrie mais qui reste lettre morte[1168].

Les capitaux manquants ne sont donc par abondés par les pouvoirs publics, actionnaires majoritaires de la SOFRETES, alors que les commandes sont bel et bien là.

[1167] *Cf. infra* chapitre 4.

[1168] Rapport du CEA au ministre de l'Industrie sur les activités solaire du CEA dans de cadre la diversification au CEA, 12 janvier 1979, « Dossier d'information au ministre » dans le dossier du Conseil des ministres du 26 juin 1979, Archives nationales, répertoire 19880199, carton 5.

Il ne s'agit donc pas d'une prise de risques qui pourrait se justifier par rapport à une incertitude de marché.

La multiplication des chantiers ouverts, le plus souvent dans des régions du monde déshéritées et difficiles d'accès, confronte la société à des aléas qui chamboulent régulièrement le calendrier général, occasionnant de nombreux retards dans la fabrication, l'expédition, le montage, et pour finir dans la mise en route des stations. Le fait que la PME ne possède ni réseau commercial à l'étranger, ni personnel de montage et de maintenance disponible sur place, et surtout que les parties génie civil, exploitation et entretien des installations demeurent du ressort du bénéficiaire (un État du tiers-monde), pose de nombreux problèmes de gestion et de suivi de chaque installation, voire de leur survie au-delà de quelques mois ou de quelques années. Des pannes qui ne sont pas solutionnées à moyen terme se muent en abandon définitif par manque de moyens et de volonté.

L'éloignement géographique des sites et des clients est un aspect extrêmement important à prendre en compte dans l'analyse des dossiers solaires par pays et dans l'évaluation de leurs dysfonctionnements. Il faut bien saisir que cette configuration de vente subventionnée à l'export revient, à l'époque, à installer des prototypes (le stade de présérie n'est pas acté, c'est justement le souci majeur) à des milliers de kilomètres de l'usine et du bureau d'étude, en les confiant à des gouvernements le plus souvent exsangues et ayant eux-mêmes bien des difficultés à gouverner et à organiser leurs marges territoriales. L'entreprise doit alors très souvent prendre à sa charge des déplacements, des séjours techniques et des expéditions de pièces détachées non prévus dans le contrat initial, ce qui fragilise son équilibre financier et atteste du poids que représente l'éloignement du terrain dans la viabilité des projets.

Au bout de cette chaîne humaine se retrouvent autour d'une machine des populations parmi les plus démunies de la planète.

3.2 Des terrains difficiles

L'acheminement et le montage du matériel sur les sites isolés est déjà en soi un défi, comme nous l'avons plus particulièrement montré pour les opérations Chinguetti (*cf. supra* chapitre 2) et Diré[1169], en raison de l'absence d'infrastructure de communication, de la distance et des conditions géographiques (aridité, érosion éolienne, sable, etc.). Le moindre bris empêche le montage et occasionne des délais de remplacement très longs du fait de l'absence d'outillage et de pièces industrielles de rechange sur place, ou tout simplement l'arrêt pur et simple de la machine qui s'abîme alors très vite. Au Kenya, la pompe Wajir, inaugurée en février 1978, tombe en panne et le VSNA du MAE, Hervé Méhu, qui assure son suivi technique, se retrouve dans l'impossibilité matérielle de réparer rapidement. Ce sont ses parents, alors venus le visiter, qui lui apportent les pièces de rechange remises par la SOFRETES ! Les problèmes ne sont pas pour autant réglés puisqu'il ne parvient pas à trouver un moyen de transport pour se rendre sur le site[1170]. Autre exemple en Mauritanie, le transport des matériaux pour la station solaire-éolienne d'Iwik, dans le Parc national du Banc d'Arguin, est compliquée. L'eau douce et le ciment doivent être acheminés ensemble car sur place il n'y a que de l'eau de mer[1171]. Or pendant le trajet, l'eau se mélange au ciment, ce qui suspend le chantier (retard, coût supplémentaire, etc.)[1172]. Le cas d'Iwik permet d'illustrer la complexité des difficultés inhérentes au terrain des opérations de la plupart des chantiers SOFRETES. A l'éloignement des sites s'ajoutent les effets destructeurs sur les

[1169] MOUTHON, Alexandre, *op. cit*., 2020, pp. 75-76.
[1170] Lettre de Méhu à SOFRETES du 8 janvier 1980, Cartons « notes de frais – déplacements », identifiés par employés, carton « Hervé Méhu », archives privées fonds usine Mengin.
[1171] ARES, FAC ministère de la Coopération et du développement, *Étude préliminaire à la remise en état de la station de production d'énergie et d'eau douce du parc du Banc d'Arguin en République islamique de Mauritanie*, « Le problème de l'eau douce au Banc d'Arguin », mars 1982, p. 43, Archives nationales, ministère de la Coopération, dossier IWIK Mauritanie 1978-1982, répertoire 19930442, carton 156.
[1172] Entretiens avec Djelal Nerguti en août 2020 ; Lettre de M. Vergnet (SOFRETES) à M. Lambert (ministère de la Coopération) du 23 octobre 1979, Archives nationales, ministère de la Coopération, dossier IWIK Mauritanie 1978-1982, répertoire 19930442, carton 156. Dans cette lettre, Vergnet demande au ministère de bien vouloir prendre en charge des frais supplémentaires en raison d'aléas liés au génie civil et au transport. En 1982, des travaux de réfection sont prévus à Iwik. Le cimentier Lafarge, qui est sollicité comme fournisseur, rétorque qu'il ne peut pas aisément livrer les matériaux par le port de Nouadibou et qu'il convient plutôt d'acheter du ciment « Prise Mer » à une société sénégalaise habituée à livrer ce type de ciment dans des lieux reculés et difficiles d'accès. Lettre de M. Cazaux (Ciments Lafarge France) à M. Divet (ARES) du 4 mars 1982, Archives nationales, ministère de la Coopération, dossier IWIK Mauritanie 1978-1982, répertoire 19930442, carton 156.

machines des conditions naturelles extrêmes[1173], ainsi que des aléas humains et d'autres éléments perturbateurs d'ordre sociopolitique par exemple.

En 1976, l'État mauritanien crée sur une proposition de Théodore Monod le Parc national du Banc d'Arguin. Il s'agit d'une région côtière désertique aux eaux très poissonneuses qui a joué un rôle d'escale dans la circulation maritime mondiale autour de l'Afrique dès les grandes explorations du XV^e^ siècle. Le lieu est célèbre. Il fait partie des marqueurs territoriaux emblématiques des rapports entre l'Europe et l'Afrique, entre la France et son ancienne colonie. C'est là où s'échoue au XIX^e^ siècle la frégate La Méduse[1174]. En 1977, il est décidé de construire un complexe autonome en eau et en énergie pour les futures missions scientifiques du Parc[1175]. Il n'y a aucun puits[1176]. L'éolienne Aérowatt (filiale du CEA dont la SOFRETES est actionnaire) produit l'électricité qui est stockée dans des batteries et un dispositif de capteurs plans (capteurs SOLEFIL) permet d'obtenir de l'eau douce par évaporation directe[1177]. Djelal Nerguti, technicien de la SOFRETES (qui est le maître d'œuvre), monte la station. Il est en contact radio avec la MIFERMA, qui dispose d'un petit avion en cas de problème (*cf. supra* chapitre 2). Il est victime d'un accident qui arrête le chantier et repousse son terme[1178]. Comme le reconnaît le ministère de la Coopération : « chantier particulièrement difficile et très isolé dont le moindre incident prend des proportions catastrophiques »[1179].

[1173] Le rapport d'expertise du cabinet indépendant ARES montre bien les conséquences désastreuses de l'agressivité des éléments naturels sur une installation dont le suivi fait défaut et qui n'est d'ailleurs pas exempte de malfaçons. ARES, FAC ministère de la Coopération et du développement, *Étude préliminaire à la remise en état de la station de production d'énergie et d'eau douce du parc du Banc d'Arguin en République islamique de Mauritanie*, mars 1982, Archives nationales, ministère de la Coopération, dossier IWIK Mauritanie 1978-1982, répertoire 19930442, carton 156.

[1174] Ministère de la culture des postes et des télécommunications de la République islamique de Mauritanie, « communication en conseil des ministres relative au projet : recherche de l'épave de la frégate La Méduse », 29 octobre 1980, Archives nationales, ministère de la Coopération, dossier IWIK Mauritanie 1978-1982, répertoire 19930442, carton 156.

[1175] Convention de financement FAC France-Mauritanie 8/C/DCT/78/MAU signée le 14 juin 1978, Archives nationales, ministère de la Coopération, dossier IWIK Mauritanie 1978-1982, répertoire 19930442, carton 156 ; Projet 55/CD/78/VI/MAU/11, Rapport pour la Mission Coopération Française – Nouakchott, Ministère Coopération et Développement – Paris, Objet : fonctionnement de la base de vie autonome du PNBA Station d'Iwik, aout 1981, dossier Mauritanie, pochette Banc d'Arguin, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 18.

[1176] ARES, FAC ministère de la Coopération et du développement, *Étude préliminaire à la remise en état de la station de production d'énergie et d'eau douce du parc du Banc d'Arguin en République islamique de Mauritanie*, « Le problème de l'eau douce au Banc d'Arguin », mars 1982, p. 43, Archives nationales, ministère de la Coopération, dossier IWIK Mauritanie 1978-1982, répertoire 19930442, carton 156.

[1177] SOFRETES, « Etude des moyens à mettre en œuvre pour la station de recherche de Iwik », étude n°378/5, 4 septembre 1978.

[1178] *Ibid*.

[1179] *Ibid*.

Le village de pêcheurs d'Iwik est proche. Les habitants sont des Imraguens. Un peuple soumis aux Maures qui exercent sur eux un rapport de force qui leur est défavorable. En effet, Nerguti témoigne que le village est approvisionné en eau potable par des Maures qui l'apportent en camion depuis un puits situé bien trop loin pour être atteint à pied (40 km). Ils échangent l'eau contre le poisson qu'ils revendent. La présence de la station vient déstabiliser ces rapports de domination fondés sur l'approvisionnement en eau. Dans un document manuscrit du ministère de la Coopération qui fait le point sur l'évolution de la station, on peut lire : « il est bon qu'une extension soit prévue pour l'alimentation en eau des Imraguens »[1180]. Un autre rapport précise que la station devient le seul point d'eau douce dans un rayon très important et qu'elle a rapidement induit, pendant sa courte phase de fonctionnement, un tropisme ayant pour conséquence des déplacements de populations, pérennes et occasionnels. Elle vient « bouleverser l'équilibre de densités actuelles de population, avec comme conséquences des problèmes sociologiques, alimentaires, etc. »[1181]. Elle n'est donc pas forcément bien intégrée dans les relations entre groupes sociaux qui structurent ce territoire ce qui ne lui assure pas d'être entretenue et maintenue en état de fonctionnement. D'autres documents du ministère de la Coopération expliquent que les dysfonctionnements de la station ne sont pas à imputer à la SOFRETES mais qu'ils s'expliquent par des retards et des malfaçons des sous-traitants[1182].

Des difficultés liées à des événements et au contexte politique local ou régional peuvent impacter le bon déroulement des chantiers et la pérennité des installations sur ces terrains particulièrement durs. En janvier 1978, un ingénieur de la SOFRETES présent au Kenya pour la mise en route de la pompe Wajir est embarqué par Renault pour un voyage commercial en Tanzanie et au Soudan où des projets sont à l'étude[1183]. En Tanzanie sévit une épidémie de choléra qui rend les déplacements très difficiles. Le projet tanzanien

[1180] Note manuscrite « Banc d'Arguin », 1981-1982 (?), dossier Mauritanie, pochette Banc d'Arguin, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 18.
[1181] ARES, FAC ministère de la Coopération et du développement, *Étude préliminaire à la remise en état de la station de production d'énergie et d'eau douce du parc du Banc d'Arguin en République islamique de Mauritanie*, « Le problème de l'eau douce au Banc d'Arguin », mars 1982, p. 43, Archives nationales, ministère de la Coopération, dossier IWIK Mauritanie 1978-1982, répertoire 19930442, carton 156.
[1182] Projet 55/CD/78/VI/MAU/11, Rapport pour la Mission Coopération Française – Nouakchott, Ministère Coopération et Développement – Paris, Objet : fonctionnement de la base de vie autonome du PNBA Station d'Iwik, aout 1981, p. 17, dossier Mauritanie, pochette Banc d'Arguin, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 18.
[1183] Télex du 23 janvier 1978, « Bilan retour Tanzanie », Cartons « notes de frais – déplacements », identifiés par employés, carton « Facture Losada », archives privées fonds usine Mengin.

prévoit l'installation d'une pompe solaire dans la vallée du Rift sur un site dont les caractéristiques vont poser des problèmes de génie civil et grandement contrarier sa faisabilité. Cependant, malgré une étude technique aux conclusions sans ambiguïté, il semble impossible de faire changer d'avis les autorités car ce choix est motivé « pour des raisons humanitaires et décision du parti »[1184]. La mission fait également face à des obstacles diplomatiques conjoncturels au niveau de la frontière avec le Soudan : « déplacement sur Khartoum impossible maintenant à moins de causer un incident diplomatique (Renault, Total, Ambassade, Water Development) sont contre. »[1185] De nombreux exemples confirment le rôle néfaste que jouent les conditions rencontrées sur le terrain des opérations. Nous avons mentionné précédemment la destruction de la pompe d'Ati au Tchad lors d'affrontements impliquant l'armée française. Dans ce pays, le projet d'une station mixte pour le marché à bétail de N'Djamena (pompage, électricité, réfrigération, eau distillée, chauffe-eau, stockage) est stoppé en 1979 en raison de l'instabilité alors que le matériel nécessaire à son édification est stocké au Cameroun et que le génie civil est réalisé à environ 60 %[1186]. Le ministère de la Coopération avertit la SOFRETES et le COMES qu'il convient d'attendre la normalisation de la situation, voire de modifier en cours de route le choix du site[1187].

Dans ces conditions, comment peut-on évaluer le succès ou l'insuccès de telles opérations de démonstration sur des critères purement techniciens ? Choisir cette posture revient non seulement à complétement nier la réalité, mais aussi à écarter la nature profondément politique de l'opération solaire.

Nous constatons à travers ces quelques exemples de terrain la multiplicité des aléas et des incertitudes, parfois extrêmes, qui contribuent à fragiliser des réalisations de démonstration installées particulièrement loin de leur lieu de conception et de fabrication dans des conditions qui nécessitent des réajustements constants pour lesquels la PME n'est pas faite. Cela nous renseigne également sur un point crucial : l'opération solaire

---

[1184] *Ibid*.
[1185] *Ibid*.
[1186] Lettre de Pierre Dufour (SOFRETES) au ministère de la Coopération du 6 septembre 1979, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19840224, carton 6 « Énergies nouvelles au Tchad » ; Dossier « Présentation technique du projet N'Djamena », 29 juin 1978, dans, Contrat FAC, avenant n°2 du 9 novembre 1978 au marché 88/M/77/TCH : « fourniture et mise en fonctionnement d'une station de pompage solaire de type TS 5 pour le marché à bétail de N'Djamena (Tchad) », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19840224, carton 6 « Énergies nouvelles au Tchad ».
[1187] Lettre du ministère de la Coopération à la SOFRETES et au COMES du 3 octobre 1979, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19840224, carton 6 « Énergies nouvelles au Tchad ».

dont il est question est bien avant tout dépendante de l'action publique. Celle des autorités françaises impliquées dans l'aide et celles de leurs homologues étrangers receveurs.

3.3 Des gouvernements clients peu impliqués et des populations pauvres

Les gouvernements clients et leurs administrations ont une responsabilité importante car ils sont censés accompagner le montage de chaque station de pompage solaire, puis organiser son exploitation. Cela sous-entend qu'elle est prévue en amont et en aval de sa mise en route. Ce qui implique une organisation réglementaire, sociale et technique. Le protocole vertueux devrait passer par le choix d'un site adapté, sa mise en forme optimale, l'exploitation de la station dans un projet d'application sanitaire, agricole et pastorale clairement engagé, son suivi au-delà de la période de garantie et sa maintenance. Or sur le terrain, les sites sont souvent mal choisis, les travaux préparatoires pas ou mal exécutés, et les usages non définis. Comme le dit clairement une note du COMES, « la difficulté majeure rencontrée dans ces programmes est l'impréparation des pays dans lesquels ces programmes sont menés »[1188]. Ces manquements sont fatals aux installations. Nous avons compris grâce à l'étude du dossier mexicain que la volonté et les objectifs politiques qui sous-tendent ces opérations se logent ailleurs. Le risque est que la pompe solaire soit perçue comme un cadeau de la France « clef en main » à utiliser tant qu'elle fonctionne mais sans aucune appropriation technique et sociale car l'intégration politique en amont, qui est un prérequis, est totalement absente. C'est ce qui survient dans la plupart des situations. Dans une lettre adressée au ministre de la Coopération, l'ambassadeur de France au Tchad suggère de modifier les termes de la convention de financement FAC du projet SOFRETES à N'Djamena afin de bien faire comprendre à la partie tchadienne ses responsabilités et ainsi éviter cet écueil :

> J'estime, enfin, que ce projet de convention devrait mentionner le nom du Ministère tchadien chargé de superviser et réceptionner les travaux ; Ministère du Développement agricole, pastoral, et de la lutte contre les calamités naturelles, en l'occurrence. Cela aurait

[1188] COMES, « Note sur l'état d'avancement et les difficultés des programmes FAC-COMES », 30 octobre 1981, p. 2, Dossier « Relations du COMES avec la Présidence de la République, les ministères, les organismes et entreprises publics et privés », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 6.

pour effet de sensibiliser nos partenaires à la réalisation de l'opération pour laquelle ils se sentiraient davantage intéressés[1189].

Le premier manquement à imputer aux clients vient du fait que les sites sont mal choisis techniquement (pas politiquement) et que les gouvernements clients peuvent difficilement honorer leur part du chantier qui se limite en général au génie civil afin de mettre le site en conformité avec l'installation à venir. C'est-à-dire principalement en assurant le forage et en participant au BTP. En règle générale le forage existe au préalable, c'est même un critère de sélection des sites possibles, mais nous en avons montré les limites dans le cas de Chinguetti où la pompe est arrêtée en raison d'une erreur de dimensionnement de la nappe d'eau souterraine. Le constat est le même au Soudan où les pompes Soba et Hamad sont abandonnées en 1979 pour cette raison[1190]. A Ryad, en Arabie Saoudite, la nappe n'est pas adaptée non plus[1191]. En Égypte, l'installation de réfrigération sur le lac Nasser pompe dans le lac de retenue dont les variations annuelles de niveau ne sont pas correctement renseignées par la partie égyptienne ce qui altère son fonctionnement. Au Burkina-Faso, une grande partie des forages qui doivent être équipés en pompes SOFRETES sont défectueux et les installations sont retardées, déplacées, puis certaines sont abandonnées pour cette même raison alors que le matériel est en attente[1192]. Les cinq dernières pompes (1 kW) SOFRETES du contrat financé par le FAC en Haute-Volta, qui en compte treize, attendent deux ans que des sites et des forages adaptés soient établis, ce qui n'arrive jamais. Sans solution, le projet est modifié une première fois en une seule installation de 5 kW, puis une seconde qui lui préfère un dispositif photovoltaïque[1193]. Au Mali, deux pompes financées en 1976 ne peuvent pas non plus être installées « faute de site ayant des caractéristiques correspondant aux spécificités des

[1189] Lettre de l'ambassadeur de France au Tchad au ministre de la Coopération du 21 mars 1978, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19840224, carton 6 « Énergies nouvelles au Tchad ».
[1190] MAE, « Soudan », fiches opérations par pays, document manuscrit, Pochette « Projet de développement des énergies solaires par pays, 1980 », Dossier « Énergies solaires et renouvelables », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 6.
[1191] MAE, « Arabie Saoudite », fiches opérations par pays, document manuscrit, Pochette « Projet de développement des énergies solaires par pays, 1980 », Dossier « Énergies solaires et renouvelables », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 6.
[1192] Entretiens avec Marc Jacquet-Pierroulet, avril 2021 ; Ministère de la Coopération, Yves Lambert (ingénieur responsable du Programme Énergies nouvelles pour le Sahel), « Haute-Volta Pompes solaires SOFRETES », 15 juillet 1980, Pochette « 304 Sofretes », dossier « SOFRETES 1976-1981 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1193] COMES, N° d'ordre 304, « Décision d'attribution d'un concours financier », « Note de présentation : pompe photovoltaïque de 8,2 kW pour le périmètre irrigué de Bourzenga (Haute-Volta) », 3 juin 1980, Pochette « 304 Sofretes », dossier « SOFRETES 1976-1981 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

pompes »[1194]. Au Mexique, l'État assure correctement le génie civil et ses ingénieurs se forment très aisément au montage des stations qui reste très simple quand tout fonctionne convenablement. Les premières installations du programme *Tonatiuh* font néanmoins face à des problèmes de forage et de pureté insuffisante du Butane commercial mexicain[1195]. Les exemples sont nombreux. Ils confirment que le gouvernement client s'investit peu.

Afin de faire participer la population, la SOFRETES essaye de prévoir un transfert de savoirs et de savoir-faire en faisant appel à la main d'œuvre locale pour le montage des stations et des capteurs comme à Chinguetti, au Mexique, à Diré au Mali ou encore à Diakhao au Sénégal. L'objectif est de favoriser par la formation *in situ* une industrialisation induite (ateliers de fabrication de capteurs) et une capacité de maintenance minimale. Malheureusement, ce transfert de technologie n'est pas prévu dans les premiers contrats et l'entreprise en prend les coûts à sa charge. Elle reste donc souvent sans lendemain et les populations se sentent peu concernées tout comme leurs gouvernements. Au Sénégal, la SOFRETES s'appuie sur le CERER et sur sa filiale la SINAES, au Niger sur l'ONERSOL de Moumouni. Mais ces relais sont insuffisants. Certaines des dernières commandes prévoient dans le contrat la création d'un centre de fabrication de capteurs comme à Diakhao au Sénégal. Cependant, cette opération sera abandonnée au moment de la liquidation des affaires de la SOFRETES en 1982-1983 laissant la station solaire péricliter comme toutes les autres. Une note du COMES au sujet des difficultés rencontrées par les projets solaires du FAC reconnaît que le manque de structures d'appui local est un facteur d'échec des opérations. Le COMES en fait d'ailleurs une des conditions à satisfaire pour lancer une opération de démonstration :

> La diversité des efforts français ne doit pas masquer une dispersion locale beaucoup plus perturbante résultant des différents programmes bilatéraux : RFA-GTZ, US-AID, CEE, PNUD, UNESCO, dont l'enchevêtrement sature les responsables locaux. Le créneau non occupé reste encore celui de la structure d'appui local. Il faut donc viser à l'occuper avec les partenaires locaux, de manière à leur permettre de prendre en mains leur pénétration dans les techniques des énergies renouvelables[1196].

[1194] COMES, N° d'ordre 304, « Décision d'attribution d'un concours financier », « Extrait de la convention coopération/COMES », 3 juin 1980, p. 4, Pochette « 304 Sofretes », dossier « SOFRETES 1976-1981 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1195] Entretien avec Jean Avilla du 22 avril 2021 ; Lettre de Girardier à Antonio Murray du 21 janvier 1975, documentation comptable de la SOFRETES, Dossier « Mexique », archives privées fonds usine Mengin.
[1196] COMES, « Note sur l'état d'avancement et les difficultés des programmes FAC-COMES », 30 octobre 1981, p. 4, Dossier « Relations du COMES avec la Présidence de la République, les ministères, les organismes et entreprises publics et privés », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 6.

Dans la plupart des opérations, il n'y a pas non plus de contrat de maintenance. Passée la période de garantie (un an en moyenne), l'installation est laissée au bon vouloir du client. L'État receveur ne s'en occupe généralement pas. Il l'abandonne alors à ses usagers théoriques qui n'ont ni les moyens, ni les connaissances requises, pour surveiller la station. Aucun financement n'en assure le gardiennage et l'entretien, forçant la SOFRETES ou sa filiale sénégalaise (la SINAES) à intervenir pour des dépannages occasionnels en raison de la contre publicité que représente une station en panne. Le coût de ses interventions représente en 1978 1,5 MF pour 15 MF de stations vendues alors que les interventions sont techniquement très simples mais très éloignées de Montargis[1197]. Dufour, un des rares ingénieurs à rester à la SOFRETES jusqu'à la fin de son existence, témoigne que des installations se sont arrêtées alors qu'il n'y avait que quelques joints à changer[1198].

La gratuité relative d'une station de pompage solaire installée et donnée aux populations par leur gouvernement et par la France sans l'intégrer au préalable aux structures sociales par un programme de formation, de participation à son exploitation et de maintenance est contre-productive. Girardier en a hautement conscience dès le départ de son activité en Afrique lorsqu'il est confronté aux réactions des populations et des gouvernements comme nous l'avons déjà mentionné à Bossey-Bangou en 1969 ou à Chinguetti en 1973. Voici ce qu'il répond en 1979 à la question « faut-il donner le solaire ? » : « si les pompes se trouvent dispersées au grè des humeurs et des envies de tel ou tel Européen à travers l'Afrique, elles ne serviront pas le développement. Elles ne seront pas suivies, elles seront détériorées. On finira par retrouver des carcasses saccagées. Elles seront mêmes, en définitive, une contre-publicité pour le solaire. »[1199]

Nous prendrons ici un seul exemple pour illustrer au moyen d'un cas particulier cette situation sur le terrain. Il est extrait du compte-rendu d'un rapport d'évaluation des installations SOFRETES effectué au Sénégal à Médina Dakhar pour le ministère des Relations extérieures et l'AFME en 1982[1200]. Lors de cette inspection le gardien de la

[1197] Procès-verbal du Conseil d'administration de la SOFRETES du 1er juin 1978, archives privées fonds BCD (CEA).
[1198] Entretien Caille-Dufour du 01 décembre 2018.
[1199] GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, p. 81.
[1200] Ministère des Relations extérieures (coopération et développement), Agence française pour la maîtrise de l'énergie (AFME), SEMA, *Énergies renouvelables au Sahel. Évaluation des projets*, mai 1982.

pompe est interrogé. Le cas de Médina Dakhar nous intéresse particulièrement car c'est là que la première station de pompage intégrée MGS 2-1000 du contrat FAC France-Sénégal est installée en 1976, et c'est également à Médina Dakhar que nous nous sommes rendus avec Frédéric Caille sur les traces de la SOFRETES. Nous y avons aussi rencontré le gardien, 40 ans après ce rapport[1201]. Le poste de gardien est considéré comme un poste d'exercice du pouvoir par la communauté puisqu'il est le maître de l'eau en étant celui qui sait faire fonctionner la pompe solaire. Cet aspect est particulièrement intéressant en ce qu'il illustre bien les potentiels politiques de l'objet technique solaire, « le poste de gardien de pompe solaire est considéré par les villageois comme un poste de confiance ; le choix du gardien est effectué par le chef du village qui très souvent place son fils (nous l'avons constaté plusieurs fois) »[1202]. D'après cette étude, la population est matériellement incapable de résoudre des petits problèmes d'entretien de la machine qui surviennent en raison de son usage quotidien et non de pannes liées à une malfaçon :

> Le graissage paraît par contre insuffisant. Le gardien n'avait pas de pompe à graisse. {...} Le gardien n'a pratiquement rien, même pour les pannes les plus élémentaires : fuites à un raccord, courroie, etc. {…} Le gardien de la pompe n'a pas été rémunéré au cours des dernières années, ce qu'il considère comme très injuste. {...} Il a donc vécu exclusivement sur ses revenus agricoles. Il est aidé par deux assistants qui le remplacent lorsqu'il s'absente. Depuis septembre 1980, un comité villageois a été créé afin de prendre en charge la gestion de cette pompe (entretien et rémunération partielle du gardien) ; une première collecte a donné 110 FF partagés ainsi : 50 F pour le gardien, 15 F pour chaque aide ; selon le gardien, cette somme est dérisoire puisqu'il espère un revenu de 200 F/mois environ[1203].

Les conséquences de cette absence de capacités matérielles sur les potentiels d'usages de la station de pompage sont très graves puisque « le gardien signale que plusieurs vannes sont hors d'usage et fuient en permanence, on ne peut garder l'eau dans le château car il y a trop de fuites au niveau des vannes. Il s'en sert donc de manière intermittente, ne stockant pas l'eau d'un jour à l'autre, ce qui est très regrettable du point de vue de la régularité d'approvisionnement et de la sécurité »[1204]. Le rapport précise qu'il s'agit donc simplement de fournir des pièces rudimentaires et très peu onéreuses au

[1201] Entretien avec Macumba Tine Ndoye et Malik Ndoye, respectivement chef de village et responsable de pompe, et autres habitants de Medina Dakhar le 5 mai 2016 et le 11 avril 2019 (CAILLE, Frédéric, « L'énergie solaire au Musée ? Éléments d'une lecture énergopolitique du projet muséal Sofretes », Cahiers d'histoire du Cnam, 2020, pp. 21-50.)
[1202] Ministère des Relations extérieures (coopération et développement), Agence française pour la maîtrise de l'énergie (AFME), SEMA, *Énergies renouvelables au Sahel. Évaluation des projets*, mai 1982, p. 28.
[1203] *Ibid*., p. 26.
[1204] *Ibid*., p. 27.

gardien (de la robinetterie par exemple), et qu'il convient de le rémunérer pour son travail. Si la pompe ne s'est pas complètement arrêtée, c'est grâce aux interventions de la SINAES, la filiale que la SOFRETES a installée à Dakar avec la participation du gouvernement.

Cependant, la pauvreté des États clients n'est pas toujours la seule explication puisqu'en Arabie Saoudite aucune utilisation précise de la station n'est définie en amont par les autorités aux moyens financiers pourtant importants et qu'elles ont prévu dans le contrat la formation de personnel pour la maintenance[1205] :

> Malheureusement, aucune application pratique n'a pu être décidée en accord avec les autorités, et il est à craindre que l'Arabie ayant fait un geste en faveur de l'énergie solaire « à la française », ne donne aucune suite sous forme d'autres commandes pour cette filière technique ; les concurrents allemands et américains ironisent sur la grande valeur de cette réalisation française, prestigieuse mais inutile, à proximité du réseau électrique (alentour on entend le cliquetis régulier des unités Diesel de pompage des palmeraies)[1206].

Sans utilité définie au préalable, la centrale de Riyad est même transférée par les autorités saoudiennes de la compagnie nationale d'électricité, Electrico, au *Saudi Arabian National Centre for Science & Technology* (SANCST), pour réévaluer avec l'aide du CEA un futur usage à des fins d'irrigation agricole[1207].

Au Mexique, aucun contrat d'entretien n'est signé par les autorités alors qu'elles en ont les moyens et que le niveau de formation de la main d'œuvre locale le permet[1208]. A San Luiz de la Paz, Jean Avilla reste deux ans en poste pour entretenir la station (principalement les joints qui gèlent la nuit) qui n'a aucune utilité pour les Mexicains. La ville possède déjà son réseau d'eau potable et d'électricité[1209]. Pourquoi l'entretenir dans ces conditions ?

La question de l'exploitation de la station est donc centrale. C'est en fonction de celle-ci que peuvent être établies les conditions de prise en charge de son suivi par le

---

[1205] SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note « Arabie Saoudite : énergies renouvelables », 30 janvier 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42 ; MAE, « Arabie Saoudite », fiches opérations par pays, document manuscrit, Pochette « Projet de développement des énergies solaires par pays, 1980 », Dossier « Énergies solaires et renouvelables », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 6.
[1206] SAI du COMES, « Ministère de l'Energie et Electrico », Riyad le 14 octobre 1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42
[1207] MAE, « Arabie Saoudite », fiches opérations par pays, document manuscrit, Pochette « Projet de développement des énergies solaires par pays, 1980 », Dossier « Énergies solaires et renouvelables », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 6.
[1208] GIRARDIER, Jean-Pierre, RENAU, Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, p. 81.
[1209] Entretien avec Jean Avilla du 22 avril 2021.

client (gouvernements et usagers). Or, dans le cas d'une station mixte de moyenne puissance (force motrice et électricité au-dessus de 5 kW), elle ne peut remplir ses objectifs (répondre aux besoins des communautés villageoises) que si les aménagements périphériques nécessaires sont fonctionnels (périmètres d'irrigation et système d'adduction d'eau principalement). Si cela semble « couler de source », sur le terrain, il n'en est rien. En effet, la mise en conformité de l'ensemble n'est pas du ressort de la SOFRETES mais bien de celle des gouvernements clients (génie rural par exemple) et/ou d'autres prestataires de service telles des entreprises locales ou des sociétés étrangères dans le cadre d'un accord de coopération complémentaire (pour l'adduction d'eau par exemple). Or dans quasiment toutes les opérations, aux simples pannes d'usage s'ajoutent les malfaçons et les retards qui finalement entraînent l'arrêt de la station. Le cas de la centrale malienne de Diré est sans doute un des plus symptomatique de cet état de fait. Il mérite donc d'être développé ici.

En effet, à Diré, les travaux de mise en irrigation ne sont jamais complétement effectués, et faute d'un périmètre d'irrigation suffisant, l'eau pompée est en partie rejetée dans le fleuve pendant plusieurs années après son inauguration fin 1979. L'adduction d'eau à la ville de Diré n'est, elle non plus, jamais construite. Ces manquements de la part du client et des autres partenaires d'un projet solaire qui s'insère dans un projet agraire, mènent inévitablement à son arrêt, puis à sa détérioration, et enfin à son abandon. La chaîne de responsabilité est complexe. Les aléas sont nombreux. Les acteurs engagés ne sont pas non plus prêts à reconnaître la situation.

L'opération solaire de Diré ne peut pas être comprise sans la replacer dans l'histoire coloniale du Delta intérieur du Niger. Ce prolongement est en soi une contrainte qui pèse sur la réalisation du projet et sur ses acteurs.

Après la Première Guerre mondiale, l'Inspection agricole du Soudan (Mali) décide l'aménagement d'un périmètre irrigué à Diré pour cultiver le coton d'exportation[1210]. Une société privée obtient la concession rurale de Diré en 1919[1211]. En

[1210] MARABITO, V., « L'Office du Niger au Mali, d'hier à aujourd'hui », *Journal des africanistes*, tome 47, fascicule 1, 1977, pp. 53-82.

[1211] Bakary Camara est politologue et historien du Droit et des Institutions, enseignant-chercheur à la faculté des Sciences Juridiques et Politiques de l'Université de Bamako, Mali. Son site web donne accès à des textes issus de sa thèse de doctorat (2009), notamment celui auquel nous faisons référence ici « Les conventions et les contrats coloniaux en AOF : le cas de la concession rurale de Diré au Soudan Français (1919-1939) » [URL : https://www.bakarycamara.ml].

1920, la Compagnie de culture cotonnière du Niger (CICONNIC) lance l'exploitation. Il est nécessaire à l'entreprise d'organiser la colonisation indigène du périmètre afin de bénéficier de main d'œuvre. Des populations d'origines diverses s'implantent, ce qui crée des tensions et des inégalités sociales dans les décennies suivantes, et participe à la sédentarisation et à la croissance démographique de la région. Des machines à vapeur sont utilisées pour le pompage de l'eau du Niger, « douze machines à vapeur donnent 1000 chevaux de force (parmi lesquelles 3 Weyher et Richemond de 100 chevaux chacune). La propriété est alimentée par des pompes qui, pour l'irrigation, donnent 3000 litres d'eau à la seconde »[1212]. La motorisation entraîne la déforestation massive de la région, car seul le bois peut servir de combustible dans un espace si isolé, « pour la force motrice, il est certain qu'il faudra dans peu d'années chercher autre chose que le bois qui s'épuise vite »[1213].

Au moment de l'inauguration de la station solaire de Diré, Gérard Serre, Ambassadeur de France au Mali, écrit une lettre au ministre des Affaires Étrangères, lui présentant les éléments de langages officiels, qui dressent un rapide historique des convertisseurs énergétiques mobilisés depuis 1919, en insistant sur leur part de responsabilités dans les échecs successifs de la mise en valeur agricole de la région de Diré :

> Avec les moyens d'alors, les colons acheminèrent d'énormes machines à vapeur destinées à pomper l'eau du fleuve afin d'irriguer 3000 hectares aptes à porter du blé. Pour alimenter ces engins – dont les épaves émergent encore aujourd'hui à demi enfouies dans le sable –, ils coupèrent malheureusement les arbres, rempart vert du Sahel contre le Sahara. Tous les arbres brûlés, il ne restait rien : plus de combustible, donc plus de force motrice, partant plus d'eau pour irriguer et plus de blé. Un seul gagnant : le désert qui progressait d'un seul bond[1214].

Notons qu'il s'agit de coton et non pas de blé. Cette réécriture de l'histoire, à l'occasion de l'inauguration, s'explique sans doute par le caractère développementaliste qu'il faut donner au projet Diré de 1979, présenté volontiers comme vivrier et non pas colonial comme dans le cas de l'exploitation du coton. Nonobstant cette modification, le choix du moteur thermique à combustion est certes néfaste, mais il n'est pas la seule cause

[1212] RUEDEL, M., « Conférence. Du coton au Soudan français », *Les Annales coloniales*, 30 janvier 1922, p. 1.
[1213] *Ibid*.
[1214] Lettre de Gérard SERRE, Ambassadeur de France au Mali, au ministre des Affaires Étrangères, 29 novembre 1979, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.

à l'abandon des périmètres irrigués par la CICONNIC, juste avant la Seconde Guerre mondiale[1215]. Au demeurant, en 1922 déjà, le député Pierre Valude dénonce ce moto-pompage, et le pompage tout court :

> L'irrigation pratiquée dans cette exploitation est l'irrigation par pompage, système qui a nécessité le transport et l'installation, au prix de quelques difficultés, de machines d'une valeur considérable, grevant l'affaire de frais généraux d'entretien et d'amortissement élevés. Ce système va à l'encontre de celui préconisé par l'ingénieur Béline, dont les remarquables études sont connues de tous, système qui consiste dans l'irrigation par gravitation[1216].

Dans les années 1920, le projet de Béline divise l'opinion. C'est pourtant celui-ci qui se concrétise à une tout autre échelle. Il est pensé pour s'étendre sur toute la Boucle du Niger, de Ségou à Diré, en installant un barrage, des canaux et une centrale hydroélectrique. C'est ainsi qu'en 1932, l'Office du Niger, une structure publique, est créée[1217]. La CICONNIC disparaît progressivement à la fin des années 1930, ses périmètres sont un temps intégrés à l'Office du Niger, qui finalement se reconcentre autour d'une zone circonscrite entre Ségou et Mopti, plus en aval du fleuve[1218]. Après la Seconde Guerre mondiale, l'Office du Niger se mécanise sous l'égide du Plan Marshall et du FIDES qui financent des machines Diesel[1219]. En 1922, un commentateur envisage de pallier au manque de bois en ayant recourt aux moteurs fonctionnant à l'huile de coton ou d'arachide[1220]. Ce sera finalement le fuel. Cette « pétrolisation » touche Diré, comme en témoigne l'Ambassadeur de France au Mali en 1979 :

> Peu après la Seconde Guerre mondiale d'autres colons tentent de relancer le projet, forts d'une technologie supérieure, le moteur Diesel. Des groupes électrogènes de pompage vont remplacer la machine à vapeur et une fois de plus l'eau va couler dans les canaux des périmètres réaménagés. Expérience, elle aussi avortée : faute d'un acheminement régulier du fuel et des pièces détachées, faute d'un service de réparation efficace, l'éloignement de Diré causera sa perte. De fréquentes interruptions dans l'alimentation en eau des canaux d'irrigation vont réduire en paille sèche, sous la canicule, les fragiles pousses de blé. Pour

[1215] CAMARA, *op. cit.*, 2009.
[1216] VALUDE, Pierre, « Notre voyage en A.O.F. Le coton », *Les Annales coloniales*, 15 mai 1922, p. 5.
[1217] MARABITO, V., *op. cit*., 1977 ; Voir aussi le rapport de la Mission d'évaluation de l'Office du Niger pour le ministère des Relations extérieures, Coopération et Développement, Avril 1985.
[1218] MARABITO, V., *op. cit*., 1977 ; Voir aussi le rapport transmis par le ministre de la Coopération au Chef de mission coopération à Bamako, « Périmètre d'irrigation de Diré, bilan du projet et perspective d'extension », mars 1981, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1219] MARABITO, V., *op. cit*., 1977, p. 60.
[1220] RUEDEL, M., *op., cit*., 1922.

la seconde fois, les efforts sont vaincus par l'ennemi de toujours : le soleil[1221].

Avec l'indépendance, la nationalisation de l'Office est prononcée et le périmètre de Diré sombre lentement dans les sables. Les années 1960 voient se poursuivre les cultures d'exportation, et ce n'est qu'au début de la décennie suivante, avec l'abandon du coton et le déficit alimentaire qui frappe le Sahel, que le rôle potentiel des terres arables de la Boucle du Niger est envisagé en termes de souveraineté alimentaire. Des évaluations de l'Office du Niger, telles celles de Marabito en 1975, et celle réalisée pour le ministère des Relations extérieures en 1985, avancent que ce gigantesque projet ne fonctionne, dans sa phase coloniale, que sur ses contradictions (énergétiques, agraires et financières), et ne semble pas fournir une solution viable, mais plutôt entretenir de fortes inégalités sociales entre les colons, qui cherchent à satisfaire leurs intérêts individuels à très court terme, tout comme les membres de son administration[1222].

Dans les années 1960, le gouvernement malien lance une nouvelle opération de culture irriguée (opération « Zone Lacustre »), dans la région des lacs intérieurs où se trouve Diré. D'après le ministère de la Coopération, elle est un échec en raison de la trop forte bureaucratisation de sa gestion, des difficultés d'accès non prises en considération, et d'un déficit pluviométrique conjoncturel mal anticipé. En 1974, les autorités maliennes mettent en place un Plan quinquennal de production céréalière (le déficit est de 10 000 t par an alors que 150 000 ha de terre sont aménageables) qui nécessite une maîtrise complète de l'eau rendant le pompage à nouveau stratégique[1223]. De nombreux projets de coopération sont alors engagés dont « Blé Diré », piloté par le ministère français de la Coopération sur un financement du Fonds d'Aide et de Coopération (FAC), qui vise à relancer le périmètre irrigué[1224]. Dans le même temps, le Programme « Énergies Nouvelles pour le Sahel » est lancé en 1975 par le ministère de l'Industrie (Délégation aux énergies nouvelles) et le ministère de la Coopération, pour trois ans, avec un financement de 10 MF par an[1225]. Officiellement, il vise à soutenir la diffusion

[1221] *Ibid*., p. 1.
[1222] Mission d'évaluation de l'Office du Niger pour le ministère des Relations extérieures, *op. cit*., 1985.
[1223] Rapport transmis par le ministre de la Coopération au Chef de mission coopération à Bamako, « Périmètre d'irrigation de Diré, bilan du projet et perspective d'extension », mars 1981, Archives nationales, ministère de la Coopération, 20000231, carton 16.
[1224] Comité Directeur du FAC, « Programme de développement économique et social (Mali) pour 1977 », Séance de juillet 1977, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19980545, carton 61.
[1225] « Rapport de présentation de la 3ème tranche du marché pour l'utilisation d'une centrale solaire de pompage à Diré au Mali », octobre 1977, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire

d'opérations de démonstrations prototypiques dans le contexte de cherté des prix du pétrole qui asservissent davantage la balance des paiements des pays du tiers-monde depuis 1973. Ses opérations ciblent principalement les installations de pompage solaires thermodynamiques et photovoltaïques, ainsi que les démonstrations éoliennes et les transformations de la biomasse[1226].

L'action publique d'aide au développement agricole rencontre donc tout naturellement celle qui doit faire face à la pauvreté énergétique[1227], l'une étant étroitement liée à l'autre. Voici comment la situation énergétique du Mali est décrite en 1979 par le ministère de la Coopération :

> Le Mali ne dispose, actuellement, d'aucune ressource énergétique exploitée (gisement pétrolier, mines de charbon). Le potentiel hydraulique du pays est loin encore d'être totalement exploité. Seul le Barrage de Sélingué sur le Niger dont les travaux sont en cours à l'heure actuelle sera susceptible d'apporter dans les prochaines années de l'énergie électrique. La quasi-totalité de l'énergie électrique produite actuellement provient du pétrole et des produits dérivés qui transitent soit par Dakar (Sénégal), soit par Abidjan (Côte d'Ivoire) ou Parakou (Bénin) situés à plus de 1 000 km du centre de gravité du pays[1228].

C'est ainsi que la SOFRETES est sollicitée en 1975 par le ministère de la Coopération pour lancer la plus importante opération du programme triennal « Énergies Nouvelles pour le Sahel ». Trois marchés sont passés de 1976 à 1977, dans le cadre d'une convention de financement entre le gouvernement français et le gouvernement malien à hauteur de 8 MF[1229] :

> Les coûts, en apparence élevés, sont cohérents et justifiés par l'importance des études spécifiques à une seule réalisation préindustrielle. Le marché ne comporte pas de formule de révision de prix. L'amortissement d'une telle installation devrait s'étaler sur une période de 15 à 20 ans, ce qui donnerait un prix du m^3 d'eau pompée à des conditions économiques qui ne sont pas encore compétitives mais qui doivent le devenir rapidement avec l'évolution prévisible des coûts de l'énergie fossile. L'intérêt d'une telle démonstration est de tester en

20000231, Carton 16 ; Comité directeur du FAC, « Utilisation des énergies nouvelles au Sahel », décembre 1977, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19980545, carton 71 ; Comité directeur du FAC, « Utilisation des énergies nouvelles au Sahel », juin 1978, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19980545, Carton 73.

[1226] Voir le tableau récapitulatif des installations du programme dans *Afrique agriculture*, n°49, 1er septembre 1979, pp. 26-27.

[1227] Comité directeur du FAC, « Utilisation des énergies nouvelles au Sahel », juin 1978, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19980545, carton 73.

[1228] Dossier de demande de financement pour l'installation d'une station de pompage solaire, décembre 1979, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.

[1229] Le marché passé de gré à gré entre SOFRETES et le ministère de la Coopération en 1976, la Convention de financement entre la République française et la République du Mali, signée en 1978, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16 ; Comité directeur du FAC, « Utilisation des énergies nouvelles au Sahel », juin 1978, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19980545, carton 73.

> vraie grandeur un équipement autonome, fiable, non-polluant, et facilement intégrable dans le contexte socio-économique des zones rurales des pays en voie de développement[1230].

En 1982, le rapport du Comité directeur du FAC sur la station de Diré, après une année de fonctionnement, réaffirme le bien-fondé de ce choix technique vis-à-vis du Diesel :

> La Centrale Solaire de Diré lancée en 1976 et mise en service en 1979 est la plus importante réalisation du programme Sahel-Énergies Nouvelles. Sa situation isolée à proximité de Tombouctou et les difficultés d'approvisionnement en pièces détachées et en carburant justifiaient le choix d'une technologie utilisant les énergies renouvelables. Les dernières campagnes pour la culture du blé ont montré s'il en était besoin l'intérêt de cette technique car les groupes de pompage Diesel placés en parallèle ont subi des ruptures d'approvisionnement en carburant[1231].

Un document intitulé « Périmètre d'irrigation de Diré, bilan du projet et perspective d'extension », daté de mars 1981, transmis par le ministre de la Coopération au chef de la Mission coopération de Bamako, évalue positivement le service rendu par la machine malgré les difficultés rencontrées lors de sa première année de fonctionnement :

> Il semble que les rendements théoriques annoncés de 8 500 m^3 par jour puissent être largement atteints ; en effet un débit maximal de 1 400 m^3/heure a été mesuré, ce qui pour un fonctionnement de 6 h correspond à 8 600 m^3 par jour {…} En dépit de ces nombreuses difficultés le pompage solaire a permis de fournir durant la campagne 1979/80 plus de 230 000 m^3 d'eau, soit la moitié des besoins totaux[1232].

Le compte-rendu d'une mission d'évaluation de terrain des réalisations du programme « Énergies Nouvelles pour le Sahel », commanditée au très prestigieux et paraétatique bureau d'étude SEMA[1233] par le ministère des Relations Extérieures et

---

[1230] « Rapport de présentation de la 3ème tranche du marché pour l'utilisation d'une centrale solaire de pompage à Diré au Mali », octobre 1977, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.

[1231] Rapport du Comité directeur du FAC sur la station de Diré - 1982, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, Carton 16.

[1232] Rapport transmis par le Ministre de la Coopération au Chef de mission coopération à Bamako, « Périmètre d'irrigation de Diré, bilan du projet et perspective d'extension », mars 1981, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.

[1233] Comme l'écrit Michel Armatte (p. 76) dans son article sur les contributions des ingénieurs du corps des Mines à la théorie et ingénierie économiques, la Société d'Économie et de Mathématique Appliquée (SEMA), est un des acteurs majeurs de l'innovation économique dans le tournant néolibéral des années 1970, notamment par son rôle de diffuseur de la prospective comme nouvel outil d'aide à la décision. C'est principalement grâce à son fondateur et directeur, Jacques Lesourne, polytechnicien (X-1948), ingénieur du corps des Mines, que la SEMA s'impose. Jacques Lesourne est titulaire de la chaire d'économie industrielle du Cnam à partir de 1974. ARMATTE Michel, « Théorie et ingénierie économiques : deux

l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie (AFME), daté de mai 1982, appuie une analyse favorable du projet de station solaire SOFRETES à Diré, mais soutient plus largement la raison sociale des installations. La qualité des services rendus est reconnue et mesurée :

> La centrale de Diré, malgré l'inachèvement de certains équipements, a fourni des services d'importance primordiale. {…} (1979-1980) La station solaire a permis de sauver la récolte durant une période où les groupes diesel de pompage n'étaient plus alimentés en combustible. {…} (1980-1981) L'ensemble de l'irrigation du périmètre (blé, sorgho, tomates) a été faite à partir de la station solaire, sans appoint de moteur diesel, immobilisés d'ailleurs par suite des pénuries régulières en gasoil[1234].

Il en est de même au sujet des manquements (provisoires) aux objectifs et les difficultés rencontrées :

> La réalisation du projet a été très difficile compte tenu du contexte très exceptionnel, la majorité des problèmes ont trouvé une solution, malgré des aléas techniques très inhabituels tels que le dégazage de l'isolant obligeant à une réfection complète des capteurs. La gestion de ce projet a été difficile compte tenu de l'étroitesse des budgets, de la rareté des personnels qualifiés, du caractère pilote de cette réalisation et de la difficulté des communications ; à signaler l'étroite collaboration qui a pu être élaborée entre la population locale, le génie rural, le laboratoire de l'énergie solaire de Bamako, qui a détaché un technicien, et le personnel SOFRETES[1235].

Les réserves des auteurs sur l'avenir de cette technologie, ici portée par une installation prototypique, ne les empêchent pas de conclure concernant Diré que « l'avenir de ce projet, intéressant et incontestablement utile, doit être assuré, coûte que coûte »[1236].

Le second intérêt de cette étude, chose rare, est qu'elle intègre à sa grille d'analyse la « satisfaction des utilisateurs » comme variable, là où quasiment toutes les autres ne s'arrêtent qu'aux considérations technologiques. Ainsi, les installations les plus efficientes correspondent aux projets les plus socialement aboutis : « les projets qui ont le mieux marché, qui ont été les plus utiles, ont été ceux qui complétaient d'autres actions de développement, déjà entreprises. »[1237] Aux bienfaits immédiats de la satisfaction des

---

siècles de contribution des ingénieurs des mines », *in* Garçon A.-F. & Belhoste B. (dir.), *Les ingénieurs des Mines : cultures, pouvoirs, pratiques*, Paris, IGPDE, pp. 51-83.

[1234] Ministère des relations extérieures (Coopération et développement), Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie (AFME), SEMA, « Énergies renouvelables au Sahel. Évaluation des projets », mai 1982, p. 17.

[1235] *Ibid*. p. 18-19.

[1236] *Ibid.* p. 19.

[1237] *Ibid.* p. 99.

besoins essentiels, s'ajoutent ceux, à plus long terme, ayant un impact favorable sur le développement des communautés villageoises, tels la « prise de confiance du village en lui-même qui reprend espoir (les jeunes restent…), [le] maintien en vie de villages menacés par la sécheresse (Mali), [la] création de pépinières pour la reforestation (Mali)… »[1238]. Les conclusions comparatives quant aux usages des convertisseurs conventionnels et renouvelables sont sans appel : « l'utilité de la majorité de ces projets énergies renouvelables est indiscutable ; la fiabilité de certains est d'ores et déjà supérieure à celle d'équipements conventionnels. »[1239] L'étude insiste sur la mauvaise délimitation des systèmes conventionnels dans des analyses qui écartent trop de variables dans leur évaluation des coûts d'investissement et de fonctionnement, biaisant ainsi les résultats obtenus grâce à des choix de paramètres qui oublient d'être contextuels, conjoncturels, et donc relatifs :

> Un effort de meilleure connaissance du coût réel des solutions conventionnelles faciliterait, très largement, l'introduction de solutions solaires. {…} Aucune comparaison générale de compétitivité économique ne peut donc être sérieusement tentée, il faut chaque fois se placer dans un contexte précis pour un service précis, le 'système' complet assurant ce service étant bien délimité[1240].

Cette prudence à asséner des vérités énergétiques et technicoéconomiques (notamment sur la fiabilité et les logiques de formation des prix des convertisseurs Diesel) amènent les auteurs de cette étude à conclure que « pratiquement on peut se demander s'il ne serait pas plus économique de choisir des solutions solaires »[1241].

Des analyses américaines du *Solar Energy Research Institute* (SERI[1242]) menées en 1979-1980 pour l'*US Department of Energy* (DOE) vont dans le même sens. La SOFRETES et ses réalisations bénéficient ainsi d'un certain crédit : « les produits solaires les plus avancés commercialement conçus pour les applications du tiers-monde sont les

[1238] *Ibid.* p. 100.
[1239] *Ibid.* p. 102.
[1240] *Ibid*. p. 124.
[1241] *Ibid.* p. 126.
[1242] Institut de recherche soutenu par l'administration Carter, puis délaissé par le gouvernement Reagan à partir de 1981. « *The Solar Energy Research Development Act of 1974 established the Solar Energy Research Institute (wich became the National Renewable Energy Laboratory in 1991). This facility is DOE's single-mission laboratory dedicated entirely to the development of renewable energy technologies* ». LARSON R. & WEST E. R., *Implementation of Solar Thermal Technology*, Cambridge : The MIT Press, 2003, p. 702. En 1975, le programme fédéral de recherches solaires américain est confié à une administration de mission, l'Energy Research Development Administration (ERDA). A partir de 1977, le programme est supervisé par le DOE. *Ibid*., pp. 698-699.

systèmes d'irrigation développés par le consortium Français, SOFRETES »[1243]. Ces études insistent sur la nécessité de prendre en compte les aspects sociaux[1244] et environnementaux comme éléments d'évaluation technologique dans une approche globale des besoins[1245] : « l'évaluation technologique, sous-composant d'une évaluation de projet plus vaste, ne peut être prise isolément. La performance de l'équipement ou de l'ensemble d'un système ne peut être mesurée et analysée qu'en fonction de besoins définis ou d'objectifs de projet. »[1246]

Le principal enjeu n'est d'ailleurs pas forcément celui des énergies fossiles sur lesquelles l'approche comparative aime à détourner les évaluations, mais plutôt celui du bois, comme le rappelle Checkne Traore du Laboratoire d'énergie solaire de Bamako en 1979 à Atlanta :

> C'est dans les zones rurales que nous sommes confrontés au plus grand défi pour répondre aux besoins énergétiques des populations qui, à l'heure actuelle, dépendent entièrement du bois et du charbon de bois. Même si les chiffres exacts font défaut, les estimations faites par le Département des forêts montrent un doublement de la consommation de bois au cours de la période de deux ans de 1973 à 1975[1247].

Présentée ainsi, nous apprenons que la station de Diré fonctionne à partir de son inauguration fin 1979 jusqu'au début de l'année 1981, que cela est reconnu par les pouvoirs publics malgré des difficultés, et que des évaluations valident la pertinence de cette proposition sociotechnique pour les régions victimes de pauvreté énergétique comme à Diré. Mais alors, pourquoi la station de Diré est-elle abandonnée ? Quelles sont les fameuses difficultés qui l'impactent ? A quoi et à qui sont-elles imputées ?

Après une étude détaillée des documents d'archives du ministère de la Coopération, nous comprenons que les responsabilités des autorités maliennes sont plus importantes dans la réalisation de l'opération de mise en valeur agricole « Blé Diré » (qui

---

[1243] « *The most commercially advanced solar products designed for Third World applications are the irrigation systems developed by the French consortium, SOFRETES.* » HASWORTH, J.H., « Renewable Energy Sources for the World's Poor », SERI, U.S. Department of Energy October 1979, p. 14.
[1244] *Ibid*., Annexes B7-B9 « Technology characterization criteria ».
[1245] SERI, US Department of Energy, « Matching Renewable Energy Systems to Village-Level Energy Needs », June 1980.
[1246] « *Technology evaluation, a subcomponent of a larger project evaluation, cannot be taken in isolation. The performance of equipment or of an entire system can only be measured and analyzed against defined needs or project objectives. », op. cit.*, 1979, Annexes B3-B6.
[1247] « *It is in the rural areas that we face the greatest challenge to serve the energy needs of the people who at the moment rely entirely on wood and charcoal. Even though exact figures are lacking, estimates made by the Forestry Department show a doubling of wood consumption in the two-year period from 1973 to 1975*. » African Solar Energy Workshop, May 21-26, 1979, Atlanta, p. 31.

s'insère dans l'opération « Zone lacustre » depuis 1976) que dans le projet de centrale solaire[1248]. Elles doivent participer activement à l'aménagement du périmètre irrigué de 300 hectares décidé en 1974. Le ministère de la Production en a la responsabilité et la Direction du Génie rural doit exécuter l'aménagement avec la participation de la population et assurer la surveillance des travaux. Or en 1977, seulement 23 ha sont disponibles. Le FAC prévoit d'augmenter cette surface de 119 ha en 1978, puis de 123 ha en 1979. Les raisons du retard accumulé sont de tous ordres mais les difficultés que rencontrent les services techniques maliens en sont en grande partie responsables. Il a également fallu modifier le projet initial de station de pompage Diesel pour y intégrer la station solaire. Pour soutenir l'aménagement du périmètre, le contrat de coopération prévoit la mise à disposition d'un agronome français par la Scet-International[1249].

Concernant la centrale de Diré, qui doit alimenter en eau d'irrigation le périmètre de « Blé Diré », le Génie rural malien doit réaliser la prise d'eau dans le fleuve Niger, le bassin de refoulement des pompes, le principal canal en aval de la station qui court en direction du périmètre puis, théoriquement, les bâtiments de la coopérative agricole et du gîte-étape (ces deux ensembles de bâtiments sont supposés être électrifiés et les hangars doivent bénéficier de réfrigération)[1250]. En effet, la centrale ne pompe pas l'eau directement dans le fleuve mais dans un canal de dérivation[1251].

Dès 1977, le ministre de la Coopération insiste sur la nécessité d'impliquer les autorités maliennes et de définir par voie contractuelle leurs obligations dans les

[1248] Comité directeur du FAC, Rapport de présentation « Action Blé Diré », « Programme de développement économique et social du Mali pour 1977 », juillet 1977, pp. 1-7, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19980545, carton 61.

[1249] Il s'agit de l'ancienne SCET-Coopération, une filiale technique de la Caisse des Dépôts et Consignations (CDC) : « agissant dans le cadre d'une politique internationale principalement en direction des anciennes colonies, la SCET-Coopération rassemble dès son origine les domaines d'activités de deux prestigieuses sociétés françaises : la Société centrale d'équipement du territoire (SCET) et la société civile immobilière de la Caisse des Dépôts (SCIC)… L'action de la SCET-Coop en tant qu'assistance et coopération technique, dans le cadre de la politique nationale de coopération, se dessine en liaison directe avec les principaux ministères intéressés (ministère des Affaires étrangères, ministère de la France d'Outre-mer, ministère des Finances), la Caisse Centrale de Coopération Économique (CCCE) et le Fonds d'Aide et de Coopération (FAC), principaux financeurs de cette politique et tous deux héritiers d'anciens instruments de la politique d'aide française au développement. ». HAGUENAUER-CACERES, Lucie, « Construire à l'étranger. Le rôle de la SCET Coopération en Côte d'Ivoire de 1959 à 1976 », Société française d'histoire urbaine, n°23, 2008/3, pp. 146 et 149.

[1250] Comité directeur du FAC, « Centrale solaire de Diré », « Utilisation des énergies nouvelles au Sahel », juin 1978, pp. 11-12, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19980545, carton 61.

[1251] Sur le fleuve Sénégal, les pompes flottent sur des radeaux comme à N'Gorel Guidal en Mauritanie. Cette différence de conception s'explique par les dynamiques fluviales. Les fluctuations du niveau du fleuve Niger obligent à creuser un canal de dérivation pour mettre en eau la station là où l'usage d'une pompe-radeau est préférable sur le fleuve Sénégal.

modalités d'exécution de la centrale solaire de Diré pendant la durée des travaux et de la période de garantie de deux ans assurés par la SOFRETES : « j'attache le plus grand prix à ce qu'une convention soit conclue entre la SOFRETES et le gouvernement malien fixant les limites d'intervention des deux parties pour la réalisation d'un projet difficile »[1252]. Il suggère qu'un contrat d'entretien devrait être passé entre la PME et le gouvernement malien au-delà de cette période.

Les retards s'accumulent durant toute la durée du chantier (1978-1979). Aux avaries liées aux difficultés du transport et du déchargement s'ajoutent les tempêtes de sables[1253]. Un rapport de visite de 1979 liste tous les problèmes en suspens[1254]. Le périmètre agricole n'est toujours pas prêt. L'adduction d'eau potable à la ville de Diré est à la charge des Canadiens[1255]. Les deux projets doivent se coordonner. Une pompe électrique de forage SOFRETES est prévue pour alimenter le château d'eau des Canadiens (société TAMCON) qui doivent également construire l'adduction. La prise d'eau du Génie rural malien est mal faite. Les autorités maliennes refusent de financer la construction des hangars de la coopérative et le gîte-étape. Au même moment le ministère de la Coopération coupe court à des rumeurs qui disent la centrale dysfonctionnelle[1256].

L'expert de la Scet-International établit un bilan de la situation en août 1979[1257]. Le personnel malien de l'Action Blé Diré semble bien formé mais « peu occupé et trop nombreux pour les tâches à accomplir sur le périmètre »[1258]. L'aménagement des 120 hectares n'est pas terminé. La centrale solaire a été mise en route et l'alimentation en eau du périmètre est assurée mais « tout reste à faire dans le domaine de la mise en valeur et de l'encadrement des paysans »[1259].

[1252] Lettre du ministre de la Coopération à l'ambassadeur de France au Mali, 21 mars 1977, « Convention concernant la station de pompage solaire de Diré », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1253] Lettre de la SOFRETES au ministère de la Coopération du 11 octobre 1978, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1254] SOFRETES, « Rapport de visite au chantier de Diré le 18 mars 1979 », remis au ministère de la Coopération, 12 avril 1979, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16 ; Lettre de SOFRETES à TAMCON du 22 mars 1979, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1255] Il s'agit d'un projet parallèle de coopération entre le Canada et le Mali.
[1256] Ministère de la Coopération, « Note d'information – centrale solaire de Diré », 10 avril 1979, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1257] Ministère de la Coopération, « Aide au développement économique, exécution des projets FAC, Action Blé Diré, convention n°282/C/DDE/77/MLI, projet 199 », août 1979, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1258] *Ibid*.
[1259] *Ibid*.

En septembre, L'ambassadeur de France au Mali fait son rapport à Robert Gallay, ministre de la Coopération[1260]. Les canaux du périmètre irrigué « semblent fragiles n'ayant pu être normalement compactés »[1261]. Cependant, l'ensemble devrait tenir pour satisfaire la première campagne d'irrigation sur 1979-1980. D'autres difficultés agraires viennent s'ajouter : « toutes les demandes de parcelles n'ont pas pu être satisfaites. Un facteur limitant va cependant intervenir avec les quantités de semences disponibles dont l'acheminement vers Diré n'est pas, au surplus, sans difficulté. »[1262] L'ambassadeur conclut que le projet est en bonne voie de réussite mais il met en garde car il n'est « pas encore à l'abri des aléas, dans un contexte difficile »[1263].

Quelques mois après l'inauguration de novembre 1979, Girardier écrit à Lamine Keita, ministre malien du Développement Industriel et de l'Hydraulique pour l'alerter que des travaux d'entretien ne sont pas correctement effectués et qu'ils vont entraîner un arrêt du pompage[1264]. Or, il s'agit d'un simple curage d'une langue de sable qui vient altérer le bon fonctionnement de certains éléments du dispositif, c'est-à-dire des « problèmes hydrauliques relativement secondaires »[1265]. Il est également demandé le calendrier de pompage que le programme de culture impose afin de planifier les différentes phases de fonctionnement de la station, c'est-à-dire d'organiser la conduite de l'exploitation de la station. Girardier propose à Lamine Keita de se rencontrer en mai pour « poser le problème de la gestion de cette station et pour l'utilisation optimale des services rendus »[1266]. La SOFRETES adresse au ministère de la Coopération un rapport qui va dans le même sens[1267]. Depuis fin novembre 1979, la centrale fonctionne parfaitement et irrigue 50 ha aménagés pour la production de Blé. Le réseau d'adduction d'eau de la ville de Diré et le gîte-étape ne sont pas réalisés. Cependant, le canal principal d'irrigation est trop fragile pour encaisser le débit des pompes, il faut donc sans cesse contrôler le

[1260] Lettre de l'ambassadeur de France au Mali à Robert Galley, ministre de la Coopération, du 29 octobre 1979, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1261] *Ibid*.
[1262] *Ibid*.
[1263] *Ibid*.
[1264] Lettre de la SOFRETES à Lamine Keita, ministre malien du Développement Industriel et de l'Hydraulique, du 25 mars 1980, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1265] *Ibid.*
[1266] Télexe de Girardier à Lamine Keita du 2 avril 1980, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1267] SOFRETES-Mengin, « Rapport sur le fonctionnement de la centrale de Diré (Mali) », 3 avril 1980, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.

pompage par rapport à la demande, ce qui implique de limiter la durée de fonctionnement. La centrale n'est donc pas exploitée à la hauteur de ses possibilités. Les problèmes à résoudre à cette date sont : l'échange des isolants des capteurs (facile et en cours) ; l'optimisation de l'automatisme (les capacités du stockage thermique ne sont pas encore utilisées par exemple) ; le curage de la langue de sable qui va mécaniquement entraîner l'arrêt de la station le 8 avril 1980. Une année s'écoule.

En mars 1981, une réunion est demandée d'urgence à la direction de la SOFRETES par l'ingénieur responsable du suivi de Diré pour trouver des solutions aux difficultés rencontrées[1268]. Premièrement, la partie malienne doit prendre en charge un opérateur pour la station, ce qu'elle ne fait pas. Deuxièmement, la station va être arrêtée en avril, comme en 1980, car « le Génie rural n'a jamais poursuivi le creusement du canal d'amenée » ce qui entraîne un niveau d'arrivée d'eau insuffisant, « raison technique que l'on voudrait nous faire supporter »[1269]. Troisièmement, l'aménagement du périmètre irrigué qui devait être achevé en 1979 ne l'est toujours pas en 1981 et « le FAC retire le responsable européen du périmètre, ce qui conduit inévitablement à l'abandon rapide de celui-ci »[1270]. Enfin, les modalités de l'après-garantie ne sont toujours pas définies ce qui engage la pérennité de la station car « l'administration malienne ne prendra jamais en charge la station »[1271].

L'avenir de Diré est donc compromis pour des raisons qui ne sont ni techniques, ni à imputer à la SOFRETES, mais principalement à la partie malienne et aux pouvoirs publics français impliqués (FAC et COMES).

C'est pourquoi le PDG de la SOFRETES s'en explique avec le SAI du COMES[1272]. Albert Teboul alerte Bernard Devin qu'un rapport technique indique que depuis novembre 1979 la station a fonctionné pour deux campagnes blé (novembre 1979-15 avril 1980 et octobre 1980-avril 1981) mais que deux autres ont été annulées (campagnes sorgho de 15 avril 1980-septembre 1980 et celle à partir d'avril 1981). La chambre froide est livrée mais le complexe hôtelier n'étant pas construit elle ne peut pas

[1268] Courrier interne à SOFRETES-Mengin du 2 mars 1981, « objet : Diré », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1269] *Ibid*.
[1270] *Ibid*.
[1271] *Ibid*.
[1272] Lettre du PDG de SOFRETES-Mengin, Albert Teboul, au chef du SAI du COMES, Bernard Devin, du 29 avril 1981, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.

être installée. La responsabilité de la station sera transférée aux autorités maliennes le 30 novembre 1981, fin de la période de garantie assurée par la SOFRETES. La section de sa lettre intitulée « Rappel du contexte politique de cette station » fait le point sur les « contraintes extérieures » auxquelles la SOFRETES doit faire face qui impactent son bon fonctionnement et sa pérennité mais dont elle n'est pas responsable[1273].

Sur le plan technique, la station est donc en l'état trop puissante par rapport aux besoins réels (c'est une situation plutôt ironique) car ceux-ci ne correspondent pas aux dimensionnements prévus en raison de l'absence de certains périphériques (périmètre irrigué, adduction d'eau à la ville, complexe hôtelier). Dit autrement, pour ne pas se détériorer, la station doit pouvoir tourner à minima, or, beaucoup d'éléments dont la réalisation n'incombe pas à la SOFRETES ne sont pas construits et l'en empêchent.

Premièrement, il n'y a que 50 ha à irriguer ce qui est trop peu par rapport à la capacité de la station, d'autant plus que le canal principal ne peut pas résister à la montée en charge puisqu'il n'est pas calibré convenablement.

Deuxièmement, les arrêts occasionnés par l'annulation des campagnes de sorgho ont contraint la SOFRETES à prendre en charge son entretien à faible charge.

Troisièmement, les partenaires du projet ne remplissent pas leurs obligations. Les Canadiens n'ont pas construit leur réseau d'adduction d'eau sur la pompe Diré 4 ce qui « conduit à des conditions de fonctionnement non conformes »[1274]. Il en est de même en ce qui concerne le complexe hôtelier et son alimentation en électricité et en froid avec « pour effet de diminuer les besoins et nous conduit donc à ne pas faire tourner la station dans des conditions minimales requises »[1275].

Ces problèmes engendrent des dégradations, notamment sur les capteurs, en raison d'une élévation anormale des températures pendant les périodes de non-fonctionnement. La station doit donc tourner « normalement pour la bonne utilisation du matériel et sa conservation »[1276]. Le stockage thermique est fonctionnel, il représente une avancée technique remarquable pour la régulation d'une station solaire mais il ne peut être activé puisqu'il ne peut être utilisé faute de demande.

[1273] *Ibid*.
[1274] *Ibid*.
[1275] *Ibid*.
[1276] *Ibid*.

Enfin, la maintenance n'est toujours pas prévue par le gouvernement malien ce qui force la SOFRETES à maintenir sur place un ingénieur, situation « qui ne correspond pas aux termes du marché »[1277]. Dans ces conditions, le PDG de la SOFRETES avertit le COMES que les pouvoirs publics français doivent apporter une aide financière supplémentaire à l'entreprise afin qu'elle puisse faire face aux frais supplémentaires occasionnés par ces contraintes externes. Une annotation manuscrite du chef du SAI du COMES indique « inappropriée » en face de cette demande.

En mai, le ministre de la Coopération écrit à l'ambassadeur de France au Mali[1278]. Il fait état des raisons du retard pris dans l'achèvement de l'aménagement du périmètre irrigué de l'opération « Blé Diré ». Premièrement, une conception trop superficielle et une réalisation « défectueuse des ouvrages hydrauliques »[1279]. Deuxièmement, la bonne gestion des installations est impossible en raison « d'une absence de coordination des différentes autorités de tutelles (Génie rural, Agriculture, IER, Laboratoire d'Énergie solaire…) »[1280]. Troisièmement, « une inadéquation de la structure de gestion (malienne) Action Blé Diré »[1281]. Dans sa réponse, l'ambassadeur informe le ministre que les Canadiens n'ont toujours pas réalisé l'adduction d'eau potable de la ville de Diré[1282]. Mais le problème est plus grave. Ils veulent remplacer la pompe électrique de la SOFRETES, alimentée par la station solaire, par une pompe Diesel avec deux ans de carburant gratuit[1283]. Une telle proposition est perçue comme une aberration par la partie française : « notre interlocuteur a enregistré les réserves que nous avons formulées sur le remplacement de la pompe déjà installée par le SOFRETES et le gaspillage entraîné par l'utilisation de l'énergie thermique dans le contexte de Diré, si une solution alternative existe. »[1284] Les autorités maliennes adoptent une position très en retrait ce qui, une fois

[1277] *Ibid*.
[1278] Lettre du ministre de la Coopération à l'ambassadeur de France au Mali du 20 mai 1981, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1279] *Ibid*.
[1280] *Ibid.*
[1281] *Ibid.*
[1282] Lettre de l'ambassadeur de France au Mali à Jean-Pierre Cot, ministre délégué chargé de la Coopération et du Développement, du 3 juin 1981, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1283] Peut-on interpréter cette offre canadienne comme celle de l'offensive d'un État pétrolier contre une alternative solaire ? Les chercheurs du collectif canadiens *energyhumanities* (www.energyhumanities.ca) s'attachent à analyser en profondeur la politique publique de l'énergie du Canada exclusivement centrée sur l'exploitation des hydrocarbures. Lire par exemple l'article d'Adam Carlson : https://www.energyhumanities.ca/news/canadian-oil-and-soil-romantic-nationalism-and-eco-fascism
[1284] *Ibid*.

de plus, est symptomatique du rapport qu'entretient le receveur avec un projet de coopération technique : « le service de l'Hydraulique du Mali pour sa part considère que l'adduction d'eau de Diré relève de l'aide canadienne et semble peu soucieux d'intervenir dans cette affaire. »[1285]

Entre l'attitude, à minima attentiste des Canadiens, et celle, détachée, des autorités maliennes, nous comprenons mieux les externalités négatives auxquelles l'opération solaire de Diré et la SOFRETES sont soumises.

En juin, une réunion se tient entre les parties intéressées à l'adduction d'eau de la ville de Diré pour trouver une solution satisfaisante[1286]. Or il est rappelé que conformément au projet initial, il est primordial pour le bon fonctionnement de la centrale solaire, notamment de sa troisième boucle, celle qui délivre l'électricité, que la mise en marche du réseau électrique (eau potable, chambre froide, éclairage et annexes d'irrigation) débute par le démarrage de la pompe placée dans le forage destinée à l'adduction d'eau de la ville de Diré. Aussi : « SOFRETES mentionne qu'elle a respecté le mandat qui lui a été confié mais que l'utilisation du puits (Diré 4) par un tiers met en péril l'équilibre électrique de l'usine solaire, voire son fonctionnement »[1287].

Plus la date de retrait de la SOFRETES de Diré approche et plus la situation se dégrade. Le VSNA en place à Diré informe la SOFRETES du désistement de l'agronome affecté par le FAC à l'opération Blé Diré et s'inquiète des conséquences : « la compagne de pompage risque de ce fait d'être suspendue ou annulée. »[1288] De plus, la SOFRETES s'inquiète car « certains bruits nous laissent entendre que l'abandon de la centrale pourrait être envisagée. »[1289] Le PDG de la SOFRETES écrit au ministère de la Coopération pour exprimer ses craintes quant à l'avenir de la station et rappeler au ministère que l'entreprise fournit, depuis son inauguration en novembre 1979, « un effort important pour maintenir cette centrale solaire en activité malgré les difficultés que vous connaissez »[1290]. La situation est d'autant plus inquiétante qu'aucun contrat n'est passé (ni avec le FAC, ni

[1285] *Ibid*.
[1286] TAMCON, « Compte-rendu de la réunion du 29 juin 1981 », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1287] *Ibid*.
[1288] Lettre de SOFRETES-Mengin au ministère de la Coopération du 25 septembre 1981, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1289] *Ibid*.
[1290] Lettre du PDG de SOFRETES au ministère de la Coopération, M. Revel, du 15 octobre 1981, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.

avec le Mali) pour anticiper le retrait de la SOFRETES à la fin novembre 1981 : « nous rappelons que SOFRETES se retirera du site à partir du 24 novembre 1981, date de fin de garantie ; toute nouvelle intervention de notre part ne pourra être engagée à partir de cette date que dans le cadre d'un nouveau contrat. »[1291] La remarque de l'agent du ministère, annotée dans la marge, est très surprenante : « Bravo ! la période de garantie a-t-elle vraiment commencé ? » Elle signifie deux choses. Premièrement, que le ministère considère que la station n'est pas achevée puisqu'elle dysfonctionne encore. Une période de garantie débute à partir de la réception définitive de la station alors que concernant Diré, justement, à l'inauguration du novembre 1979 correspond une réception provisoire. Deuxièmement, que les responsabilités sont à imputer à la SOFRETES. Cette posture du ministère de la Coopération lui permet également de ne pas reconnaître sa propre responsabilité dans ce qui pourtant est une opération de coopération scientifique technique avec le gouvernement malien.

Le compte-rendu d'une réunion tripartite entre le CEA (pour la SOFRETES), le COMES et le ministère de la Coopération, qui se tient quinze jours plus tard, confirme cette prise de distance des pouvoirs publics avec l'opération et avec la SOFRETES[1292]. Ce document précise que la centrale « fournit largement les besoins en eau du périmètre exploité (30 ha), ce qui est bien inférieur en surface aux premières estimations »[1293]. Étant donné que le matériel destiné à la production de froid est inutilisé mais qu'il pourrait être fonctionnel s'il était branché sur le système de stockage thermique lui-même inutile au regard de la demande actuelle, le CEA suggère de l'installer à l'hôpital « en vue de conserver un gros stock de vaccins »[1294]. Il rappelle que les Maliens doivent prendre en charge la station au plus vite alors que la SOFRETES « assure en frais de maintenance depuis l'inauguration et que ceci est anormal ». Le COMES se montre défiant à l'égard de la SOFRETES en lui demandant de se hâter de lui fournir une recette définitive de la ventilation des 2 MF versés en 1980. L'agence refuse tout financement supplémentaire et suggère qu'il faut trouver un responsable de l'exploitation d'ici un an, « un gars de

[1291] *Ibid*.
[1292] CEA, SEEN, Jean Bliaux, Compte-rendu de la réunion du 30 octobre 1981 avec le COMES et le FAC pour « faire le point sur les stations et projets SOFRETES en Afrique de l'Ouest hors Sénégal », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1293] *Ibid*.
[1294] *Ibid*.

l'Action Blé s'occupant du diesel ferait l'affaire ». Un nouveau VSNA est envisagé. Rien de plus.

La SOFRETES et le ministère de la Coopération ne sont pas d'accord sur la réception définitive de la station de Diré[1295]. Pour la SOFRETES la réception définitive est actée le 24 novembre 1981. Son PDG argue que les manquements de la partie malienne expliquent les mauvaises conditions de fonctionnement. Mais Louis Peyral, de la Sous-direction des infrastructures de l'industrie du ministère de la Coopération, annote en marge : « ce n'est pas la raison. »[1296] Ce commentaire va à l'encontre des éléments empiriques que nous avons rassemblés jusque-là qui prouvent le contraire. Cet agent ne reconnaît donc pas les externalités négatives qui entravent le bon déroulement de l'opération. C'est une façon de rendre la SOFRETES responsable. Pourquoi fait-il cela ? Quoi qu'il en soit, la recette définitive[1297] n'est jamais prononcée par les autorités politiques françaises et maliennes ce qui leur permet de ne pas engager leurs responsabilités et d'en faire porter la charge à la SOFRETES. Or, fin 1981 les jours de la SOFRETES sont comptés.

En 1982, alors que la SOFRETES est sur le point de disparaître (*cf. infra* chapitre 5), un nouveau marché FAC/SOFRETES est envisagé pour prendre en charge la réfection des capteurs qui, rappelons-le, sont endommagés à la suite des périodes anormales d'arrêt de la station en raison des problèmes agraires rencontrées dont les autorités maliennes et la FAC sont responsables. Cependant, si ce nouveau marché peut sembler traduire une volonté de la partie française de remettre en état de fonctionnement la centrale, le libellé de son titre comporte l'expression « mise en service » qui irrite la SOFRETES car il sous-entend que Diré n'a jamais fonctionné. Un tel choix sémantique n'est en effet pas anodin et les responsables de l'entreprise ne s'y trompent pas : « la SOFRETES proteste avec véhémence sur le libellé -mise en service- du titre du nouveau marché. SOFRETES soutient que même s'il n'y a pas eu recette officielle, il y a eu mise en service effective ainsi qu'en témoignent reportages de l'inauguration et relevés de fonctionnement de la

[1295] Lettre du PDG de SOFRETES au ministère de la Coopération du 26 novembre 1981, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1296] *Ibid*.
[1297] La recette définitive désigne le moment juridique où le chantier est considéré par les deux parties comme achevé. Le client prend alors totalement possession de l'objet du contrat, il en devient donc l'exploitant et le responsable.

station. »[1298] Or dans la marge, une annotation du ministère de la Coopération précise : « SOFRETES n'a pas d'autre alternative »[1299]. La liquidation de l'entreprise est décidée à la même période et la centrale de Diré est abandonnée.

Ces contraintes sont révélatrices d'un problème de fonds qui semble beaucoup plus ressortir d'une absence de volonté politique qui sous-tend ces opérations, puisqu'elles ne sont pas contractuellement prévues pour fonctionner convenablement dans le temps d'une exploitation sanitaire, pastorale ou agricole. C'est leur raison d'être tout entière qui est remise en cause et c'est bien l'opération politique qui est néfaste à la technique. Ni le gouvernement bailleur, ni le gouvernement client, ne prévoient, au-delà de la mise en route, d'instruments pour pérenniser le dispositif puisqu'aucun moyen ne lui est alloué[1300]. La machine est abandonnée à son propre sort et les villageois sont désemparés.

Commanditaires et bénéficiaires sont très éloignés dans l'espace, mais très proches par leur nature institutionnelle publique. La SOFRETES et sa machine existent dans une configuration particulière, celle d'un marché d'aide, qui est un marché public, à l'échelle internationale. Comme en témoigne Christian Marbach, si les États, qui sont à la fois commanditaires, actionnaires et bénéficiaires, retirent progressivement leur soutien, ou distendent leur suivi, ledit marché n'existe plus[1301]. L'analyse de l'action publique solaire n'en est donc que plus pertinente puisque nous sommes en présence

[1298] SAI du COMES, Compte-rendu d'une visite au CEA Cadarache du COMES et du ministère de la Coopération le 11 novembre 1982, « Sofretes Diré (Mali), copie du ministère de la Coopération annotée à la main, 12 novembre 1982, p. 3., Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1299] *Ibid*.
[1300] En 1981, pour faire face au problème de la répartition des responsabilités en matière d'entretien et de maintenance des installations solaires après la période de garantie dans le cadre des opérations de démonstration financées par FAC, le COMES propose de remanier les termes de la convention de financement tripartite utilisée jusque-là entre le ministère de la Coopération, le pays client et l'entreprise (par exemple la SOFRETES). Le COMES insiste pour que le maître d'ouvrage, à savoir le propriétaire, en l'occurrence ici le pays du tiers-monde, soit clairement désigné comme le responsable du bon fonctionnement des installations dans le temps de leur exploitation dès l'achèvement de la période de garantie. Pour cette dernière, qui débute à la recette provisoire, il est spécifié qu'il convient d'encadrer de façon réglementaire les modalités opératoires que doit respecter le client-opérateur à qui l'installation est confiée afin qu'il l'utilise dans les conditions requises. Ainsi, la garantie ne devient applicable que, si et seulement si, le client-opérateur en fait le bon usage. Cela éviterait les mésusages, puis les litiges qui s'en suivent entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre et enfin, l'abandon des installations qui en résulte. SAI du COMES, « Compte-rendu de la réunion de travail du lundi 18 mai 1981 – Programme FAC-COMES », 18 mai 1981, p. 6, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 6.
[1301] Entretien avec Christian Marbach, *op. cit*.

d'une société aux capitaux mixtes, dans laquelle la part détenue par l'État ne cesse de croître, et que ses commanditaires et bénéficiaires sont des acteurs publics. En fait, la part d'initiative privée est extrêmement restreinte, l'influence des facteurs techniques et technico-économiques sont très limités car l'existence de la proposition sociotechnique solaire de la SOFRETES est absolument contrôlée par la puissance publique, elle dépend bien peu de sa capacité à pomper de l'eau, qui est parfaitement attestée dès le début des années 1970. Comme le dit très justement Girardier en 1979, « au fur et à mesure que nos objectifs deviennent plus vastes, il est de moins en moins possible d'être une entreprise privée »[1302].

Ainsi, plus nous nous rapprochons des éléments empiriques sur lesquels reposent les opportunités et les contraintes qui composent les dynamiques dans lesquelles la SOFRETES existe et plus les responsabilités de l'entreprise (mauvaise gestion) et de son objet technique (manque de fiabilité) dans leurs disparitions semblent s'éloigner. A l'été 1978, alors que la Commission des finances prépare la loi de finance pour 1979, elle questionne la DIMME au sujet de l'avenir de la SOFRETES. La réponse assure « l'avenir de la SOFRETES sera sans problème quand cette société maîtrisera mieux ses prix de revient »[1303]. L'évaluation pointe uniquement des difficultés financières (les coûts) mais comme nous venons de le voir elles ne sont pas à imputer, ni à l'entreprise, ni à la technique, mais plutôt à leurs conditions d'existence extrinsèques. Ce qu'une remarque de la DIMME confirme indirectement : « de bonnes perspectives sur un créneau où la SOFRETES détient un quasi-monopole et où elle maîtrise progressivement toutes les difficultés nées de l'industrialisation de produits nouveaux. »[1304]

Un dernier ensemble de déterminants contraint durablement l'existence de la SOFRETES et de ses machines. Tout d'abord, elle n'est pas la seule entreprise à proposer des solutions solaires qui peuvent faire l'objet d'une opération technopolitique. Ensuite, elle agit à l'intérieur d'un cadre juridique international de l'énergie solaire en cours d'élaboration qui impacte ses opérations.

[1302] GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean-Pierre, *op. cit*., 1979, p. 95.
[1303] DIMME, « Note pour S.G. Réponse à la rubrique n°47, questionnaire de la Commission des finances. Situation de la SOFRETES », 7 août 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1304] *Ibid*.

3.4 Concurrences et accords internationaux en matière d'énergie solaire

La SOFRETES et ses partenaires doivent composer avec de nombreuses concurrences qui s'expriment sous la forme d'accords contractuels, à l'échelle nationale et internationale, entre entreprises, entre États, entre établissements publics, ou encore dans des configurations mixtes (États-entreprises privées-établissements publics). De plus, les actions de la SOFRETES sont elles-mêmes contraintes par les termes des accords internationaux qui encadrent les marchés passés.

Des acteurs publics et privés, français et étrangers, proposent, dans le même marché d'aide public au développement que la SOFRETES, des sociotechniques distinctes[1305], mais de fait concurrentes, auprès des institutions de financement (DGRST, DEN, FAC, MAE, COMES-AFME, CEE, PNUE, fonds arabes, etc.) et des gouvernements clients. Nous pouvons dégager deux réflexions préalables.

Premièrement, ces acteurs entrent donc en concurrence avec la SOFRETES aux deux extrémités du marché d'aide public au développement qui contrôle l'opération solaire dans les relations internationales : auprès des donateurs (nationaux et internationaux) et auprès des receveurs du tiers-monde. Les rapports de force sont donc inévitables entre la SOFRETES et ses concurrents. Secondement, les termes des contrats engagés ne sont pas forcément favorables au succès de l'opération solaire, ni à la survie de la machine, comme nous avons rendu compte avec les études de cas du Mexique et de Diré par exemple.

[1305] Nous pourrions également nous demander si d'autres moteurs solaires font à l'époque, en France par exemple, l'objet de brevets industriels. Le cas échant, cela signifierait que le paysage concurrentiel est chargé de potentiels et de tentatives dont nous ignorons l'existence. Or c'est justement le cas. Ce qui complique une fois de plus notre analyse. Cela nous fait dire que beaucoup de travail reste à faire, au-delà des limites de notre propre étude. Car pour ne prendre que quelques exemples, l'École nationale supérieure d'arts et métiers dépose plusieurs demandes de brevets industriels de 1975 à 1978, pour des moteurs solaires thermodynamiques. École nationale supérieure d'arts et métiers centre de Paris et Bernard GIRONNET, « Moteur à vapeur à course alternative utilisant l'énergie solaire », 1er décembre 1975, n°7536705 ; École nationale supérieure d'arts et métiers centre de Paris et Lucien VIVIER, « Moteur à vapeur pour fluide à faible écart de températures », 16 juillet 1976, n°7621764 ; École nationale supérieure d'arts et métiers centre de Paris, de Robert DUCHAMP, Dominique GARSAUD, et Christian DELAUNAY, « Moteur solaire sans piston ni lubrification », 5 juin 1978, n°7816718. Voir notre répertoire de brevets industriels pour d'autres exemples de moteurs solaires. Un dossier d'archives du ministère de la Coopération fait état de plusieurs entreprises françaises qui proposent des dispositifs de conversion de la chaleur solaire à destination des zones rurales des pays pauvres. Il s'agit des entreprises SICOPA, DURAFOUR, Parabolique Système Industrie et du Groupement d'Application d'Héliotermique Tropicale (GAHT). Dossier « GAHT Héliothermique », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, caton 6.

Ce système concurrentiel peut être rendu plus intelligible en identifiant auprès des bailleurs et des commanditaires, la présence du CNRS, celle des entreprises françaises qui proposent des dispositifs photovoltaïques et celle des acteurs étrangers.

La SOFRETES et le CEA (qui est son principal administrateur et partenaire technique) doivent se positionner par rapport au CNRS auprès de la DGRST, puis de la DEN et du FAC qui orchestrent le programme Énergies Nouvelles pour le Sahel de 1975 à 1978, et enfin vis-à-vis du COMES-AFME de 1979 à 1983, afin d'obtenir des subventions publiques pour leur programme de R&D et leurs opérations de démonstration.

Comme nous l'avons déjà mentionné, l'institutionnalisation du solaire passe par l'orientation de la Recherche publique au sein du Programme interdisciplinaire de recherche pour le développement de l'énergie solaire (PIRDES) du CNRS créé en 1975 (*cf. supra* introduction de la partie II)[1306]. La SOFRETES, en tant que filiale du CEA, entre donc dans une double concurrence avec le CNRS. La première se situe au niveau de sa proposition sociotechnique alors que la seconde se place au niveau institutionnel. Le PIRDES privilégie non seulement les dispositifs à concentration solaire (programmes Them, Thek, Périclès et Sophocle), qu'ils soient à moyennes ou à hautes températures, mais il cherche à les proposer à des gouvernements étrangers tout en favorisant progressivement les solutions photovoltaïques pour les petites puissances de quelques kW[1307]. Il tire fortement sur l'enveloppe recherche dédiée au solaire (DGRST et DEN)

[1306] Sur les domaines d'actions du PIRDES (filières techniques et opérations de démonstration) et leurs modalités (acteurs, financements, coopération, etc.) voir par exemple : CNRS-PIRDES, Équipe technique de base, « Compte-rendu d'activité du PIRDES octobre 1974-octobre1978 », non-paginé, Archives nationales, ministère de la Recherche, CNRS, Direction des programmes et de la stratégie, Direction des études et des programmes (1974-2001), répertoire 20040463, carton 62 ; Rapports d'activités du PIRDES (Juillet 1975-août 1976, activités en cours au 1er juillet 1977, 1977-1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984), Archives nationales, ministère de la Recherche, CNRS, Direction des programmes et de la stratégie, Direction des études et des programmes (1974-2001), répertoire 20040463, carton 25. Un des points intéressant notre enquête concernant les rapports entre le PIRDES et la SOFRETES-CEA est la présence de Jean Deflandre (CNRS-ANVAR) comme conseiller scientifique dans l'équipe qui est établie en octobre 1974 auprès de la direction du CNRS avec pour mission la définition du futur PIRDES. A cette époque Deflandre est administrateur de la SOFRETES (*cf. supra* chapitre 2). Cette double position, qu'il conserve jusqu'au retrait de l'ANVAR de la SOFRETES en 1979, n'est pas forcément exempte de conflits d'intérêts et d'influence contraire. Elle illustre assez bien la logique, alors à l'œuvre, d'imbrication des acteurs du solaire dans un système de financement complètement contrôlé par les pouvoirs publics.

[1307] Voir l'annexe « Fiches résumées d'opération » du rapport « CNRS-PIRDES, Équipe technique de base, « Compte-rendu d'activité du PIRDES octobre 1974-octobre1978 », non-paginé, Archives nationales, ministère de la Recherche, CNRS, Direction des programmes et de la stratégie, Direction des études et des programmes (1974-2001), répertoire 20040463, carton 62. Par exemple des opérations sous la

ainsi que sur celle que le COMES ventile à partir du deuxième semestre 1978[1308]. Les demandes de financement de programmes de recherches en thermodynamique solaire reçues par la DGRST pour 1976-1978 confirment les présences concurrentielles du CNRS et du CEA[1309]. Elles renseignent également sur celles de quelques grands groupes industriels français qui s'engagent dans ce secteur[1310]. Le CNRS cherche aussi un relai auprès du SAI du COMES pour atteindre des partenaires potentiels à l'étranger afin de diffuser leurs choix techniques. Par exemple, le COMES offre un générateur Sophocle du CNRS à l'Université de Ryad (dispositif photovoltaïque par concentration) alors que l'opération SOFRETES en cours peine à trouver une issue favorable[1311]. Au Mexique, le CNRS passe des accords de recherche solaire et offre également un Sophocle[1312]. Au Brésil, le COMES et le CNRS établissent un accord de coopération pour un programme expérimental Périclès (dispositif thermodynamique à moyennes températures par concentration)[1313]. Nous reviendrons un peu plus loin sur l'aspect contractuel.

A l'étranger, au mi-temps des années 1970, la SOFRETES détient un quasi-monopole des opérations solaires de démonstration avec ses stations solaires thermodynamiques basse température. En à peine quelques années, la concurrences des acteurs français et étrangers du pompage photovoltaïque se fait plus vive[1314]. Elle se

responsabilité de Jean Deflandre : opération n°111 « collaboration avec CNRS ERDA (USA), opération n°112 « définition générale centrale THEM », n°211 « collaboration Algérie », n°212 « collaboration Brésil », n°213 « collaboration Iran », n°314 « définition centrale THEK », n°315 « stockage thermique à moyenne température », etc.

[1308] COMES, Comité financier du 10 août 1978, Autorisation de programme 1979, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 6. Par exemple, début 1978, le CNRS reçoit 11,4 MF de l'enveloppe-recherche et la SOFRETES 0,4 MF de la DEN (p. 2). Voir également le Rapport du COMES du 23 janvier 1979 intitulé « La recherche solaire en France », « Dossier d'information au Ministre », Conseil des ministres du 26 juin 1979, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19880199, carton 5.

[1309] DGRST, tableau récapitulatif des *propositions reçues dans le domaine du thermodynamique solaire, 1976-1977*, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

[1310] Par exemple, Bertin (n°7ES et n°64TS), Thomson-CSF (n°18TS), Alsthom (n°32TS et 33TS). *Ibid*.

[1311] MAE, « Arabie Saoudite », fiches opérations par pays, document manuscrit, Pochette « Projet de développement des énergies solaires par pays, 1980 », Dossier « Énergies solaires et renouvelables », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 6 ; SAI du COMES, Jean-Jacques Subrenat, Note « Arabie saoudite : énergies renouvelables », 30 janvier 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.

[1312] MAE, « Mexique », « programme PIRDES », fiches opérations par pays, document manuscrit, Pochette « Projet de développement des énergies solaires par pays, 1980 », Dossier « Énergies solaires et renouvelables », Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 6.

[1313] SAI du COMES, « Projet Ilha Energetica », 11 décembre 1980, Archives nationales, AFME, répertoire 20050139, carton 31.

[1314] Voir par exemple le rapport du COMES « programme d'implantation terminées, en cours d'exécution ou prochainement réalisés » pour le Sénégal de mai 1979. Ce document dresse la liste exhaustive de tous les projets franco-sénégalais d'équipements en dispositifs de conversion des énergies renouvelables. Il

trouve renforcée par le COMES lorsque celui-ci réoriente plus franchement ses crédits vers les groupes français du photovoltaïques[1315], qui bénéficient déjà des aides de la DGRST[1316]. Rappelons que le Président du COMES est le photovoltaïcien Henry Durand, Directeur du LEP de Philips[1317]. Le juriste Éric Didier établit ce constat à l'époque des faits : « en effet, si la situation quasi-monopolistique de la Sofretes dans la conversion thermodynamique peut constituer un atout pour cette société, il n'en reste pas moins que la révision de la politique française en 1979 s'est traduite par une orientation à des fins économiques plus que politiques des crédits distribués par le COMES. »[1318] L'auteur fait

permet d'identifier les opérations photovoltaïques aux côtés de celles de la SOFRETES et de sa filiale SINAES. Les Pompes Guinard équipent par exemple les stations photovoltaïques de Baback, Toki et Bambey (pp. 8-9). Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 41, Sénégal 1976-1981. Les Pompes Guinard sont également actives au Mexique ou elles décrochent un contrat de 7 pompes photovoltaïques. Lettre de Jean-Jacques Subrenat, SAI du COMES, à Xavier Mallet, Président des Pompes Guinard, du 27 mars 1979, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42. On peut consulter la liste des pompes photovoltaïques installées par Guinard (vraisemblablement en 1978) dans un document complémentaire au compte-rendu d'activité du PIRDES (octobre 1974-octobre 1978) : « Pompes solaires photovoltaïques Alta-X – liste de références », non-paginé, Archives nationales, ministère de la Recherche, répertoire 20040463, carton 62. Un dernier exemple : en 1977, le ministère de la Coopération fait état de « demandes officieuses de pompes solaires photovoltaïques qui lui ont été transmises directement par la société Briau » qui espère ainsi décrocher des contrats pour des opérations de démonstration au Tchad (les pompes Briau sont une sous-filiale de Vallourec). Lettre du ministère de la Coopération à l'Ambassadeur de France au Tchad du 4 octobre 1977, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19840224, carton 6.

[1315] Les rapports annuels d'activités du COMES publient en annexe la liste de tous les contrats de financement passés, ce qui permet d'apprécier la part croissante des subventions accordées par l'administration de mission solaire aux opérations photovoltaïques. *Rapport annuel du COMES* (1978-1979, 1980, 1980), Archives nationales, COMES-AFME, répertoire 19940249, carton100. Par exemple, pour l'année 1980, il s'agit de l'annexe qui débute à la page 61. On peut également consulter dans les archives du ministère de l'Industrie les documents relatifs aux différentes décisions d'attribution d'aides par le COMES. On y trouve les dossiers SOFRETES ainsi que ceux des prestataires de la filière photovoltaïque comme RTC, Briau, Guinard-Leroy-Somer puis France-Photon et Photowatt. Par exemple, la prise en charge à 100% par le COMES des modules photovoltaïques RTC destinés à l'entreprise Les Pompes Guinard du groupe Leroy-Somer pour l'équipement de l'hôpital de San au Mali pour donner suite à une décision du ministère de la Coopération au Comité directeur du FAC en juin 1978 (94.CD.78). COMES, « Attribution de subvention au titre de la garantie d'achat de panneaux photovoltaïques auprès de RTC », 9 novembre 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 6. Il y a aussi les cartons 7, 8 et 9 : « Décision d'attribution d'aides : fiches sociétés 1978 à 1981 ».

[1316] Par exemple : subvention du Crédit national aux Pompes Guinard de 5 350 000 FF, Dossier d'aide à la recherche n°76DA0652 ; Subvention du Crédit national aux Pompes Guinard de 3 000 000 FF, Dossier d'aide à la recherche n°77DA0779. Archives nationales, ministère de la Recherche, répertoire 19890225, carton 1.

[1317] Henry Durand (1928-1992) est normalien. Il intègre l'École Normale Supérieur après avoir quitté l'École des Mines de Paris sans obtenir le diplôme d'Ingénieur civil des Mines. La courte biographie des Mines consacrée à Durand comporte une erreur intéressante. Il est spécifié que le pouvoir de Durand en tant que Président du COMES est limité par la création d'un DG en 1981 par le nouveau pouvoir socialiste. Or, comme nous le verrons plus loin, ce n'est pas le cas. La création d'un DG du COMES date de 1980. https://www.annales.org/archives/x/henry-durand.html

[1318] DIDIER, Éric, « Les différents types d'accords conclus pour l'établissement de l'énergie solaire », *Revue juridique de l'environnement*, n°4, 1979, p. 348, et DIDIER, Éric, « Le droit de l'énergie solaire et les différents types d'accords conclus pour l'utilisation de cette source d'énergie », thèse de 3e cycle en

référence ici à la réorientation de la politique publique solaire française de 1979 en faveur du photovoltaïque, engagée par le ministre de l'Industrie André Giraud, notamment à la suite de l'accord interministériel du 12 février 1979 et des Conseils des ministre des 14 février 1979 et 26 juin 1979[1319] (*cf. infra* chapitre 5 et 6).

Cette concurrence d'une filière photovoltaïque à laquelle la SOFRETES doit faire face est d'abord celle des groupes industriels américains qui ont des intérêts dans le silicium photovoltaïque et qui concluent des accords d'entreprises dans l'énergie solaire avec des sociétés françaises. Les entreprises françaises qui commercialisent des installations photovoltaïques pour la zone intertropicale ont toutes comme partenaire une société américaine qui apporte la technologie du silicium photovoltaïque nécessaire à la fabrication des cellules : « jusqu'en 1979, la structure du marché français était simple : il y avait RTC (Philips), unique fabricant de cellules et de modules qui bénéficiait d'une rente de situation confortable, d'autant plus que le COMES lui achetait automatiquement une grosse partie de sa production. Depuis 1979, une demi-douzaine d'accords importants ont été conclus entre des groupes français et des sociétés américaines sous des formes diverses »[1320]. En échange, la partie française de la *joint-venture* permet aux firmes américaines de pénétrer les pays francophones d'Afrique[1321]. Au niveau des pompes de puits qui équipent les dispositifs photovoltaïques, ce sont les Pompes Briau et les Pompes

droit des organisations internationales et des relations économiques internationales, sous la direction de DEVAUX-CHARBONNEL, Jean, Université Paris I, 1981, p. 8.

[1319] Pochettes « Conseil des ministres du 14 février 1979 » et « Conseil des ministres du 26 juin 1979 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, Fond André Giraud, répertoire 19880199, cartons 4 et 5. Ces documents sont de toute première importance, aussi nous y reviendrons plus en détail dans le chapitre 6.

[1320] DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, p. 273. Didier présente en détail, dans son article de 1979 et dans sa thèse de 1981, les coopérations privées dans le solaire photovoltaïque et la diversification des grands groupes qui va avec. Nous ne faisons ici que résumer quelques faits qui nous intéresse. Nous renvoyons donc à cette source pour plus d'informations. DIDIER, Éric, *op. cit*., 1979, pp. 346-347 et DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 270-304. D'autres travaux réalisés à cette époque sont très complémentaires sur ce thème comme BARBET, Philippe, « Enjeux économiques et industriels de l'énergie solaire », thèse de 3e cycle de politique économique et planification, sous la direction de CHEVALIER, Jean-Marie, Université Paris XIII, 1981, pp. 181-203. Et notamment des thèses effectuées à l'IEJE de Grenoble (certaines en collaboration avec le PIRDES et le COMES) : CRIQUI, Patrick, « L'énergie solaire en France, approche socio-économique », thèse de 3e cycle, Université des sciences sociales de Grenoble, sous la direction de PERCEBOIS, Jacques, Institut économique et juridique de l'énergie, Grenoble, 1979, voir les fiches entreprises en annexe qui schématisent les participations croisées des grands groupes industriels français dans le solaire photovoltaïque en 1978 tels Saint-Gobain – Pont-à-Mousson (p. 282), CGE (p. 284), PUK (p. 286), DNL (p. 287), CFP (p. 288), SNEA (p. 290) ; PERRIN, Francis, « La diversification énergétique des grandes compagnies pétrolières depuis la crise d'octobre 1973. Le cas de l'énergie solaire », thèse de 3e cycle en Économie de l'énergie, sous la direction de MARTIN, Jean-Marie, Université des Sciences Sociales de Grenoble, Institut Économique et Juridique de l'Énergie, 1984, pp. 140-331.

[1321] DIDIER, Éric, *op. cit*., 1979, pp. 346-347.

Guinard[1322] qui se posent en concurrents directs des Pompes Vergnet, fabriquées et installées par la SOFRETES (*cf. infra* chapitre 4). Les deux principaux pétroliers français, la CFP et Elf, qui, rappelons-le, furent toutes deux candidats pour le rachat de la SOFRETES à la SOFINNOVA en 1975 (c'est CFP qui remporte la mise), prennent des parts dans des entités commerciales franco-américaines, qui leurs permettent par la même occasion d'effectuer d'autres acquisitions françaises. En 1976, la CFP prend le contrôle de Photon Power, alors que Elf crée un GIE (Elf-Union) avec les Pompes Guinard et les Piles Wonder. En 1977, le groupe Leroy-Sommer, qui contrôle les Pompes Guinard, s'associe avec le leader mondial Solarex dans France-Photon. En 1979, Thomson CSF s'associe avec *Exxon*, qui possède le numéro deux du photovoltaïque mondial (*Solar-Power Corp*.), dans SAHEL. Toujours en 1979, la CGE, qui est présente dans le photovoltaïque avec ses filiales Cipel et Saft, et qui entre au capital de la SOFRETES cette année-là *via* Alsthom-Atlantique (sa filiale Rateau a un GIE avec Mengin) et Cipel, signe avec *Sensor Technology*. La CGE se rapproche alors de Rhône-Poulenc et de Elf pour créer Photowatt, qui fusionnera en 1980-1981 avec RTC Compelec (quatrième producteur mondial de cellules)[1323]. Photowatt prendra également des parts de la SOFRETES (*cf. infra* chapitre 5).

La conclusion de Didier sur la nature des acteurs qui contractent des accords pour l'utilisation de l'énergie solaire, insiste sur la prédominance des secteurs conventionnels, nucléaire et de l'électronique : « dans le domaine des applications, on assiste à une prolifération d'accords conclus entre grandes compagnies pétrolières voire nucléaires, ou entre fabricants de composants. »[1324] En d'autres termes, le solaire, et surtout le

[1322] Guinard est le principal pompiste solaire français concurrent de la SOFRETES à l'étranger. Le dossier « Guinard 1969-1983 » d'un fonds du ministère de l'Industrie renseigne sur les activités de l'entreprise et sur son histoire administrative. La société est créée en 1919. En 1967, la famille Guinard cède 45 % de son capital à Pont-À-Mousson (PAM) 35 % et à Creusot-Loire 10 %. En 1972, Leroy-Somer (LS), qui était un client, prend le contrôle total de la société et la restructure. En 1982, LS est actionnaire à 88,5 %. Au début des années 1980, les activités de Guinard sont réparties comme suit : énergie 29 %, agriculture 30 %, habitat, 25 %, industrie 19 % ; 55,5 % du capital est à l'export. A l'étranger, la société est bien placée pour l'irrigation, son principal client est l'Arabie Saoudite (40 % de ses exportations en 1982). Les Pompes Guinard se classeraient à la 10ème place dans le monde et à la 3ème en Europe derrière *KSB* (Allemagne). Dossier « Guinard 1969-1983 », Dossiers de sociétés moyennes (aides diverses, brevets et licences, documentation), par ordre alphabétique, 1964 – 1986, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910397, carton 33, reproductions interdites.

[1323] Pour la diversification solaire de la CGE dans le photovoltaïque, de la SNEA (Elf) et la création de Photowatt, les travaux de Perrin en 1984 sont particulièrement documentés et précis. PERRIN, Francis, *op. cit*., 1984, pp. 274-300. *Idem* pour la CFP-Total, pp. 208-217.

[1324] *Ibid*., p. 348.

photovoltaïque, n'existe qu'à travers ses concurrents, les énergies conventionnelles, et l'actionnariat de la SOFRETES confirme pleinement cette norme. La situation de la SOFRETES est particulière en ce que la CFP-Total et la CGE sont à la fois ses administrateurs et ses concurrents engagés dans la filière photovoltaïque par le biais d'autres filiales[1325]. La SOFRETES développe progressivement une proposition photovoltaïque afin de se positionner sur ce volet du marché d'aide (*cf. infra* chapitre 4).

Sur le terrain des installations, la SOFRETES côtoie parfois de près ses concurrents photovoltaïques français. Au Mali, les opérations de pompage solaire du Père Bernard Vespieren avec son association de forage, Aqua-Viva Mali, s'opposent frontalement aux opérations de pompage thermodynamique de la SOFRETES[1326].

A partir de 1975, le Père Vespieren se fait le promoteur du pompage photovoltaïque au Sahel, notamment au moyen d'un premier dispositif composé de cellules RTC (Philips) adaptées à des pompes de puits Guinard[1327]. Le père Vespieren se fait également le détracteur de la proposition sociotechnique de la SOFRETES. Les termes de sa critique (pour beaucoup erronés), sont emblématiques des points qui alimentent la controverse sur l'intérêt comparé des deux trajectoires sociotechniques solaires qui se rencontrent à l'époque au Sahel. John Perlin les relaye dans son célèbre ouvrage, *From Space to Earth, The Story of Solar Electricity*. Il convient de les citer ici intégralement pour bien en mesurer la teneur :

> Vespiren, always on the lookout for a better way to run his pumps, visited one of these solar thermal pump installations in Mali. He immediately saw that it would never work in Africa. Each thermal pump required a resident engineer on duty twenty-four hours a day to make adjustments and repairs. In Africa, such skilled personnel would not be available. To Vespiren, the new solar pump was just like de Diesel pump. Because it had an engine. You fall into that old abyss of motors, of turbines, he pointed out. It's extremely inefficient

[1325] Photowatt (CGE), le COMES et le Secrétariat d'État à la Recherche Scientifique et Technique (SERST) sénégalais mènent au Sénégal un projet concurrent aux stations solaires mixtes de force motrice de la SOFRETES (telle Diakhao) : le village solaire photovoltaïque de Niaga-Wolof. Bernard Devin, SAI du COMES, « Note sur la situation de la coopération dans le domaine des énergies renouvelables avec le Sénégal (note pour réunion avec Aigrain) », Annexe 11, « Projet de village solaire sous l'égide du PNUE », 21 janvier 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 31.

[1326] Les inaugurations simultanées au Mali en novembre 1979, de la station de pompage électro solaire thermodynamique de la SOFRETES à Diré et celle, photovoltaïque, du Père Vespieren à l'hôpital de San, en sont symptomatiques. COMES, *Rapport d'activité 1978-1979*, Archives nationales, COMES, répertoire 19940249, carton 100, p. 24.

[1327] PERLIN, John, *op. cit*., 2003, pp. 107-108. GHEERBRANT, Michaël, « De l'eau sous le soleil du Sahel », *Le Monde*, 18 décembre 1985. Un article récent propose une évaluation des opérations menées par Vespieren : PAGLIARO, Mario, « Father Verspieren and Mali Aqua Viva : Lessons Learned from Fighting Drought and Poverty with Photovoltaic Solar Energy in Africa », *Sustainability*, 12, 3136, 2020, http://www.mdpi.com/journal/sustainability.

> conversion of solar energy into useful work also mandated a heavy solar collectors that weighed many tons and occupied more than a thousand square yards. Vespiren wondered how such a bulky object could be carried to village where roads are always questionable at best. Or worse, what if the sun pump were in place and the well went dry ? Imagine, he thought, trying to take that monstrosity apart to reassemble somewhere else ! What the Africans got, in the words of one critic, was an extremely cumbersome, material-intensive technology. {…} whose costs were high and reliability in remote locations very doubtful. Terry Hart, the former chief technical advisor to the Malian National Solar Laboratory, called solar thermal pumps a classic example of European laboratory technology which is not at all adapted to field conditions. Vespiren would have nothing to do with them. And that was smart as none of them ever worked for very long[1328].

L'intensité du désaccord entre Vespieren (Perlin se range à ses conclusions) et Girardier, ne s'explique pas seulement par l'opposition de deux hommes et de deux techniques, mais peut-être aussi par celle de deux systèmes d'acteurs économiques. En effet, si Girardier est un industriel d'un secteur traditionnel (pompes d'assainissement, mécanique générale, chaudronnerie), dont l'outil familial sert le projet solaire, le Père Vespieren est également issu d'une famille d'industriels. Les Vespieren sont les co-fondateurs du groupe Legrand, un des leaders mondiaux du secteur de l'appareillage électrique à basse intensité pour le bâtiment. C'est d'ailleurs sa fortune personnelle qui lui permet de financer pour partie son association Aqua-Viva Mali[1329]. Ses activités solaires photovoltaïques vont donc dans le sens d'une diffusion des appareillages électriques conventionnels, qui sont nécessaires à l'assemblage et aux usages des

[1328] « Vespiren, toujours à la recherche d'une meilleure façon de faire fonctionner ses pompes, a visité l'une de ces installations de pompes solaires thermiques au Mali. Il a tout de suite vu que cela ne fonctionnerait jamais en Afrique. Chaque pompe thermique nécessitait un ingénieur résident en service vingt-quatre heures sur vingt-quatre pour effectuer des ajustements et des réparations. En Afrique, ce personnel qualifié ne serait pas disponible. Pour Vespiren, la nouvelle pompe solaire était comme la pompe diesel. Parce qu'elle avait un moteur. Vous tombez dans ce vieil abîme de moteurs, de turbines, a-t-il souligné. Sa conversion extrêmement inefficace de l'énergie solaire en travail utile a également nécessité de lourds capteurs solaires pesant plusieurs tonnes et occupant plus de mille mètres carrés. Vespiren s'est demandé comment un objet aussi volumineux pouvait être transporté dans un village où les routes sont toujours douteuses au mieux. Ou pire, que se passerait-il si la pompe solaire était en place et que le puits s'asséchait ? Imaginez, pensa-t-il, essayer de démonter cette monstruosité pour la remonter ailleurs ! Ce que les Africains ont obtenu, selon les mots d'un critique, était une technologie extrêmement lourde et gourmande en matériaux... dont les coûts étaient élevés et la fiabilité dans les régions éloignées très douteuse. Terry Hart, ancien conseiller technique en chef du Laboratoire solaire national malien, a qualifié les pompes solaires thermiques d'exemple classique de technologie de laboratoire européenne qui n'est pas du tout adaptée aux conditions de terrain. Vespiren n'aurait rien à voir avec eux. Et c'était intelligent car aucun d'entre eux n'a jamais fonctionné très longtemps ». PERLIN, John, *op. cit*., 2003, pp. 105-106. Lire également ce que Wolfgang Palz écrit au sujet des activités du Père Vespieren au Mali (il reprend les propos de Perlin) : PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 2013, pp. 156-174.

[1329] Sur la famille Vespieren et le groupe Legrand voir : BOUET Guy, BALABANIAN Olivier, « Une multinationale limousine : Legrand », *Norois*, n°164, Octobre-Décembre, 1994. pp. 713-718 ; https://www.lesechos.fr/2017/01/edouard-decoster-aux-origines-de-lepopee-legrand-159303 ; https://www.jeuneafrique.com/54744/archives-thematique/bernard-verspieren-le-malien-blanc/ ; http://www.thierryprouvost.com/Verspieren.html

dispositifs photovoltaïques, notamment pour l'habitat (éclairage et branchement d'appareils électriques et électroniques). Comme Girardier, son outil industriel sert son projet solaire, et *vice-et-versa*. La sanction finale de Perlin, comme quoi l'évaluation de Vespieren est exacte, puisque les faits la confirment, à savoir que les installations de la SOFRETES ne fonctionnent pas, nous rappelle l'importance de ce que nous essayons de démontrer : ceci est erroné. Les éléments empiriques qui nous permettent de reconstituer les faits démontrent que les prototypes fonctionnent convenablement. Si les machines sont arrêtées, c'est à la suite d'une décision, et non à cause d'un dysfonctionnement technique. Elles sont abandonnées par le client pour de nombreuses raisons, principalement parce qu'aucun contrat de maintenance n'est envisagé, et que l'objectif des opérations solaires n'est pas d'assurer le bon fonctionnement de la machine dans le temps long. C'est ce que nous avons prouvé avec par exemple les opérations Chinguetti (Mauritanie), *Tonatiuh* (Mexique) et Diré (au Mali justement).

Les installations du Père Vespieren et de son association Mali Aqua Viva intègrent en fait des projets de coopération pilotés par le pétrolier national Elf et le gouvernement malien au sein de l'Association Solaire Elf-Mali[1330]. Elf s'engage dans un projet d'équipement et de développement industriel de la République du Mali dans le domaine des applications de l'énergie solaire, notamment avec un programme de pompage photovoltaïque soutenu par le ministère de la Coopération, le COMES, le FED et des organisations caritatives comme le CCFD qui financent également des opérations SOFRETES[1331]. Les installations de 1977 à 1981 sont toutes équipées de pompes Guinard dans les forages[1332]. En ce qui concerne les photopiles les fournisseurs sont : Solar Power, Solarex, France-Photon, Arco-Solar, RTC et Photowatt, c'est-à-dire des entreprises qui vendent une technologie américaine comme nous l'avons explicité plus-haut[1333]. L'état des lieux des besoins en forage équipés du Mali, réalisée en 1980 par l'Association solaire Elf-Mali, nous permet de mesurer les potentiels du marché d'aide publique dans lequel la concurrence s'exerce :

[1330] Association solaire Elf-Mali, *Projet d'équipement et de développement industriel de la République du Mali dans le domaine des énergies nouvelles*, Octobre 1980 et Association solaire Elf-Mali*, L'énergie solaire au Mali*, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.
[1331] *Ibid*.
[1332] Association solaire Elf-Mali*, L'énergie solaire au Mali*, tableau descriptif des installations de pompage photovoltaïque, document non-paginé, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16
[1333] *Ibid*.

> Il y a au Mali environ 9500 villages pour une population de 6 310 000 habitants (5,1 h/km^2). 80 % de ces villages ont moins de 600 habitants. Un inventaire des points d'eau a été fait ; malgré son manque d'actualisation, on peut considérer qu'il y a actuellement 2500 points d'eau au Mali. Compte tenu de la taille des villages, on peut estimer qu'il reste à effectuer un minimum de 10000 forages sur toute l'étendue du Mali[1334].

Ces perspectives de contrats, ici au Mali, mais plus généralement dans tous les pays du tiers-monde, attirent également des intérêts étrangers qui viennent s'ajouter aux concurrences françaises déjà à l'œuvre[1335]. Le dossier déposé par l'Association solaire Elf-Mali auprès du ministère de la Coopération mentionne d'ailleurs pour le Mali, le « Programme japonais région Gao » et le « Programme canadien région Kaarta »[1336].

Dès le début de son activité, la SOFRETES identifie les gouvernements étrangers et leurs entreprises qui conçoivent des programmes solaires avec un volet politique étrangère[1337]. Voilà ce que l'entreprise écrit dans son rapport annuel de 1976 pour la DGRST :

> Bien qu'à l'heure actuelle nous n'ayons pas perdu de commandes du fait de la concurrence, nous sentons que de nombreux pays se lancent sur des réalisations dans le même secteur que nous, en particulier les Etats-Unis avec les deux programmes ERDA de pompages solaires, le Japon (programme *SUNSHINE*), l'INDE qui a ses propres objectifs en systèmes thermodynamiques, et enfin, les groupes allemands MESERSCHMIDT et DORNIER[1338].

[1334] Association solaire Elf-Mali, *Projet d'équipement et de développement industriel de la République du Mali dans le domaine des énergies nouvelles*, Octobre 1980, p. 3., Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.

[1335] Par exemple dans le cadre d'un projet du PNUE qui propose de financer des opérations de démonstration de pompage solaire à hauteur de 1 176 105 $ sur deux ans (le budget est exécuté par la BM) en Inde, au Mali, aux Philippines et au Soudan. Il s'agit donc pour le ministère de la Coopération de candidater afin de capter ce financement pour limiter les concurrences internationales d'autant plus qu'il s'agit de pays où la SOFRETES est déjà présente (sauf l'Inde). PNUE, Conseil d'administration, 25ème cession, 12-30 juin 1978, Point 16 de l'ordre du jour, « Programmation par pays et programmation multinationale. Assistance pour un projet mondial. Essai et démonstration de petits systèmes de pompage à énergie solaire (GLO/78/004) », 12 avril 1978, Dossier Mali, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.

[1336] *Ibid*.

[1337] Nous ignorons l'ampleur réelle des propositions concurrentes (thermodynamiques et photovoltaïques) à la fois dans le marché d'aide public international mais aussi dans chaque pays où les initiatives sont nombreuses, car il faudrait pour cela des travaux de recension colossaux, notamment à partir de tous les brevets déposés dans le monde et de toutes les entreprises solaires ayant existé à cette époque. Il existe à notre connaissance des tentatives de recensions américaines et indiennes mais nous n'avons pas ici les moyens de construite et d'analyser un tel corpus. Nous pouvons néanmoins prendre un exemple : le 17 mars 1975, Girardier reçoit une lettre d'une entreprise danoise qui brevette le même genre de système de captation de la chaleur solaire à plat en toiture que ceux utilisé par la SOFRETES et qui sont destinés aux pays du tiers-monde. Lettre du 17 mars 1975 de *l'International Solar Power Co. Ltd* (Danemark), adressée à Girardier, archives privées de Georges Alexandroff.

[1338] SOFRETES, *DGRST Rapport d'activités de l'année 1976*, 1977, p. 6., Archives privées fonds usine Mengin.

Les principales concurrences étrangères viennent en effet des Etats-Unis, du Japon et de la RFA, qui engagent sur la période de plus en plus d'opérations de coopération similaires à celles que la France organise avec la SOFRETES et ses concurrentes de la filières photovoltaïques. Le COMES surveille ces politiques publiques solaires étrangères[1339] et la SOFRETES tâche de se tenir au courant des technologies américaines[1340]. Comme nous l'avons montré précédemment dans notre analyse du dossier Mexicain, les Etats-Unis organisent également une veille solaire internationale dont les *solar cables* du Département d'État à Washington rendent bien compte. Leur lecture nous permet de suivre l'activité solaire internationale et ses acteurs dans les différentes zones géographiques où sont actives les entreprises françaises du photovoltaïque et la SOFRETES[1341]. Les opérations solaires américaines[1342] entrent directement en concurrence avec celles la SOFRETES au Mexique[1343], en Arabie

[1339] Par exemple : DG COMES, « Note pour la Commission chargée d'établir le bilan de la situation de la France, objet : politique solaire menée dans les principaux pays industrialisés », 31 août 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 6.

[1340] Par exemple, en 1975, la SOFRETES envoie un ingénieur aux USA visiter une exposition de technologies solaires à Los Angeles. Lettre et dossier photographique de Piron à Alexandroff, 23 décembre 1975, Archives privées de Georges Alexandroff.

[1341] Par exemple : « Japan Solar Program », du 4 novembre 1977, de l'ambassade américaine à Tokyo au DOE (Department of Energy), http://wikileaks.org/plusd/cables/1977TOKYO17066_c.html ; « Saudi-German Cooperation on use of Solar Energy », câble diplomatique du 31 janvier 1977 de l'ambassade US de Jeddah au US Secretary os State, http://wikileaks.org/plusd/cables/1977JIDDA00851_c.html. Nous ne pouvons pas rendre compte de façon exhaustive du contenu de tous les *solar cables* que nous avons identifiés mais nous pouvons en mentionner ici quelques-uns en ce qu'ils sont particulièrement riches d'informations et/ou pertinents dans certains dossiers très stratégiques comme ceux qui concernent l'Arabie Saoudite ou l'Iran. Sur les activités solaires françaises en 1978 vue par les USA voir : « Report by International Solar Energy Working Group Part I », câble diplomatique du 12 juin 1978 de l'ambassade US de Bonn au US Secretary of State, http://wikileaks.org/plusd/cables/1978BONN10779_d.html ; « Solar Energy Policy Review », câble diplomatique du 30 juin 1978 de l'ambassade US de Rome au US Secretary of State, http://wikileaks.org/plusd/cables/1978ROME12196_d.html ; sur les activités solaires françaises en Iran voir par exemple pour l'année 1976 : « Iranian Solar Energy Cooperation with France », câble diplomatique du 2 novembre 1976 de l'ambassade US de Paris à l'ambassade US de Téhéran et au US Secretary of State, http://wikileaks.org/plusd/cables/1976PARIS32252_b.html.

[1342] Voir par exemple : MOTOROLA Inc., RAGSDALE Clyde, QUASHIE Prosper, *Market Definition Study of Photovoltaic Power for Remote Villages in Developing Countries*, For NASA and US Department of Energy, October 1980 ; U.S. Department of Energy, TULLOCK, Bruce, *Solar Energy Project*, January 1979 ; U.S. AID, *L'énergie renouvelable au Cameroun : possibilités de projets*, 1er août 1979 ; U.S. AID, *Étude des méthodes d'exhaure au Tchad*, 18 août 1986 ; Solar Energy Research Insitute (SERI) for U.S. Department of Energy, ASHWORTH John A., *Renewable Energy for the World's Poor. A Review of Current International Developement. Assistance Programs*, October 1979 ; LARSON Ronal, WEST E. Ronald, *Implementation of Solar Thermal Technology*, The MIT Press, 2003 et notamment le chapitre 28, « International Activities », de Murrey D. Goldberg, pp. 843-858.

[1343] Voir l'étude de HAWKINS, Donna, *op. cit*., 1980, du Solar Energy Research Institute pour le U.S. Department of Energy, notamment la partie « International Agreements », pp. 13-14. L'auteure y présente les programmes de coopération internationale lancés au Mexique dans le domaine solaire : Canada/Mexico, France/Mexico, RFA/Mexico (Sonntlan), Israel/Mexico, Mexico/ USA. Elle propose une liste des installations réalisées et en cours, « International Projects Data Base », pp. 21-35 ; NASA,

Saoudite et en Iran[1344], au Mali[1345] et en Tunisie[1346] par exemple. La RFA installe des stations de pompages solaires au Mexique[1347] et en Égypte[1348], alors que le Japon met par exemple sa diplomatie solaire au service de sa politique pétrolière aux EAU[1349]. Le solaire japonais mériterait toute notre attention mais cela n'est évidemment pas possible dans le format de cette thèse. Il est cependant pertinent de faire remarquer ici qu'en 1976, lors de la conférence internationale sur l'énergie solaire et le développement, organisée à Dhahran en Arabie Saoudite, c'est une équipe japonaise qui présente un moteur solaire ORC, c'est-à-dire un moteur solaire à basse température fonctionnant avec un fluide de travail gazeux liquéfiable, identique au dispositif Masson-Girardier. Leur contribution nous apprend que le développement de ce type de moteur est en cours au Japon depuis 1961, et qu'en 1976 une production en série est commercialisée pour des puissances de 25 à 50 kW (exactement la même gamme que celle de la SOFRETES) afin de satisfaire les besoins des pays pauvres en matière de pompage de l'eau, de génération d'électricité,

STEIGELMANN William, ASMON Itil, for U.S. Department of Energy, Conservation and Renewable Energy, Division of Solar Thermal Energy Systems, *Market Assessment of Photovoltaic Power systems for Agricultural Applications in Mexico*, July 1981.

[1344] Voir par exemple : U.S. Department of Energy, *Solar Energy Commercialization for Middle East Countries*, December, 1978 (Égypte pp. 14-17 ; Iran pp. 18-31 ; Arabie Saoudite pp. 40-52).

[1345] Voir par exemple : Mission de coopération scientifique et technique du 3 au 13 mai 1979 au Mali, « Rapport sur le développement des énergies renouvelables au Mali », « la coopération avec l'U.S. AID », pp. 9-10, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.

[1346] Voir par exemple : Yves Lambert, SAI COMES, « Note d'actualité sur la Tunisie », 31 décembre 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 42.

[1347] HAWKINS, Donna, *op. cit*., 1980 ; Le Président du COMES, « Coopération COMES-DIGAASES-Rencontre avec le Dr. Javier Ibarra, les 17 et 18 mars 1981 à Mexico », 20 mars 1981, Dossier Mexique (1978-1981), Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, caton 39.

[1348] Un document adressé par la SOFRETES au COMES le 9 juillet 1979 fait le point sur la « Compétition Allemande – Energie solaire », en listant tous les projets solaires internationaux de la RFA réalisés ou en cours, notamment en Égypte. Max Clémot, SOFRETES, « Compétition Allemande – Energie solaire », 9 juillet 1979, Dossier EAU-Égypte (1975-1982), Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 33.

[1349] Le Japon lance en 1974 le programme de recherche solaire « *Sunshine* » qui s'apparente au PIRDES français. La politique de valorisation de la recherche nationale japonaise amène leurs entreprises à développer une offre commerciale photovoltaïque pour démarcher les pays pétroliers du Golfe lors de leurs négociations de contrats pétroliers. Les japonais essayent d'obtenir des avantages pétroliers avec des « cadeaux solaires ». Ministère des Affaires étrangères, télégramme « La coopération entre l'EEAU et le Japon », 19 mars 1980 et Ministère des Affaires étrangères, télégramme « Coopération entre le Japon et l'EEAU dans le domaine de l'énergie solaire », 22 mai 1980, Dossier EAU-Égypte (1975-1982), Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 33 ; VAILLANT, J.-R., *Utilisations et promesses de l'énergie solaire*, Paris, Éditions Eyrolles, 1976, p. 184 ; DURAND, Henri, « Rôle des gouvernements et développement du marché photovoltaïque : le cas de la France », *in* PALZ, Wolfgang, Commission of the European Communities, *Third E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, Proceedings of the International Conference, held at Cannes, France, 27-31 October 1980*, D. Reidel Publishing Compagny, 1981, p. 150.

de climatisation et de réfrigération[1350]. Palz nous apprend d'ailleurs dans ses mémoires qu'il participe avec Chabbal, le directeur du CNRS, et Colli, le Délégué aux Énergies Nouvelles, en 1975 et en 1976, aux missions françaises qui sont envoyées au Japon pour signer des accords de coopérations scientifiques et techniques, notamment solaires[1351].

Le périmètre que nous venons de décrire ne suffit pas à bien replacer la SOFRETES dans les relations concurrentielles à l'échelle internationale. En effet, les activités de l'entreprise à l'étranger doivent composer avec « la mise en place progressive d'un cadre juridique et politique de l'énergie solaire »[1352].

Des accords interétatiques de coopération technique (multilatéraux qui impliquent des organisations internationales[1353] et bilatéraux[1354]) sont contractés par des pays du tiers-monde, potentiels clients solaires (et parmi eux, les pays producteurs de pétroles[1355]), avec des gouvernements occidentaux. Ces grands cadres juridiques des relations internationales, supportent par la suite d'autres accords plus spécifiques en matière de recherche solaire[1356], ou des accords d'entreprises[1357], qui peuvent donc favoriser ou défavoriser les propositions techniques et commerciales de la SOFRETES par rapport à celles des autres. Un cadre juridique, politique[1358] et administratif[1359], international et normatif, aux opérations de démonstration et aux recherches sur les applications de l'énergie solaire, est en cours de constitution et il impacte les affaires de la SOFRETES et de ses concurrents. Ce cadre sert évidemment d'instrument à des politiques publiques solaires à l'étranger qui se pensent à l'intérieur des relations internationales et de leurs enjeux bien plus larges (approvisionnement en matières

[1350] ICHIKAWA S., WATANABE M., « Organic Rankine Cycle Engine Development and Solar Energy Utilization », *in* KETTANI Ali, SOUSSOU E. Joseph (dir.), *Heliotechnique and Development, Volume One and Two*, Conférence internationale, Dharan, Arabie Saoudite, Development Analysis Associates, Cambridge, Massachusetts, U.S.A., Vol. 1, 1976, pp. 740-752.
[1351] PALZ, Wolfgang, *Power for the World : The Emergence of Electricity from the Sun*, Pan Stanford Publishing, 2011, p. 32.
[1352] DIDIER, Éric, *op. cit*., 1979, p. 339.
[1353] *Ibid*., pp. 340-342 et DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 170-210 (concernant l'ONU, la CEE, l'OTAN, l'AIE).
[1354] DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 211-245.
[1355] DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 224-230 (notamment le Mexique p. 226).
[1356] « TIII Les contrats de recherche et d'exploitation – C7 Les accords conclus avec les organismes publics », DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 247-269.
[1357] « TIII Les contrats de recherche et d'exploitation – C8 La coopération privée », DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 270-304.
[1358] « C1 Le contexte politique », DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 5-52. L'auteur propose un tour d'horizon des politiques publiques solaires à l'échelle internationale.
[1359] « C2 Le contexte administratif », DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 53-89. L'auteur propose un tour d'horizon de l'institutionnalisation du solaire à l'échelle internationale.

premières énergétiques, etc.). Il apparaît comme un prérequis nécessaire à toute entreprise solaire. En ce sens, il joue le rôle d'instrument de contrôle, de pilotage, des activités solaires internationales, en facilitant ou en limitant telle ou telle relation et telle ou telle société au détriment d'une autre. Il met en concurrence les gouvernements, leurs laboratoires de recherche et les entreprises. Il renforce également la nature publique du marché d'aide internationale qui caractérise les commandes solaires à l'export, « le marché du thermodynamique est l'exemple typique du marché artificiellement entretenu »[1360] et Didier ajoute au sujet du photovoltaïque : « c'est une industrie assistée dans la mesure où ce sont le COMES et le ministère de la Coopération qui financent la plupart des projets. »[1361]

Voilà des contraintes supplémentaires (aux contraintes internes, aux terrains difficiles, aux gouvernements clients peu impliqués et des populations pauvres) auxquelles la SOFRETES et sa machine doivent s'adapter prouvant une fois de plus l'incroyable complexité dans laquelle il convient de lire l'action publique solaire française à l'étranger et ses concurrentes.

Prenons quelques exemples symptomatiques des cadres juridiques dans lesquels est prise la SOFRETES et qui impliquent parfois des concurrences.

En Arabie-Saoudite, la commande d'une station mixte de force motrice SOFRETES fonctionnant 24h/24, n'est pas la seule opération solaire, ni dans ce pays, ni dans un pays du Moyen-Orient, ni dans un pays exportateur de pétrole[1362]. Washington et

---

[1360] DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, p. 272.
[1361] *Ibid*., p. 273.
[1362] Le nombre de programmes solaires dans les pays arabes et pétroliers du Moyen-Orient est très important dans les années 1970-1980. Ils composent un système d'acteurs, et donc d'accords juridiques et politiques, très complexes, dans lesquels les mises en concurrences sont donc exacerbées. La revue *New Scientist* propose un article de synthèse très complet en 1980, illustré d'un tableau récapitulatif des institutions et des programmes solaires de recherche et de démonstration en cours dans chaque pays : PERERA, Judith, « Arabs turn their eyes to the Sun », *New Scientist*, 14 février 1980, pp. 474-477. On peut également consulter des sources arabes, notamment les textes et ouvrages anglophones issus de conférences solaires internationales organisées au Moyen-Orient, ainsi que les travaux de Ali Kettani (ou sous sa direction). Cette documentation permet d'entrer plus en détail dans le système d'acteurs qui contrôlent les opérations solaires dans les pays arabes exportateurs de pétrole (les gouvernements occidentaux, les administrations arabes, les instituts de recherches, les entreprises, les technologies, les contrats et les programmes), d'en évaluer les propositions sociotechniques, et d'y relever la présence de la SOFRETES et de ses concurrents français tenants du photovoltaïque : KETTANI Ali, MALIK M. A. S., *Solar Energy in The Arab World : Policies and Programs*, Organization of Arab Petroleum Exporting Countries, 1979 ; KETTANI, Ali, *Solar Energy Prospect in the Arab World : First Arab International Solar Energy Conference*, Koweït, 2-8 December 1983, Pergamon Press, 1983 ; KETTANI Ali, SEIFERT William W., BAKR Mohammed A., *Energy and Developement, A Case Study*, M.I.T. Report N° 25, The M.I.T. Press, 1973 (sur les premières propositions techniques de Kettani) ; KETTANI Ali, SOUSSOU E. Joseph (dir.), *Heliotechnique and Development, Volume One and Two*, Conférence internationale, Dharan, Arabie Saoudite, Development

Ryad passent un accord de coopération technique en 1976. Il permet la signature d'un accord solaire en 1977, qui engage un programme d'équipement de démonstration[1363]. En plus de faire face à la concurrence américaine[1364], autorisée et consolidée par cet accord, pour la SOFRETES, l'opération Ryad se voit en réalité pilotée par l'EDF, en raison d'un accord d'entreprises publiques entre l'EDF et son homologue saoudien Electrico. Le client (l'État saoudien, Electrico est l'exploitant)[1365] est conseillé par l'EDF pour l'évaluation et le suivi de la proposition SOFRETES, qui devient donc soumise à sa sanction :

> Aux termes de cet accord de coopération, EDF apporte son concours à l'Arabie Saoudite dans le domaine de l'équipement solaire. A cet effet, un accord spécifique entre EDF et Electrico a été signé le même jour à Paris et prévoit l'envoi d'une mission de l'EDF qui agit en tant que conseiller voire maître d'œuvre. Cet accord de recherche constitue la première étape d'une coopération industrielle active entre l'Arabie Séoudite et la France s'agissant des centrales solaires destinées à la production d'électricité.[1366]

Analysis Associates, Cambridge, Massachusetts, U.S.A., 1976. Sur Kettani lire aussi BEHRMAN, Daniel, *op. cit*., (1976) 1979, pp. 292-300.

[1363] DIDIER, Éric, *Op. Cit*., 1979, p. 343 et « Le contenu et la signification de l'accord États-Unis/Arabie Saoudite du 30/10/1977 », DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 228-230.

[1364] D'autres accords bilatéraux passés par les États-Unis avec des États du tiers-monde peuvent poser des difficultés à la SOFRETES. A partir de 1978, un programme de soutien au développement des énergies alternatives dans les pays pauvres est créé au sein du *Department Of Energy* et un programme solaire à destination des PVD est mis en œuvre par l'*Agency for International Development* (AID) au sein du Département d'État. C'est ainsi que l'US-AID contracte son premier accord avec le Niger qui débouche sur une subvention à l'ONERSOL de Moumouni, à la fois partenaire et concurrent de la SOFRETES. L'ONERSOL est engagé par contrat aux côtés de la SOFRETES pour la construction des capteurs plans des installations solaires de Karma, Tabalak et Ouallam par exemple, sachant que le FED est bailleur. Moumouni travaille également à la conception et à la fabrication d'un moteur solaire thermodynamique basse température avec l'Allemand Spillingwerk. Voir par exemple : DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 231-236 ; U.S. Congress, *Foreign assistance and related programs appropriations for 1980*, Hearings before a subcommittee of the US Congress House Committee on appropriations. House of representatives, Ninety-sixth Congress, first session, Subcommittee on foreign operations and related programs, Part 4, Agency for international developement, Secretary of State, Washington, 1979, pp. 180-182, 195-204, 246-249, 326-328, lors de ces auditions parlementaires, sont présentés les projets solaires américains menés dans le cadre d'accords bilatéraux d'aide au développement, en Haute-Volta, au Cap-Vert, au Sénégal, au Niger, et au Mali.

[1365] En Arabie Saoudite, en 1978, l'administration du solaire est confiée à une autorité centrale non spécialisée, la *Saudi Arabian National Center for Science and Technology* (SANCST). Les recherches sont menées dans deux universités spécialisées dans les hydrocarbures et un Institut de recherche solaire à Dhahran est créé (adossé à l'Université du pétrole et des minéraux). DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 76-77.

[1366] DIDIER, Éric, *op. cit*., 1979, pp. 345-346 et DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 256-257.

La relation solaire franco-saoudienne ne passe donc pas *stricto sensu* par un accord intergouvernemental, mais par un accord entre établissements publics et un autre entre l'État saoudien et la SOFRETES, une PME au capital mixte, filiale du CEA[1367].

Dans le même temps, comme nous l'avons montré, l'EDF est un acteur de la concurrence par le biais de ses intérêts dans la filière photovoltaïque (et peut-être un opposant à cette proposition sociotechnique alternative). Ajoutons qu'en France, elle participe avec le CNRS et le soutien du COMES au programme de centrale solaire à concentration (système thermodynamique à hautes températures) du PIRDES destiné au pays du tiers-monde[1368]. Enfin, à l'international, l'EDF concourt à des appels d'offres pour obtenir des contrats d'électrification dans les pays en développement aux moyens de solution conventionnelles (hydroélectricité et centrales thermiques) : « dès 1980, l'EDF obtint ainsi le contrat d'électrification de la zone d'Aba en Arabie Saoudite. »[1369]

Aux contraintes imposées par les termes des contrats s'ajoutent celles du rapport aux termes des contrats des différents acteurs sur lesquels pèse une divergence interne à l'EDF.

Pendant la période de conception du prototype, l'équipe R&D CEA-SOFRETES apporte une modification technique au dispositif[1370]. Malheureusement, bien que ce choix soit validé par le centre de recherche de l'EDF des Renardières à Chatou, la DAFECO de l'EDF le refuse. Or, c'est la DAFECO qui est l'ingénieur-conseil des autorités saoudiennes. Aussi, celles-ci rejettent-elles la nouvelle proposition au prétexte qu'elle ne correspond pas aux termes du contrat initial[1371]. Cette attitude très procédurière et

---

[1367] La formation d'un personnel saoudien est prévue (p. 2.), mais pas la maintenance après la période de garantie. L'EDF est désigné comme le représentant d'Electrico en France dans ce projet en tant qu'ingénieur conseil (p. 5-6), *Contract between Electricity Corporation of the Kingdom of Saudi Arabia (Electrico) and SOFRETES, 5th of April 1978*, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; SOFRETES, *Solar Power Plant for Rural Area Saudi Arabia, SOFRETES proposal for Ministry of Industry and Electricity (Saudi Arabia), Electrico/EDF*, 29 septembre 1977, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

[1368] Voir par exemple les accords EDF/CNRS/CETHEL au sujet du programme THEM dans DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 259-264.

[1369] BELTRAN, Alain, *op. cit*., 1996, p. 53 pour la citation et voir les pp.58-63, 78-86.

[1370] Lettre d'Albert Teboul, PDG de la SOFRETES au ministère de l'Industrie, DIMME, du 9 septembre 1981, « Note sur la station solaire SOFRETES de Riyadh – Arabie Saoudite », 9 septembre 1981, Dossier « SOFRETES 1976-1981 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010, p. 54, pp. 63-65 ; Entretiens avec Max Clémot et Jean-Paul Durand, *op. cit*.

[1371] Des correspondances internes au CEA-SOFRETES documentent les relations tendues entre l'équipe CEA-SOFRETES en charge de l'opération Ryad et les agents de la DAFECO impliqués, ainsi qu'au sein même de la SOFRETES entre la direction et les ingénieurs du projet. Le conflit interne entre la DAFECO et le centre de recherche des Renardières est clairement évoqué. Cependant, Albert Teboul, PDG de la

l'influence de la DAFECO dans ce dossier entravent considérablement le bon déroulement du projet qui doit fait face à toutes les autres contraintes déjà évoquées ainsi qu'à des difficultés liées à l'évolution du cadre administratif interne à la SOFRETES (*cf. infra* chapitre 5). Finalement, la station est mise en route avec un fonctionnement manuel dans l'attente de l'automatisme. Comme nous l'avons évoqué, aucun usage réel de la station n'est prévu et sa propriété fait l'objet d'un jeu de chaises musicales entre différentes institutions saoudiennes. L'opération se solde par un règlement amiable[1372].

En Iran, la SOFRETES installe une première pompe solaire à Shiraz en 1977[1373], puis, comme expliqué précédemment, elle obtient une très importante commande de l'État pour un vaste programme d'équipement (assez semblable à celui engagé par le gouvernement mexicain), juste avant la Révolution islamique de 1979[1374]. Là encore, un cadre juridique complexe organise la concurrence. En 1976, les États-Unis et l'Iran concluent un accord de coopération dans le domaine de l'énergie qui comprend un volet

SOFRETES, dans sa lettre adressée à la DIMME du MI en 1981, n'aborde pas ce point de controverse laissant ainsi l'entière responsabilité du blocage à la partie saoudienne. Lettre de Girardier et Roch à Durand du 17 mars 1980, « Réunion DAFECO du 17 mars 1980 », Archives privées fonds BDC (CEA) ; Note confidentielle de Durand à Morin et à Teboul du 3 août 1980, « CR mission à Ryadh », Archives privées fonds BDC (CEA) ; Compte-rendu de la réunion CEA-SOFRETES-EDF DAFECO du 20 août 1980, Archives privées fonds BDC (CEA) ; Lettre de Durand à Morin du 23 septembre 1980, « Réflexions suite à la lecture de votre compte-rendu de visite à EDF DAFECO du 20 août 1980 », Archives privées fonds BDC (CEA) ; Lettre d'Albert Teboul, PDG de la SOFRETES au ministère de l'Industrie, DIMME, du 9 septembre 1981, « Note sur la station solaire SOFRETES de Riyadh – Arabie Saoudite », 9 septembre 1981, Dossier « SOFRETES 1976-1981 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010, p. 54, pp. 63-65 ; Entretiens avec Max Clémot et Jean-Paul Durand, *op. cit*.

[1372] Le CEA verse un dédommagement aux Saoudiens qui s'élève, selon Clémot et Durand, à 2 M$ soit deux fois le budget initial mis à la disposition de l'opération par le Royaume d'Arabie Saoudite.

[1373] Une opération dont des chercheurs iraniens de l'université de Shiraz se souviennent aujourd'hui : « *during 1977, SOFRETES Company installed three units of solar water pumps in northern part, Yazd and Gelberenji in Iran. Gelberengi is a village, which is located in Khafr, 115-Km southern-east of Shiraz in Fars province. The pump was active for short period of time to supply drinking water. Later on, after Islamic revolution, the pump was replaced by an electric pump.* » AGHAMOHAMMADI M., ZARINCHANG J., YAGHOUBI M., « Performance of Solar Water Pump In Southern Part of Iran », Shiraz University, Shiraz, IRAN, 200?. p.1.

[1374] SOFRETES-SAPEC-CEA, « *Solar energy. Program for Iran's rural areas* », février 1978, Archives privées fonds BCD (CEA) ; CLEMOT, Max, « Contribution of solar energy to the development of arid zones : solar water pumps », International meeting at Teheran (Iran), september 1978, Archives privées fonds BCD (CEA) ; Documents manuscrits de Max Clémot sur l'historique du projet, 1978-1983, Archives privées fonds BCD (CEA) ; « Contrat de prestations d'ingénieur-conseil entre le ministère de l'Energie d'Iran et la société SAPEC et le CEA », 1978, Archives privées fonds BCD (CEA) ; « Version française des annexes projet de contrat avec l'Iran », 20 novembre 1978, Archives privées fonds BCD (CEA) ; « Accord SOFRETES-SAPEC », 12 juin 1978, Archives privées fonds BCD (CEA) ; Dossier administratif de la création de la *joint-venture* franco-iranien Korshid Nirou entre la SOFRETES, le ministère de la Santé et des Affaires Sociales et sa filiale Iran Housing, la SAPEC, la CFP Total, juin 1978, Archives privées fond BCD (CEA) ; CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010, pp. 24-26 ; Entretiens avec Max Clémot et Jean-Paul Durand, *op. cit*.

solaire[1375]. La même année, les accords de coopération technique avec la France permettent au CNRS de développer un programme commun de recherche solaire avec le *Materials and Energy Research Center* (MERC) à Téhéran[1376], alors qu'en parallèle deux pompes MGS 2-1000 sont achetées à la SOFRETES[1377]. Sur les trois accords solaires spécifiques conclus entre le CNRS et le MERC, « le 2e accord : concerne l'expérimentation des modules commerciaux et la conversion de l'énergie solaire par voie thermodynamique à basse température »[1378]. Il s'agit donc d'une mise en concurrence directe des propositions sociotechniques du CNRS et de la SOFRETES. Le CNRS et son homologue algérien (ONRS) contractent le même type d'accord de coopération dans l'énergie solaire en 1976, sachant que la SOFRETES, comme nous l'avons écrit précédemment, est en négociation avec l'Algérie pour différents projets, notamment d'irrigation[1379]. Finalement, seulement deux pompes d'étude MGS 2-1000 seront installées dans les universités d'Annaba en 1977 et de Constantine en 1979.

Il existe également des accords qui rapprochent des concurrents au sein d'un projet commun. Tel est le cas du Centre Régional d'Energie Solaire (CRES) de Bamako et de la station de Bakel au Sénégal.

Le CRES de Bamako est un projet régional de la CEAO. Il est financé par la France (FAC, COMES, CEA), la RFA (« le ministère de la Coopération et son exécutif

[1375] DIDIER, Éric, *op. cit*., 1979, p. 343 et DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 220-221. *Science et Avenir*, Numéro spécial « Énergie solaire », 1977, pp. 86 et 90.
[1376] DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 45-46.
[1377] C'est surtout l'université de Shiraz qui est en lien avec la SOFRETES. BAHADORI, Mehdi N., « Solar water pumping », *Solar Energy*, Volume 21, Issue 4, 1978, pp. 307-316 ; BAHADORI, M.N., « Solar water pumping », *in* DIXON A.E., LESLIE J.D., *Solar Energy Conversion*, Pergamon, 1979, pp. 1191-1221 ; BAHADORI, M.N., « Development of a Solar Town in Iran », International Institute for Applied Systems Analysis, Novembre 1976. Bahadori est Directeur du Solar Energy Center de l'Université Pahlavi de Shiraz.
[1378] DIDIER, Éric, *op. cit*., 1979, p. 345 et DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 254-255.
[1379] DIDIER, Éric, *op. cit*., 1979, p. 345 ; SONATRACH, dossier d'un projet solaire pour le site pétrolier d'Hassi Messaoud en Algérie, 10 avril 1976, Dossier Algérie (1976-1981), Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31 ; DEN, ministère de l'Industrie, « Compte-rendu de mission en Algérie du 12 au 16 avril 1976 dans le domaine des énergies nouvelles », 23 avril 1976, Dossier Algérie (1976-1981), Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31 ; SAI du COMES, « Note pour Monsieur le ministre du Commerce extérieur, Algérie : Énergies renouvelables », 6 septembre 1979, Dossier Algérie (1976-1981), Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31 ; SAI du COMES, « Coopération scientifique franco-algérienne, préparation de la 4e Commission mixte scientifique – Liste des projets – Proposition de programme d'échange 1980 », Dossier Algérie (1976-1981), Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31 ; SAI du COMES, « Note pour Monsieur le Directeur général de l'énergie et des matières premières : coopération franco-algérienne dans les énergies renouvelables, 4 septembre 1981, Dossier Algérie (1976-1981), Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31.

GTZ »[1380]), l'OPEP, le Canada, le PNUD, le FED, l'UNESCO, et le Fond Africain de Développement (FAD)[1381]. Les administrations et les entreprises françaises et ouest-allemandes impliquées sont souvent en conflits entre elles, ou avec des membres de la structure administrative du CRES. Chaque partie essaye de pousser ses intérêts aux détriments de ceux des autres, par exemple pour obtenir les contrats de BTP, d'équipement scientifique et technique, de conseil, voire tout simplement pour se maintenir en poste au sein des instances provisoires à la direction du projet (celles-ci devant donc perdurer le plus longtemps possible)[1382].

L'opération de Bakel au Sénégal (pompage dans le fleuve Sénégal pour l'irrigation) engage l'entreprise américaine *Thermo Electron Corporation*, la SOFRETES, et sa filiale SINAES dont le gouvernement sénégalais est actionnaire, sur un financement partagé entre l'US-AID et le FAC[1383]. En 1978, une délégation de la SOFRETES est reçue dans les locaux de l'US-AID à Washington. Marc Frager témoigne qu'ils sont surpris de voir un mur entièrement recouvert avec des photographies aériennes du chantier en cours à Diré au Mali[1384]. L'administration américaine, partenaire à Bakel, mais en concurrence ailleurs, surveille en effet étroitement les affaires de la SOFRETES

[1380] Bernard Devin, SAI du COMES, « Note d'actualité sur l'énergie solaire dans les relations franco-allemandes à l'occasion de la rencontre de M. de Wissocq avec M. Haunschild », 12 mars 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 31. Cette note présente l'état de la concurrence des projets solaires de la RFA mais aussi celle de la coopération franco-allemande dans le CRES de Bamako.
[1381] FAD et République du Mali, *CRES de la CEAO - Rapport d'achèvement du projet*, mars 1995.
[1382] Girardier participe à la mise en place du CRES de Bamako (à partir de 1981) après sa démission de la Direction de la SOFRETES en 1980. Il s'agit d'un projet inter-états décidé en 1978 au sein de la zone CEAO-CILSS. Nous avons consulté les documents relatifs à l'existence du CRES (de 1978 à 1987) dans les archives du COMES-AFME (trois cartons), ainsi que les documents personnels de Girardier sur cette mission, pour laquelle Marbach le détache de l'ANVAR. Archives nationales, répertoire 19940249, cartons 246/247/248. Lors de notre entretien du 13 décembre 2018 avec Marbach au sujet du CRES, ce dernier compare sa destinée (une coquille vidée de ses fonds) à celle de la compagnie aérienne Air Afrique pour nous faire comprendre qu'au final, le projet a surtout servi des intérêts individuels en Afrique (hauts-fonctionnaires et gouvernement).
[1383] Le projet débute en 1975, en 1977 une proposition est faite au gouvernement du Sénégal, en 1978 le contrat est passé. DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp.239-240 ; « Senegal Contract », *New York Times*, 12 juillet 1978, p.4 ; U.S. AID, *Development Management in Africa : The Case of the Bakel Small Irrigated Perimeters Project in Senegal*, AID Evaluation Special Study No. 34, December 1985, pp. A-9-A-10 ; U.S. Congress, *op. cit*., 1979 ; U.S. Department of Energy, *Energy Research Abstracts*, volume 6, 5644 à 11871, 1981, p. 1199 ; Solar Energy Research Insitute (SERI) for US. Department of Energy, *Final report : Comparative Ranking of 0.1 – 10 MWe Solar Thermal Electric Power Systems*, Volume II, Supporting Data, July 1980, p. 147 ; République du Sénégal, DGRST, « Projet de turbine solaire pour l'irrigation dans la vallée du fleuve Sénégal », Novembre 1975, Archives privées de Georges Alexandroff ; SOFRETES et *Thermo Electron Corporation*, « Proposition au Gouvernement du Sénégal : un système solaire thermique de pompage d'eau pour Bakel, Sénégal, 15 décembre 1977, Archives privées de Georges Alexandroff.
[1384] Entretien avec Marc Frager, 13 décembre 2018. Nous n'avons pas trouvé de traces de ses photographies dans les archives de l'US-AID.

et l'action publique solaire française comme nous l'avons déjà explicité. L'opération Bakel (qui débute en 1975 et qui est toujours en cours 1982) met donc en rapport trois gouvernements, et, entre les trois sociétés partenaires, deux sont concurrentes. La SOFRETES est maître d'œuvre, elle assure l'ingénierie et sous-traite le chantier à la SINAES. *Thermo Electron Corporation* a la charge des capteurs et du moteur basse température alors que l'entreprise est également un leader mondial des technologies de la thermoélectricité, une autre trajectoire sociotechnique, très sophistiquée, pour la génération des très petites puissances[1385].

Enfin, la SOFRETES est contrainte par les modalités d'accès aux contrats de financement européen et par les choix d'orientation technique des programmes européens de promotion du solaire pour les pays du tiers-monde. Ces deux aspects sont en partie déterminés par la capacité de la France à les influencer d'abord et à en faire profiter la SOFRETES ensuite.

Certaines opérations de la SOFRETES bénéficient de l'aide publique au développement des Communautés européennes (*cf. supra* le tableau des installations p. 346). Ces projets solaires entrent donc en concurrence avec celles des autres entreprises et des laboratoires français et européens auprès de la Commission européenne pour obtenir un contrat avec le FED par exemple (sur le modèle des conventions de financement du FAC). Dès lors, il est primordial que les candidatures françaises soient soutenues par des relais bien implantés au sein des institutions compétentes de la CEE[1386]. Or, les intérêts de la SOFRETES ne sont pas forcément bien représentés par les agents que les pouvoirs publics diligentent. En effet, leur choix se porte sur ceux qui semblent

[1385] Un ingénieur américain d'origine grecque était venu faire un séjour au CEA à l'occasion duquel il avait sympathisé avec Max Clémot alors qu'ils travaillaient au programme de recherche en thermo-ionique (*cf. infra* chapitre 5). C'est par son intermédiaire que la *Thermo Electron Corporation* est devenue le partenaire de la SOFRETES dans l'opération de coopération France-USA-Sénégal de Bakel. En effet, la *Thermo Electron Corporation* est une entreprise fondée par un l'Américain d'origine grecque, George Hatsopoulos (1927-2018), spécialiste de thermodynamique et notamment de thermo-ionique au MIT. George Hatsopoulos est surtout connu pour avoir créé le premier cœur artificiel. Sur les activités de l'US AID à Bakel voir aussi : U.S. AID, *Development Management in Africa : The Case of the Bakel Small Irrigated Perimeters Project in Senegal*, AID Evaluation Special Study No. 34, December 1985, 134 p.

[1386] Le programme de R&D solaire européen est lancé en 1975. Didier présente le cadre historique, institutionnel et juridique des activités solaires menées au niveau de la CEE. Il distingue notamment les actions directes (menées par le Centre Commun de Recherche d'Euratom) et les actions indirectes (menées sous forme de contrat). Ce sont surtout au niveau de ces dernières que se pressent les intérêts des laboratoires de recherche et des industriels. Il est toutefois intéressant de noter que Max Clémot, l'ingénieur-commercial détaché par le CEA à la SOFRETES en 1974, débute sa carrière au Centre Commun de Recherche d'Euratom à Ispra. Voir DIDIER, Éric, *op. cit*., 1981, pp. 181-189.

le plus à même d'y prolonger l'application de la politique publique solaire française à l'étranger. Et ce n'est pas forcément le CEA-SOFRETES. Logiquement, des agents de l'administration de mission (COMES-AFME) et de la Recherche nationale (CNRS) sont privilégiés. Comme il s'avère que les intérêts des groupes industriels engagés dans le photovoltaïque[1387] et dans le thermodynamique par concentration dominent l'orientation des programmes solaires de R&D et de démonstration, la SOFRETES est peu soutenue par les représentants français et elle se trouve progressivement exclue des contrats du FED[1388].

Il est intéressant pour les acteurs institutionnels français du solaire (CNRS, COMES-AFME) de placer des agents auprès des différentes directions générales de la Commission européenne[1389] qui interviennent sur les dossiers solaires (DG VIII Développement et coopération, DG XII Science, recherche et développement et DG XVII Energie) afin de pouvoir peser sur l'orientation des programmes de soutien afin d'en

[1387] Leurs acteurs sont par exemple présents à la Conférence internationale « *L'énergie solaire au service du développement* » organisée par la Commission des communautés européennes à Varese en Italie en 1979 Commission des Communautés Européennes, Conférence internationale, *L'énergie solaire au service du développement*, Varese, Italie, 26-29 mars 1979, Commission des Communautés Européennes, Paris, Technique et Documentation, 1980, pp. 242-243.

[1388] En 1977, Wolfgang Palz, chercheur au CNES, promoteur du photovoltaïque, conseiller chez CFP-Total, est le responsable du programme solaire de la CEE. Palz précise qu'il est introduit auprès de CFP-Total par Bernard Devin, alors chef du programme solaire auprès du Délégué à la diversification du CEA. Devin coordonne les équipes du CEA qui travaillent avec la SOFRETES. Palz devient alors le conseiller de François Fiatte, le Directeur de la diversification chez CFP-Total, or Fiatte est celui qui supervise les intérêts du pétrolier au capital de la SOFRETES (CFP-Total entre au capital en juin 1975). PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 2011, pp. 29-31. En 1977, Palz travaille auprès de la Commission européenne avec Robert Chabbal qui dirige le Comité consultatif pour l'énergie solaire en charge de l'orientation du programme européen alors qu'il est le Directeur général du CNRS. Sont délégués à ses côtés, Jean Phéline de la DEN et du CEA, ainsi que Henry Durand le DG du LEP de Philips et le futur Président du COMES. Palz précise à propos de Phéline, qu'avant d'être délégué par le CEA à la DEN, il fut conseiller aux ambassades de France au Brésil et en Argentine où son rôle consistait à essayer de vendre des centrales nucléaires françaises aux gouvernements. Cette précision est intéressante dans la mesure où Phéline est envoyé plusieurs fois au Brésil (entre 1975 et 1979) par le CEA, alors actionnaire de la SOFRETES, pour négocier avec le gouvernement brésilien des opérations solaires. D'après un document manuscrit de Girardier de 1981, Phéline est en poste à la direction générale (tripartite) de la SOFRETES en 1981-1982 (Archives privées de Jean-Pierre Girardier). PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 2011, p. 33. On peut également lire par exemple : « Le soleil au service des hommes », *Sciences et avenir*, numéro spécial, 1976, p 93. Ce numéro de revue est très important car il dresse un état des lieux du solaire en France et dans le monde, notamment à la CEE. Les auteurs sont les principaux représentants du solaire au CNRS, ainsi que Colli, le Délégué aux Énergies nouvelles. Le seul entrepreneur solaire présent dans ce numéro est Jean-Pierre Girardier, qui accorde un entretien à la revue, dans lequel il présente son entreprise, ses projets en cours et en devenir, ainsi que sa proposition sociotechnique thermodynamique à basse température (pp. 69-73).

[1389] BUSSIERE Éric, DUJARDIN Vincent, DUMOULIN Michel, LUDLOW Piers, BROUWER Jan Willem, TILLY Pierre (dir.), *Commission européenne 1973-1986. Histoire et mémoire d'une institution*, Office des publications de l'Union européenne, Luxembourg, 2014. Lire notamment le chapitre 22, « L'aide au développement : entre anciennes priorités et nouveaux défis », pp. 401-420.

capter les bénéfices[1390]. C'est aussi le moyen d'effectuer des choix et donc d'écarter des possibles :

> Les enjeux en sont également importants au plan politique par la présence des experts français dans les commissions techniques (orientation des choix, connaissance de la concurrence étrangère, proposition en *joint-venture* entre pays européens), qui viennent appuyer des coopérations à caractères industriels entreprises dans le cadre bilatéral. Il faut noter le rôle important joué par l'agence à la DG XII…[1391]

> La participation de l'Agence à la procédure annuelle d'appel d'offre pour des opérations de démonstration de la direction générale 17 (Energie) de la Commission a permis à la France, pour la troisième année consécutive, d'obtenir les meilleurs résultats parmi tous les états membres (52,7 MF pour 46 projets sur 534 MF au total et 211 projets retenus pour l'ensemble des 12 états membres.) L'appel d'offre de la direction générale 12 (recherche) portant sur des opérations de recherche-développement a permis d'aboutir à plus de 220 MF en faveur des propositions françaises. Rappelons que M. Chartier, Directeur Scientifique de l'AFME assure les fonctions de président du comité consultatif chargé d'examiner les projets[1392].

Premièrement, en pesant sur la définition des technologies promouvables. Les applications solaires privilégiées vont progressivement écarter le thermodynamique basse température au profit du photovoltaïque par exemple. Deuxièmement, en précisant la nature des opérations financées. S'agit-il de démonstration, de R&D, voire seulement d'une activité de conseil auprès des gouvernements du tiers-monde ? Toutes ces orientations n'ont pas le même impact en termes de retombées industrielles. Avec la création de l'AFME, la tendance est justement de privilégier le conseil, notamment les études de planification énergétique pour une utilisation rationnelle de l'énergie, au

---

[1390] ROBERT, Cécile, « Défendre l'intérêt, promouvoir l'influence : les administrations nationales dans la construction de l'expertise européenne », *Revue française d'administration publique*, n°158, 2016/2, pp. 447-461.

[1391] SAI de l'AFME, *Compte rendu d'activité 1986*, « Action internationale/Exportation », « Communautés européennes », 29 décembre 1986, p. 3, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230. Voir également : AFME, « Conseil d'administration du 30 septembre 1982 », document préparatoire du 17 septembre 1982, p. 17-20, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 1 ; SAI de l'AFME, *Rapport d'activité 1984*, « Mesure de l'efficacité des actions du SAI », « Les opérations de démonstrations de la CEE », 29 octobre 1984, pp. 1-3, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230 ; SAI de l'AFME, *Compte rendu d'activité 1986*, « 6. L'action internationale », « Définition de la politique européenne de maîtrise de l'énergie », p.5, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230 ; SAI de l'AFME, *Compte rendu d'activité 1986*, « 6. L'action internationale », « Liaison avec les organisations internationales », p.5, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230, notamment pour l''influence de la France à la CNUCERN de Nairobi en août 1981 sur « la définition d'une politique d'utilisation des énergies renouvelables » ; SAI de l'AFME, *Compte rendu d'activité 1987*, « Action internationale », « Espace européen », Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230, à la page 8 « L'AFME assure la présence technique française aux comités de sélection des programmes démonstration (DG 17) et aux programmes scientifiques (DG 12) ».

[1392] SAI de l'AFME, *Compte rendu d'activité 1986*, « 6. L'action internationale », « Liaison avec les Communautés européennes », p.2, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230.

détriment d'opérations faisant intervenir des réalisations proto-industrielles (*cf. infra* chapitre 6). Troisièmement, en influençant le choix des entreprises retenues. Or au début des années 1970, l'attribution des contrats d'aide publique au développement répond encore beaucoup à des logiques de relations interpersonnelles et de projets dans lesquels la traditionnelle influence exercée par les anciens administrateurs coloniaux français est forte[1393]. Ce n'est que très progressivement qu'une rationalisation, qu'une formalisation des procédures administratives se met en place allant de pair avec la bureaucratisation de la Commission européenne[1394]. Au sein des différentes DG intéressées par les dossiers solaires, les luttes influences sont donc nombreuses. Il y a ici tout un volet de recherches à effectuer que nous ne pouvons pas traiter dans le cadre de cette thèse, cependant nous ne pouvons pas négliger de mentionner cette contrainte supplémentaire qui impacte les affaires de la SOFRETES. D'un côté, le choix français de privilégier la filière photovoltaïque et ses acteurs se prolonge au niveau de la CEE, de l'autre, la SOFRETES s'y voit contrer par des intérêts étrangers. Prenons deux exemples.

La Commission des Communautés Européennes (CCE) organise à Cannes en octobre 1980 une conférence internationale sur les applications photovoltaïques de l'énergie solaire présidée par Palz[1395]. Cet événement se tient un peu plus d'une année après la décision du gouvernement français de donner la priorité aux technologies photovoltaïques en matière d'énergie solaire. Lors de son intervention, les propos tenus par Henry Durand rappellent clairement que cette orientation[1396] se retrouve également au niveau européen :

[1393] DIMIER, Véronique, « Institutionnalisation et bureaucratisation de la Commission européenne : l'exemple de la DG Développement », *Politique européenne*, N°11, 2003/3, pp. 99-121.

[1394] *Ibid*.

[1395] PALZ, Wolfgang, Commission of the European Communities, *Third E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, Proceedings of the International Conference, held at Cannes, France, 27-31 October 1980*, D. Reidel Publishing Compagny, 1981.

[1396] Voilà ce que dit Henry Durand au sujet du Plan photovoltaïque français de 1980 :
« Il comporte 4 volets :
a - Des subventions à la Recherche et au Développement avancé, effectuées par le COMES ;
b - Des prêts à taux nul ou préférentiel pour les développements et investissements industriels (ministère de l'Industrie) ;
c - Des commandes groupées garanties pour les besoins propres de l'État français, effectuées par le COMES ;
d - Des subventions aux démonstrations les plus méritantes, surtout à l'étranger et principalement dans les pays de l'Afrique francophone : il s'agit-il d'actions conjointes du COMES et des Ministères de la Coopération et des Affaires Étrangères.
En 1980, ont été surtout privilégiés, d'une part les actions de recherche et de développement avancé (s'adressant aussi à des Universités et autres laboratoires publics) et d'autre part le soutien du marché, par des commandes garanties et des démonstrations subventionnées. Le développement et les investissements

> La Communauté Européenne donnait, dans son premier programme quadriennal 1976-1980, une priorité évidente à la conversion photovoltaïque y consacrant le tiers des dépenses réservées à l'Énergie Solaire ; priorité renouvelée dans le second programme 1980-1983 … Pour sa part, la France a été probablement la première, avant même le démarrage du programme américain, à institutionnaliser ses incitations au développement de l'électricité photovoltaïque : c'est en 1974 que fut créé le premier budget spécifique de ce secteur, au sein du Secrétariat à la Recherche. Cette action s'est rapidement amplifiée, surtout depuis 1978, année où elle a été reprise par le Commissariat à l'Énergie Solaire. Outre le soutien à la Recherche et au Développement, des procédures de garantie de commandes à l'industrie et des subventions à des démonstrations notamment dans les Pays en Voie de Développement, ont été mises en place. Enfin, en 1980, un plan photovoltaïque a été décidé par le Gouvernement français, regroupant une partie importante de ses efforts sur un petit nombre de pôles industriels, couvrant l'ensemble du domaine, depuis la fabrication du silicium jusqu'aux générateurs d'électricité "clefs en mains"[1397].

Le père Vespieren, présent à cette conférence, mentionne justement que son ONG Aqua-Viva Mali est en train de finaliser une opération de dix pompes solaires photovoltaïques dans le cadre d'un contrat avec la CCE[1398]. En parallèle, Girardier dépose auprès du FED, en février 1980, une demande d'une aide financière supplémentaire pour une opération solaire thermodynamique de la SOFRETES financée par la CCE en Mauritanie et au Niger[1399]. Il s'agit alors d'assurer « une assistance technique aux bénéficiaires de ces installations afin de permettre une prise en charge locale du matériel »[1400], et de terminer l'installation de la troisième pompe toujours en attente au Niger[1401]. Finalement, sa demande n'aboutit pas.

L'Administrateur principal responsable des opérations de coopération scientifique à la CCE (à la Direction générale du Développement), intervient lui aussi à cette conférence. Il fait un premier bilan de l'évaluation en cours de réalisation en 1980 de

---

industriels sont en revanche quelque peu décalés dans le temps. Le COMES a consacré en 1980 15 millions de francs (3,711$) à la R&D et autant pour le soutien du marché. Les commandes garanties atteindront 120 KW en fin d'année, ce qui fait environ 20 % de la production nationale effective. Si l'effort de R&D doit se poursuivre et s'accentuer dans les années qui viennent, il est prévu de réduire progressivement, à compter de 1982-1983, le soutien du marché. Il n'est pas, à terme, sain de créer ainsi un marché artificiel. » DURAND, Henry, « Rôle des gouvernements et développement du marché photovoltaïque : le cas de la France », *in* PALZ, Wolfgang, *op., cit*., 1981, p. 155.

[1397] *Ibid*., pp. 150-151.

[1398] VESPIEREN, Father B., « The Application of Photovoltaics to Water Pumping and Irrigation in Africa », *in* PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 1981, pp. 439-445.

[1399] SOFRETES-MENGIN, « Élaboration d'un programme d'assistance technique pour les stations solaires SOFRETES-MENGIN financées par le FED », N°480/80, 6 février 1980, Archives privées de Jean-Pierre Girardier.

[1400] Il s'agit des stations solaires de N'Goral Guidal en Mauritanie (réception le 8 mars 1979), de Karma au Niger (réception le 30 octobre 1979 et inaugurée le 10 décembre 1979), ainsi que celle de Tabalak au Niger qui ne sera jamais installée.

[1401] Le projet de station de pompage pastorale à Tabalak sera déplacé à Toukounous en 1980, puis vraisemblablement à Kore-Mairoua en 1982. Mais il ne sera jamais mené à bien.

l'implantation des systèmes et équipements photovoltaïques que la CCE (sur financements FED) a fait installer dans les PVD dans le cadre de contrats d'aide communautaire de 1975 à 1980[1402]. La mission d'évaluation sur laquelle reposent les données présentées est conduite par le bureau d'étude français SEMA pour le compte de la CCE et du COMES français. Le rapprochement des deux commanditaires pour cette même étude traduit assez bien l'imbrication des acteurs et leurs positions communes. D'ailleurs, l'ingénieur-économiste Yves Lambert, qui appartient au bureau du SAI du COMES, intervient peu après dans la même session, « *Prospects for photovoltaics in developing countries* »[1403]. Lambert rend compte des opérations photovoltaïques menées dans le cadre du Programme de coopération franco-sahélien Énergies Nouvelles pour le Sahel lancé en 1976 que le SAI du COMES administre et finance conjointement avec le ministère de la Coopération depuis 1979, au même titre que les opérations du programme confiées à la SOFRETES (récupération des dossiers solaires en contrat FAC)[1404]. Les exemples d'opérations mentionnées par Lambert concernent des installations Leroy-Somer-Pompes Guinard (notamment celle du Père Vespieren à San au Mali), mais en aucun cas des projets photovoltaïques SOFRETES, qui pourtant existent dans le cadre de contrat FAC et/ou FED, tels Kanel et Thiangaye au Sénégal. Nous relevons en effet qu'aucune intervention de cette session ne mentionnent les installations photovoltaïques de la SOFRETES et qu'aucun représentant de l'entreprise n'intervient à la conférence alors que la société, forte d'une expérience sans équivalent dans les PVD, et en train de se diversifier dans la filière photovoltaïque. En revanche, les principaux représentants du photovoltaïques français (CNRS et entreprises privées), concurrents de la SOFRETES, sont présents à cette tribune européenne dans l'espoir de pouvoir bénéficier de contrats de financement communautaire[1405].

[1402] LEQUEUX P., MEUNIER B., « Évaluation des systèmes et équipements photovoltaïques utilisés dans les PVD », *in* PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 1981, pp. 98-109.
[1403] PALZ, Wolfgang, *Op. Cit*., 1981, p. viii. Ali Kettani y fait également une présentation. KETTANI, Ali, « Prospects for photovoltaics in the Arab world », pp. 80-88.
[1404] LAMBERT, Yves, « L'expérience française en matière d'utilisation des photopiles dans les pays en développement », *in* PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 1981, pp. 135-142.
[1405] Outre ceux déjà mentionnés, sont présents : RODOT, Michel (CNRS), « Research on photovoltaic conversion, a guarantee of efficiency for the European solar energy program », *in* PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 1981, pp. 186-193 ; GOMIS, J.-P. (Executive Vice President Photowatt International S.A., France), « A French industrialist's view of strategy for cost reduction », *in* PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 1981, pp. 171-177 ; FABRE E., BELOUET C. (LEP de Philips France), « Ribbons and sheets as an alternative to ingots in solar cell technology », *in* PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 1981, pp. 244-251 ; SZYDLO N., KAPLAN D., POIRIER R., (Thomson-CSF, Laboratoire Central de Recherches, France), « Post-hydrogenation of CVD

En 1980, la SOFRETES ne bénéficie donc plus de relais qui œuvrent en sa faveur auprès des Communautés européennes. La situation semble même se retourner contre elle comme l'explique une lettre de l'ambassade de France en Tunisie.

En 1981, la CEE, qui finance un projet de station de pompage solaire en Tunisie, rejette la proposition de la SOFRETES contre l'avis du gouvernement tunisien qui l'a retenue après un appel d'offres. La CEE justifie son refus d'entériner le choix des autorités tunisiennes par les arguments suivants :

> Tout d'abord, la CEE a estimé que SOFRETES ayant, paraît-il, remporté tous les projets similaires financés par la CEE en Afrique, il était souhaitable, pour des raisons politiques, de diversifier les sociétés bénéficiant des crédits communautaires. La seconde raison, d'ordre plus technique, est que la CEE aurait eu quelques problèmes avec SOFRETES au Mali et en Mauritanie. Par cette même lettre, les responsables de la CEE indiquaient que la préférence devait être donnée à la S^té^ belge BELGO-NUCLEAIRE, 2^e^ moins-disant de l'appel d'offres. Les autorités tunisiennes, et en particulier M. MAALY, responsable du PNR Energie Solaire, se sont vivement étonnées de cette décision d'autant que SOFRETES, qui possède un représentant local, jouit d'une bonne réputation alors que la S^té^ belge ne semble pas posséder la même expérience[1406].

Trois enseignements semblent pertinents à retirer de ce dernier point d'analyse des contraintes (concurrences et cadres juridiques) qui pèsent sur l'existence de la SOFRETES et de sa proposition sociotechnique.

Premièrement, la SOFRETES ne dispose quasiment d'aucun contrôle sur ses activités. En revanche, la puissance publique est omnipotente sur la question solaire.

Deuxièmement, les objectifs politiques se lisent à travers les termes des contrats qui encadrent les opérations solaires à l'étranger.

---

amporphous silicon : a promising preparation process for solar cells », *in* PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 1981, pp. 317-321 ; CLAVERIE M., DUPAS A. (CNRS-PIRDES), ESTEVE D. (CNRS-Laboratoire d'Automatique et d'Analyse des Systemes, Toulouse), « Le programme SOPHOCLE », *in* PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 1981, pp. 381-390 ; SARRE, P.-E. (France-Photon), « Énergie solaire et agriculture », *in* PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 1981, pp. 446-451 ; PREEL, X. (Engineer and Economist, Industrial Directorate of New Energies, Insulation and Heating, Societe Nationale Elf-Aquitaine), « Cathodic protection of pipelines by photocells », *in* PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 1981, pp. 457-462 ; MERCIER, D. (Responsable du Service Systemes Solaires, Moteurs Leroy-Somer), « Nouveau système de stockage et de refroidissement primaire du poisson dans les villages de pêcheurs isolés, grâce à l'énergie solaire », *in* PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 1981, pp. 472-476. Voilà quelques exemples symptomatiques. Il y en a d'autres. La dernière contribution citée, celle de Dominique Mercier, ingénieur centralien, est intéressante, car son auteur est engagé par les Etablissements Pierre Mengin en 1969 pour prendre la direction technique de la diversification solaire (*cf. supra* chapitre 1). Mercier démissionne en 1980 et il rejoint la concurrence chez Leroy-Somer (*cf. infra* chapitre 5).

[1406] Ambassade de France en Tunisie, le Conseiller économique et commercial à Monsieur le DG de la COFACE, « Assurance Prospection Société SOFRETES Mengin », lettre du 9 juillet 1981, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

Troisièmement, les opérations solaires à l'étranger se déroulent dans des marchés d'aide publique qui instituent l'usage des convertisseurs solaires. C'est-à-dire que leur existence est dépendante du cadre politique et juridique qui leur préexiste. Ce n'est pas le cas avec une motopompe Diésel qui s'achète dans le commerce. Didier analyse cela à l'époque en précisant que dans le cas de l'énergie solaire et à la différence des autres convertisseurs le droit préexiste à la technique[1407].

Notre compréhension technopolitique des opérations SOFRETES en sort renforcée.

Justement, il faut garder à l'esprit que l'opération solaire est conçue avec un objet technique. Il nous reste donc à ouvrir cette machine pour comprendre pleinement son existence politique.

Conclusion chapitre 3

Notre analyse des opérations solaires extérieures de la SOFRETES met en évidence que la société et ses machines sont instrumentalisées par les pouvoirs publics (pas seulement français) et ses actionnaires en vertue de leur capacité de séduction politique auprès des populations et des gouvernements étrangers. Elles sont des outils de rayonnement à l'échelle internationale et locale. Aussi servent-elles d'abord des intérêts de pouvoir.

Ces opérations technopolitiques portent préjudice à une possible industrialisation du moteur solaire SOFRETES dont il n'est en fait jamais question (souvenons-nous que la question solaire est posée dès le XIX^{e} siècle).

Pensées, réalisées et abandonnées dans le temps court pour satisfaire des intérêts non-solaires (électoralistes, commerciaux, diplomatiques), les paramètres des opérations de démonstration sont trop limités, trop incomplets, pour pouvoir porter la proposition sociotechnique thermodynamique basse température au stade industriel. L'opération est néfaste à l'objet qu'elle utilise.

Ce ne sont pas les machines qui dysfonctionnent mais bien la nature et les modalités des opérations politiques qui projettent les machines dans un environnement institutionnel, juridique et matériel qui les empêche de fonctionner normalement.

[1407] DIDIER, Eric, *op. cit*., 1981.

L'opération mène contractuellement à la panne. Cette conséquence devient la cause invoquée inversant les déterminants, la technique recouvrant alors abusivement la politique.

Si cette technopolitique solaire à l'étranger impacte la sociotechnique elle-même puisqu'elle la disqualifie des possibles, elle marque également la relation des usagers à l'autorité publique qui s'incarne et se légitime dans l'infrastructure de pompage[1408].

La mise en pompage solaire, en permettant l'accès à la ressource, offre à la puissance publique un levier d'emprise et de légitimation sur les administrés, mais offre également une machine avec des potentiels politiques, qui, comme nous l'avons montré, ne sont pas les mêmes avec une pompe Diesel. En l'occurrence ici, un instrument d'autonomisation pouvant servir une citoyenneté solaire, c'est-à-dire repensée en termes de relation de dépendance politico-énergétique (une autre souveraineté énergétique et alimentaire) : décentralisation, indépendance, autonomie, technologie appropriable, durabilité, récupération, faible écart de température et petite puissance.

Schématiquement, nous pouvons résumer cela ainsi : une opération de coopération (Aide-intérêt et Aide-échange) pour les gouvernements, très séduisante pour les populations, dans un temps court, est riche de dividendes politiques.

Mais une installation solaire qui tombe vite en panne, puis que l'État abandonne, n'impacte pas seulement l'avenir de la trajectoire sociotechnique mais également les rapports des populations à l'État.

La panne se doit d'être technique, c'est-à-dire apolitique, car si elle implique la responsabilité de l'État, la proposition sociotechnique potentiellement alternative devient trop désajustante pour l'ordre social.

[1408] Lire GOMEZ-TEMESIO, Veronica, *L'État sourcier. Eau et politique au Sénégal*, ENS Éditions, 2019.

Chapitre 4 L’objet technique : des machines pour une sociotechnique

Introduction chapitre 4

L'offre technique de la SOFRETES se diversifie en réponse aux opportunités commerciales et en fonction des améliorations apportées de façon incrémentale à chaque installation après évaluation de son fonctionnement et des réajustements effectués. Dès les premières installations prototypiques (1973-1975) le cahier des charges est élargi par un programme de R&D sur trois ans (1976-1978) grâce auquel la plupart des défis techniques sont relevés. Toutes les installations qui sont montées en découlent.

L'activité de R&D solaire se subdivise en deux branches complémentaires. La première concerne le produit historique, le MGS 2-1000, qui équipe les stations de pompage intégrées de 1 kW (type Chinguetti). Le second volet se décline en un programme beaucoup plus ambitieux qui vise notamment la conception de stations mixtes (plusieurs applications) de moyenne puissance (5-100 kW).

L'organisation de ces travaux de R&D est plutôt complexe car elle mobilise des activités menées en interne et d'autres qui sont externalisées. En interne, les équipes de salariés de la SOFRETES et des Etablissements Pierre Mengin travaillent avec les ingénieurs détachés par le CEA à la SOFRETES et avec ceux de la Régie Renault aux Etablissements Pierre Mengin. En externe, ce sont principalement des laboratoires du CEA qui apportent leurs compétences sur des éléments très précis des dispositifs (voir le tableau ci-dessous).

Tableau 5 : le solaire au CEA (1972-1983). Il s'agit d'un réseau de compétences éclatées entre différents services et en différents lieux dont l'activité principale ressort du nucléaire notamment le transfert et la conversion de chaleur

CEA Siège Paris	Délégué à la Diversification (puis à l'Innovation et à la Valorisation industrielles en 1979)	- André Schneider-Maunoury (1974-1979) - Pierre Jacquard (1979-1982)
	Chef du Projet Énergie solaire auprès du Délégué à la Diversification	- Bernard Devin (ancien chef du SEEN, chef du SAI du COMES à partir de fin 1980)
Département des études mécaniques et thermiques (DEMT		

Saclay/Grenoble/Cadarache) de la DEDR	Service d'études énergétiques (SEEN) dirigé par Jean Bliaux jusqu'en 1982 dont : - Laboratoire spécial de la physique (LASP) du CENG - CES (Chaleur, économie stockage) de Saclay - ERS (Étude et réalisation de systèmes solaires) de Saclay et Cadarache - TSA (Techniques solaires avancées) à Cadarache	Dépend du Département de transfert et de conversion d'énergie (DTCE) du CENG dirigé par Henri Mondin. Ensuite le SEEN est rattaché au Département des études mécaniques et thermiques (DEMT) dirigé par Jean Rastoin, lui-même rattaché à la Division d'étude et de développement des réacteurs (DEDR) dirigée en 1982 par Rastoin.
CENGrenoble DTA (Direction des technologies avancées)	- Laboratoire d'études d'environnement et de mesures solaires (LEEMS) - Laboratoire d'électronique et de technologie de l'informatique (LETI)	
Département de métallurgie du CENGrenoble (Division de métallurgie et d'étude des combustibles nucléaires DMECN)	Laboratoire d'études des matériaux minces (LEMM)	
Département des réacteurs à eau au CENG Grenoble (DEDR)	Service des transferts thermiques (STT)	
CEA DCA Cadarache	Le SEEN Saclay y crée une plateforme d'essais solaires en 1975	En 1981, les bureaux de la SOFRETES déménagent à Cadarache.

Sources : Rapports annuel du CEA, 1975, 1979, 1980, 1981, 1983 ; CEA Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles, Compte-rendu de la réunion COMES-CEA tenue rue de la Fédération le 30 janvier 1981, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245, dossier relations avec le CEA 1978-1983 ; CABANE, Gérard, « Énergie solaire : mythe ou réalité ? », *Échos du Groupe CEA*, n°2, 1978, pp. 18-22 ; Correspondances avec Bernard Devin (août-septembre 2018) et Thierry Alleau (juin 2918) ; CAILLE Frédéric, BLIAUX Jean, entretien du 20 juin 2016 ; CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010 ; Documents biographiques de Jean Bliaux, Archives privées de Jean Bliaux.

Les avancées techniques qui sont réalisées dans le cadre d'une R&D externalisée en partenariat (avec le CEA, Renault, Technigaz et CFP-Total) ne sont donc pas uniquement destinées à la SOFRETES et leur exploitation peut lui échapper en fonction des relations contractuelles, notamment en termes de copropriété des brevets industriels déposés.

Il faut ajouter au système d'acteurs techniciens les entreprises qui fournissent certains éléments des dispositifs. Il s'agit alors d'une simple relation commerciale mais celle-ci peut s'avérer déterminante puisque les éléments dont il est question (échangeur de chaleur, turbine, pompe de réinjection et de circulation par exemple) sont des segments clefs des machines. Parmi ces entreprises fournisseurs, certaines sont sollicitées comme prestataires de services pour aider au développement de certains éléments. Le schéma heuristique ci-dessous formalise ce système d'acteurs techniques vu par le directeur de la R&D chez SOFRETES à la fin de l'année 1978.

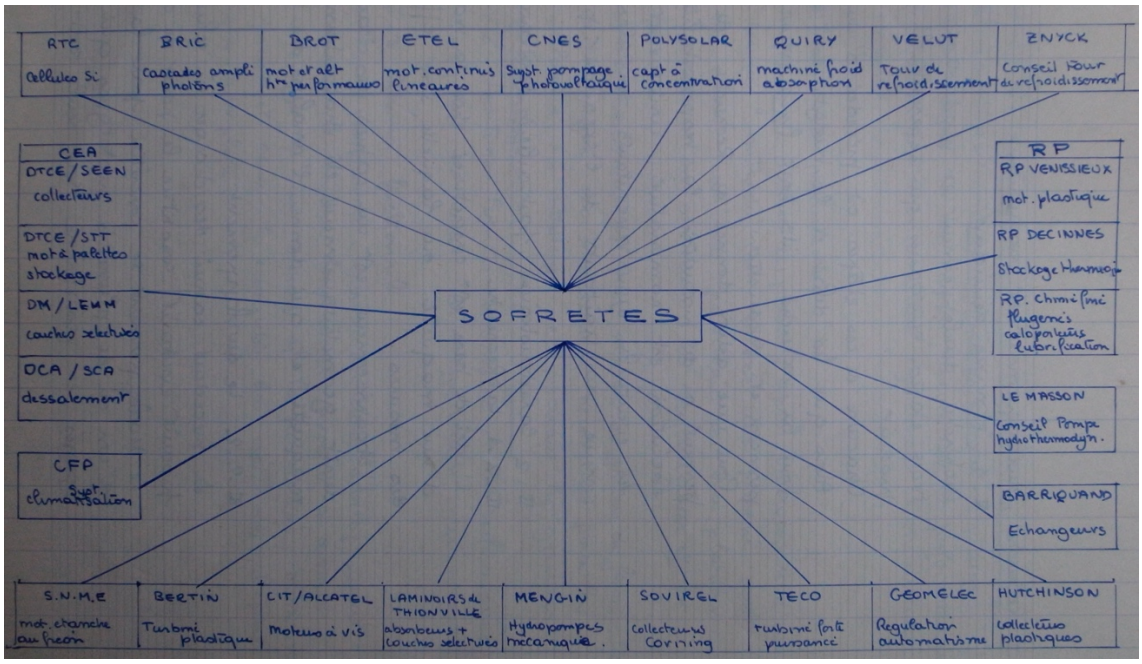


Figure 34 : schéma réalisé fin 1978 par Jean-Paul Durand, ingénieur du CEA responsable de la R&D à la SOFRETES. Archives privées fonds BCD (CEA). RP : Rhône-Poulenc.

De 1976 à 1978, la SOFRETES et ses actionnaires (le CEA, la CFT-Total, Technigaz et la Régie Renault) bénéficient du versement d'une aide au développement de la DGRST. Chacun apporte à la SOFRETES son expertise dans un domaine particulier du programme de R&D défini dans le cadre de ce contrat d'aide au développement qui

est subdivisé en sous-programmes (des comités). La CFP-Total s'engage aux côtés de la SOFRETES dans le volet climatisation (habitat) et Technigaz dans celui du froid solaire (conservation et habitat). La Régie Renault travaille à la normalisation d'un capteur (rationalisation de sa construction) et à la simplification de son montage par les populations locales, ainsi qu'à la mise au point d'une gamme complète de moteurs, à membrane (500 W) et à vis (pour rappel, le MGS 2-1000 est un moteur à piston), tout en industrialisant le MGS 2-1000 (présérie pour abaisser le coût unitaire). Le CEA s'intéresse aux capteurs, au banc d'essai, aux boucles thermodynamiques de moyennes puissances (d'abord de 25 et 50 kW, pour finalement normaliser deux produits : de 5 et 10 kW), aux échangeurs, aux condenseurs évaporatifs, à un moteur à palette de petite puissance (2-3 kW), à la question du stockage thermique nécessaire à un fonctionnement en continu 24h sur 24h et aux dispositifs de production de dessalement et de production de froid. Les Etablissements Pierre Mengin apportent également leur savoir-faire en matière de pompes. Ce programme vise donc à définir les caractéristiques les meilleures pour les différents éléments des dispositifs à l'étude avec deux objectifs : abaisser les coûts et augmenter la gamme des produits. En 1977, le premier rapport d'activité du programme DGRST (sur sa première année d'exercice 1976) conclut : « nous pouvons proposer dès maintenant des centrales de 1 kW-3kW-5kW-10kW-25kW-50 et 100kW, avec des délais de réalisation : 1978. »[1409] Cependant, les dépenses engagées par la SOFRETES et son premier partenaire, le CEA, dans leur programme de R&D commun, dépassent vite les sommes allouées par la DGRST dans le cadre du contrat d'aide au développement initial de 1976. Dès 1977, le CEA dépose des demandes complémentaires auprès de la DGRST, puis du COMES à partir de la fin 1978.

Analyser l'évolution de l'offre technique de la SOFRETES permet, outre d'identifier les réalisations (les machines mises au point et installées mais aussi les prototypes et les recherches restées sans lendemain) et leurs potentiels (les services rendus en termes sociotechniques), d'apprécier ses relations avec les acteurs du financement public de sa R&D, la DGRST et le COMES, ainsi qu'évaluer la participation de ses actionnaires, des plus engagés comme le CEA au plus distancié comme la CFP-Total. Les documents d'archives mobilisés renseignent également sur les résultats des évaluations qui sont menées par le Crédit national, et par la Direction Générale de L'industrie (la

[1409] SOFRETES, *Rapport d'activité 1976 pour la DGRST*, 1977, p. 4, archives privées fonds usine Mengin.

DIMME à la DGI), des différentes demandes d'aides déposées[1410]. La solidité du projet d'entreprise et du projet technique y sont à chaque fois questionnés.

L'éventaire des machines SOFRETES est une succession de prototypes dans différents domaines d'application de la transformation de la chaleur solaire. Si la réponse technique est fonction des besoins à satisfaire (pompage d'eau potable, d'eau pastorale, d'eau d'irrigation, électricité, chauffage, climatisation, froid de conservation et enfin dessalement), la proposition sociotechnique est toujours la même : la récupération d'un faible gradient de température déjà existant converti en force mécanique par un dispositif simple, robuste et le plus appropriable possible[1411]. C'est pourquoi il s'agit d'une seule trajectoire sociotechnique mais qui se décline sous la forme de plusieurs machines. Notons l'exception que représente au catalogue de la SOFRETES les pompes photovoltaïques qu'elle intègre à son offre commerciale à partir de 1979. La concurrence des pompes photovoltaïques est identifiée par la SOFRETES dès 1975[1412], plutôt d'ailleurs en tant que technologie complémentaire dans les petites puissances (1-3 kW au maximum). Un volet photovoltaïque est alors ajouté à l'activité R&D en 1976[1413].

Comme nous l'avons explicité aux chapitres 1 et 2, le moteur solaire SOFRETES et ses avatars ne sont pas des inventions nouvelles, ils prolongent des expérimentations anciennes et concrétisent des possibles identifiés mais non encore exploités avec suffisamment de visibilité. Ce qui nous fait écrire que cette proposition sociotechnique n'est pas orpheline. Elle n'est pas non plus isolée de son environnement industriel puisqu'elle cherche à être simple et appropriable. En plus d'être ouverte, c'est-à-dire que

[1410] Voir par exemple : Rapport du Crédit national, Affaire SOFRETES, « Conditions d'octroi d'une éventuelle subvention de 5 900 000 F à la société SOFRETES » dans « Fabrication d'une série complète de moteurs solaires industriels », subvention sollicitée de 5 900 000 F, 12 novembre 1975, Dossier N° C.S. 1.336.824-02/1 quater, N° DGRST Da 576, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; Rapport d'évaluation confidentiel de M. SIMON pour la DGRST, « demande d'aide présentée par la SOFRETES concernant des pompes solaires », novembre 1975, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; DGRST, M.F. Simon, *Expertise sur le rapport d'activité 1977 de la société SOFRETES*, 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16. DGI, *Analyse du projet de développement de SOFRETES*, 1977, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

[1411] Marbach ne remet absolument pas en cause ces caractéristiques des machines SOFRETES. Il écarte d'ailleurs complétement la défaillance technique des raisons qui peuvent être invoquées pour expliquer l'abandon des installations sur site, « et pourtant on a fait du solide ! ». Entretien avec Christian Marbach, *op. cit*. L'association Phéso a d'ailleurs récupéré un moteur MGS 2-1000 en bon état au Burkina Faso en 2021.

[1412] Réunions de travail SOFRETES/PROMETHEE du 14 avril au 17 avril 1975, Note d'information, archives privées de Georges Alexandroff.

[1413] SOFRETES, *Rapport d'activité 1976 pour la DGRST*, 1977, p. 6, archives privées fonds usine Mengin.

ses mécanismes sont accessibles, chaque élément est isolable, remplaçable, voire modifiable, la machine est aussi assemblée au moyen d'éléments existants dans le commerce de détail. Il s'agit de connecter des pièces, détournées de leurs premiers usages, qui ne sont pas forcément construites sur-mesure afin d'abaisser les coûts de revient et de faciliter d'éventuelles réparations. En bref, la machine peut fonctionner, même avec un rendement très bas, au moyen d'un certain nombre de pièces disparates et faciles à trouver car elles sont issues d'industries traditionnelles : du commerce et non d'activités de laboratoires. Les fournisseurs sont donc nombreux et les échanges se font dans un marché préexistant, celui des compresseurs à vis par exemple, ou encore celui des échangeurs de chaleur. Si cette logique n'est évidemment pas applicable pour tous les segments de la machine, elle en demeure sa caractéristique principale.

Une dernière remarque préliminaire est nécessaire. En sortie du moteur, c'est-à-dire en aval de la récupération de chaleur et de sa transformation en mouvement circulaire puis linéaire (bielle-manivelle), le pompage de l'eau est rendu plus aléatoire que la génération d'électricité en raison de contraintes géophysiques et sociales. En effet, une fois le moteur en marche, le pompage de l'eau est alors dépendant de nombreux facteurs liés à chaque site qui varient dans le temps : la qualité du forage, la profondeur de la nappe, le débit et la hauteur du fleuve (variations saisonnières, annuelles, etc.) et les conflits d'usages sur les points d'eau (aspects sociaux donc). Dit autrement, comme nous le rappelle un ingénieur de la SOFRETES, pomper de l'eau est plus difficile que de générer de l'électricité[1414]. Un constat empirique à l'immense résonnance quant à l'évaluation de la proposition sociotechnique. La seule contrainte commune aux deux applications est celle de l'alternance des jours et des nuits. Une contrainte relative puisqu'elle n'empêche pas le fonctionnement du dispositif mais en restreint simplement la durée, du moins dans une première phase prototypique, puisque la question du stockage thermique par éléments naturels (l'inertie de l'eau dans un réservoir) est vite mise en œuvre afin d'assurer un fonctionnement 24h sur 24h.

[1414] CAILLE Frédéric, DUFOUR Pierre, entretien du 12 décembre 2018.

1. La station de pompage solaire intégrée

Les premières commandes prolongent la station intégrée d'hydraulique villageoise et pastorale MGS 2-1000 de Chinguetti[1415]. En volume, c'est le produit d'appel que le Programme Énergies Nouvelles pour le Sahel des ministères de la Coopération et de l'Industrie soutient au Sahel francophone à partir de 1975[1416] et que le gouvernement mexicain achète dans le cadre de son programme national solaire *Tonatiuh* (voir le tableau des installations p. 346 pour toutes les opérations MGS 2-1000). La station est conçue à partir de critères sociotechniques. Pour augmenter sa rentabilité technico-économique la machine est intégrée au bâti. Des améliorations successives sont apportées à certains éléments du dispositif et ces stations intégrées font régulièrement face à des difficultés liées à leurs conditions d'usage sur le terrain.

La pompe-école type Chinguetti coûte environ 400 000 F en 1973, puis environ 110 000 F pour les trois premières stations mexicaines et enfin 60 000 F pour les sept suivantes en 1974[1417]. Rappelons que la station de pompage MGS 2-1000 développe une force mécanique de 1 kW pendant 5 à 7 heures en convertissant une différence de température entre une source chaude (capteurs) à environ 70°C et une source froide (eau du puits) à environ 28°C (c'est l'optimum technique du dispositif)[1418]. Il s'agit d'une performance sociale car un si faible écart de température est partout présent au Sahel et sa conversion ouvre des perspectives de développement et de justice sociale dans l'accès à la ressource (la chaleur et l'eau).

[1415] En 1976, un brevet industriel est déposé : brevet de Jean-Paul DURAND, Jean-Pierre GIRARDIER et Dominique MERCIER, « Station de production d'énergie solaire, et dispositif d'insolation s'y rapportant », 25 novembre 1976, n°7635556.
[1416] Ministère de la Coopération, Direction des Programmes et ministère de l'Industrie et de la Recherche, Délégation aux Énergies Nouvelles, *Rapport technique du Programme Énergie Nouvelle pour le Sahel*, Mai 1975, archives privées de Georges Alexandroff.
[1417] Comptabilité de la SOFRETES et des Etablissements Pierre Mengin, Dossier commande mexicaine, archives privées fonds usine Mengin ; Réunions de travail SOFRETES/PROMETHEE du 14 avril au 17 avril 1975, Note d'information, p. 5., archives privées de Georges Alexandroff.
[1418] CEA, SEEN, Rapport *Les pompes solaires*, Avril 1976, pp. 4-6, archives privées fonds BCD (CEA) ; Correspondance avec Jean-Paul DURAND (2018-2019) ; CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010.

Trois modèles sont normalisés (MS3, MS5 et MS7)[1419]. Ils se différentient par la surface de captage croissante qui permet d'augmenter la quantité d'eau pompée à profondeur équivalente[1420]. Les performances du dispositif décroissent avec la profondeur et à partir de 50 m (la limite supérieure de fonctionnement) ils deviennent très dépendants de la température de la source froide[1421]. Or justement, si les régions arides manquent par définition d'eaux de surface, leurs nappes souterraines se trouvent à des profondeurs (30-40 m) qui correspondent bien à l'intervalle de fonctionnement de la station intégrée SOFRETES[1422]. Afin de mieux se rendre compte du service rendu, il faut transposer ses mesures quantitatives en indicateurs sociaux. Une méthode d'évaluation que préconise et applique le rapport technique du Programme Énergie Nouvelle pour le Sahel en mai 1975 afin d'affirmer la pertinence des machines SOFRETES par rapport à leurs objectifs[1423]. En effet, les termes du rapport rappellent que « le choix technologique est une composante essentielle du processus de développement (rural en particulier) et doit donc être préparé par une triple approche économique, écologique et socio-politique »[1424].

Pour une application sanitaire, c'est-à-dire pour la fourniture d'eau destinée directement aux besoins d'une communauté villageoise ou semi-urbaine, une MS3 dessert quotidiennement environ 1000 habitants. Dans les régions sahéliennes victimes de la sécheresse du début des années 1970, les populations rurales isolées sont identifiées comme étant en état de première urgence avec moins de 5 l par personne. La SOFRETES se base sur les besoins de références (15 l/habitant/jour) défini par les plans nationaux de développement[1425]. Ainsi, la station intégrée MGS 2-1000 retient-elle 20 l/habitant/jours

[1419] Fiches produits Renault Moteurs International-SOFRETES, archives privées de Georges Alexandroff ; SOFRETES-GIE Prométhée (CEA), *Rapport technique sur l'utilisation de l'énergie solaire*, 1975, archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1420] MS3 3m^3/h à 30 m pour 75 m^2 dont 63 m^2 actifs ; MS5 5m^3/h à 30 m pour 91 m^2 couverts dont 77 m^2 actifs ; MS7 7m^3/h à 30 m pour 130 m^2 couverts dont 112 m^2 actifs. *Ibid*.
[1421] CEA, SEEN, Rapport *Les pompes solaires*, Avril 1976, pp. 4-6, archives privées fonds BCD (CEA).
[1422] Ministère de la Coopération, Direction des Programme et ministère de l'Industrie et de la Recherche, Délégation aux Énergies Nouvelles, *Rapport technique du Programme Énergie Nouvelle pour le Sahel*, Mai 1975, p. 5, archives privées de Georges Alexandroff.
[1423] *Ibid*.
[1424] *Ibid*., p. 3.
[1425] SOFRETES-GIE Prométhée (CEA), *Rapport technique sur l'utilisation de l'énergie solaire*, 1975, p. 15, archives privées de Jean-Pierre Girardier.

comme seuil de base pour l'évaluation de ses performances : « pour un niveau de 30 m, la MS7 permettra de fournir 20 litres par habitant et par jour à 1300 personnes. »[1426]

Pour une application pastorale, le pompage est conçu pour abreuver les gros ruminants dans les pâturages désertés par manque de points d'eau. L'objectif est de reconstituer le réseau des points d'abreuvement afin d'éviter le surpâturage autour de centres surchargés, « la dispersion ainsi possible des pôles d'exploitation des zones pastorales extensives évite la surexploitation des pâturages et la dégénérescence de la flore »[1427], une des principales causes de la désertification du sahel avec la déforestation pour le bois de chauffe[1428]. Les contraintes épidémiologiques et l'utilisation correcte du sol pour les cultures fourragères, qu'il convient de développer en parallèle, sont des dimensions qui sont intégrées aux projets d'installations d'unités de pompage pastorale. C'est le cas en Haute-Volta où un contrat FAC finance la réalisation d'une piste à bétail ou encore au Tchad où des abris sous capteurs sont dédiés à des centres vétérinaires comme en Haute-Volta (voir tableau des installations p. 346). Afin de dimensionner correctement les installations pastorales MS3, 5 ou 7, la SOFRETES procède de la même manière que pour l'eau sanitaire, elle se base sur des moyennes sahéliennes. La norme d'abreuvement est de 40 litres par jour et par bovin avec une charge à l'hectare d'un animal pour 8 ha en pâturage extensif[1429] : « pour un niveau de 15 m, la MS5 permettra d'abreuver 900 têtes par jour (à 40 litres par têtes). »[1430]

En tant qu'objet technique, la station MGS 2-1000 est encombrante (charpente métallique, machine lourde et volumineuse, château d'eau) et son coût initial demeure élevé pour une communauté villageoise. En effet, si en l'état du marché d'aide dans lequel elle existe, le prix de vente est modeste pour l'État ou l'organisation internationale bailleur, l'objectif commercial et industriel de la SOFRETES est bien entendu d'en faire le plus vite possible un produit de série destiné à un marché de vente au détail comme c'est le cas pour un groupe motopompe Diésel (mais cela n'arrive pas). C'est pourquoi la

[1426] Fiches produits Renault Moteurs International-SOFRETES, archives privées de Georges Alexandroff.
[1427] SOFRETES-GIE Prométhée (CEA), *Rapport technique sur l'utilisation de l'énergie solaire*, 1975, p. 17, archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1428] Lire par exemple NOVIKOFF, C., « Traditional Grazing Practices and Their Adaptation to Modern Conditions in Tunisia and the Sahelian Countries », *Ecological Bulletins*, N° 24, Can Desert Encroachment Be Stopped ?, 1976, pp. 55-69. L'auteur mentionne les installations pastorales de la SOFRETES et questionne leur futur impact sur la désertification et le surpâturage.
[1429] *Ibid*., p. 17.
[1430] Fiches produits Renault Moteurs International-SOFRETES, archives privées de Georges Alexandroff.

station solaire intégrée est conçue pour héberger un local sous les capteurs qui servent alors de toit et de climatiseurs. Selon les projets de développement, les locaux privilégient l'accueil d'une école, d'un dispensaire, d'un centre vétérinaire, d'un marché, d'une coopérative agricole et de manière beaucoup plus secondaire des bureaux et des commerces. Il s'agit bien pour l'objet solaire d'induire un développement autour de l'accès à la ressource.

Dès l'installation de Chinguetti en 1972-1973, une succession d'améliorations techniques sont apportées en quelques années pour augmenter les performances des différents éléments tels les capteurs (dimensionnement et optimum), les échangeurs (fuites et corrosion), les pompes de réinjection et de circulation, les segments du moteur à piston et le réglage des soupapes, la complémentarité entre le fluide de travail (butane commercial) et les huiles afin d'éviter les fuites, leur récupération et leur séparation en sortie d'arbre moteur (pot déshuileur[1431]), les pompes de forage. Cependant, il s'agit de modification à la marge qui permettent surtout une plus grande pérennité du dispositif (rudimentaire et robuste) ainsi qu'une meilleure intégration dans son environnement industriel et social (maintenance minimale et transférabilité maximale). Certaines pièces sont issues du commerce, au lieu d'être réalisées sur-mesure dans les usines Mengin, ce qui les rend plus accessibles et moins chères (surtout les échangeurs). Les recherches s'orientent vers toujours plus de transférabilité aux populations locales pour la construction des capteurs (matériaux et technique d'assemblage) et le montage des stations (génie civil et charpentes métalliques par exemple). Car comme le stipule le rapport technique du Programme Énergie Nouvelles au Sahel en mai 1975, l'objectif premier est d'assurer cette appropriation à l'échelle micro où « 30 % de l'installation thermique peut être sous-traitée »[1432], « ces travaux représentent environ 50 % des dépenses »[1433].

Cela étant, chaque installation reste étroitement dépendante de la réalisation des forages (les puits), qui est à la charge des bénéficiaires. Ils sont soit réalisés directement par les services compétents de l'État client (ce n'est pas toujours le cas comme nous

[1431] Plan et caractéristiques techniques du pot déshuileur, juillet 1974 ; Comptabilité de la SOFRETES et des Etablissements Pierre Mengin, Dossier Mexique. Archives privées fonds usine Mengin.
[1432] Ministère de la Coopération, Direction des Programme et ministère de l'Industrie et de la Recherche, Délégation aux Énergies Nouvelles, *Rapport technique du Programme Énergie Nouvelle pour le Sahel*, Mai 1975, p. 19, archives privées de Georges Alexandroff.
[1433] *Ibid*. p. 49.

l'avons montré pour l'installation de Chinguetti) et/ou avec l'aide du BRGM français et d'entreprises sous-traitantes locales dans le cas des chantiers en Afrique francophone[1434]. Au Mexique, c'est l'État mexicain qui aménage directement les puits. D'ailleurs, les premiers forages mexicains posent des problèmes d'ensablement qui provoquent une usure prématurée des pompes immergées Mengin et qui en diminue d'autant leurs capacités tout en augmentant les coûts de maintenance (changement des cuirs, etc.)[1435]. Il y a deux cas de figure. Dans le premier, l'installation cherche un puits déjà existant sur le territoire. Celui-ci doit alors être compatible avec les dimensionnements et les caractéristiques du pompage solaire SOFRETES. Si ce n'est pas le cas, il convient de mettre aux normes l'aménagement hydraulique. Si ce travail est mal fait, la station a beau fonctionner normalement elle ne peut pas rendre les services escomptés (cas de Chinguetti). Dans le second cas de figure, un nouveau forage doit être exécuté, avec les mêmes enjeux, mais souvent avec des coûts supérieurs. Au Mexique, certains forages sont plus profonds que prévu, voire se situent à la limite très supérieure du bon fonctionnement de l'installation.

Au fond du puits, la question de la pompe se pose. Au départ, en 1974, l'entreprise récupère en France des anciennes pompes hydrauliques Mengin à pistons, en fonte et en cuir (pompe immergée actionnée par une presse hydraulique), et les recycle dans les installations solaires à l'étranger. Bien vite, elle les remplace, dans les unités MGS 2-1000, après des essais avec des pompes Briau à tringle, par un nouveau modèle de pompe, simple et léger, avec des membranes en caoutchouc, adapté d'un dispositif de pompe à pied destiné aux villages du tiers-monde (la presse hydraulique est en surface). Les pompes Vergnet entrent au catalogue de la SOFRETES (fabrication et distribution), en même temps que leur inventeur, l'ingénieur du Génie rural des Eaux et Forêts, Marc Vergnet, qui y est détaché par les services de l'État en 1974, en tant qu'adjoint du PDG

[1434] BRGM, Agence d'intervention à l'étranger (AGE), *L'approvisionnement en eau des populations rurales en Afriques*, Références du BRGM en hydraulique villageoise en Afrique, Programmes achevés, en cours ou signés en avril 1981, archives privées de Jean-Pierre Girardier. En 1975, la contractualisation d'un GIE entre la SOFRETES, le BRGM et la société de forage international FORACO est évoquée pour les petits forages (Réunions de travail SOFRETES/PROMETHEE du 14 avril au 17 avril 1975, Note d'information, archives privées de Georges Alexandroff) et un accord passé avec FORACO est confirmé dans un document de1977 (*Projet de plan de développement de SOFRETES*, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

[1435] Lettre de Girardier à Antonio MURRAY du 21 janvier 1975, comptabilité de la SOFRETES et des Etablissements Pierre Mengin, Dossier Mexique, archives privées fonds usine Mengin.

Girardier[1436]. Ces pompes, en plus d'équiper certaines stations solaires, font donc l'objet d'un deuxième marché, complémentaire, celui des pompes à pied, c'est-à-dire actionnées par la force musculaire. La SOFRETES en vendra des milliers en Afrique, moyennant quelques travaux de maintenance au niveau des membranes. Cette activité lui survivra au sein des Etablissements Pierre Mengin (*cf. infra* chapitre 5).

En dehors des problèmes liés aux forages dont nous avons déjà parlé (Chinguetti, Mexique et Haute-Volta par exemple), les autres dysfonctionnements des stations intégrées équipées d'un MGS 2-1000 ne sont pas à imputer au moteur mais aux échangeurs de chaleur[1437] et au Butane.

La première génération (Chinguetti, les premières pompes mexicaines, les premières pompes sénégalaises en 1975-1976, les premières pompes voltaïques en 1975-1976 par exemple) souffre de la fragilité des échangeurs à tubes verticaux construits dans l'usine Mengin. Deux modèles sont essayés mais ils résistent mal aux aléas du transport en zone aride reculée[1438]. Ils sont également sujet à la corrosion en raison de la présence

[1436] Procès-verbal du Conseil d'administration de MENGIN du 28 juin 1974, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2, pochette SOFRETES-MENGIN. Brevet de Marc VERGNET, « Pompe perfectionnée », 4 juillet 1973, n°7324533, il s'agit de la pompe à pied. Marc Vergnet dépose un autre brevet en 1973, celui d'une motopompe solaire à membrane, donc d'un moteur concurrent du MGS 2-1000. Brevet de Marc VERGNET, « Perfectionnement aux pompes solaires », 22 août 1973, n°7330667. D'ailleurs, dans ce brevet, Vergnet qualifie le MGS 2-1000 de « solutions (qui) présentent des sujétions incompatibles avec les conditions normales d'utilisation (absence de personnel qualifié…) » (p. 1). Il poursuit en critiquant sévèrement les performances du MGS 2-1000, « … Ne donnent pas entière satisfaction par suite de la grande inertie des moteurs, notamment au démarrage, un coût de fabrication élevé, un entretien important, une fiabilité contestable et enfin un faible rendement de la transformation d'énergie calorifique en énergie mécanique » (p.1). Il tente de négocier avec Girardier, sans succès, la fabrication et la distribution par la SOFRETES de son moteur. Marc Vergnet reste employé à la SOFRETES jusqu'en 1980, tout en étant recruté par le Président du COMES pour siéger à son Comité technique, puis par l'AFME en 1982 pour laquelle il s'occupe des projets photovoltaïques dans les DOM-TOM. Il rachète ensuite au CEA sa filiale éolienne Aérowatt en 1988 et la transforme en un groupe privé qui diversifie ses activités dans la filière photovoltaïque jusqu'à aujourd'hui. CAILLE Frédéric et GIRARDIER Jean-Pierre, entretien du 7 juillet 2015 et CAILLE Frédéric et Marc VERGNET, entretien du 13 décembre 2018. Marc Vergnet dépose deux autres brevets complémentaires. Brevet de Marc VERGNET, « Pompe perfectionnée », 21 juin 1974, n°7421593 et Brevet de Marc VERGNET, « Pompe perfectionnée », 27 décembre 1977, n°7739288.

[1437] Le CEA mène très tôt pour la SOFRETES des expérimentations sur différents échangeurs afin de rationaliser la boucle thermodynamique comme l'atteste par exemple le rapport confidentiel du Service des transfert thermique (STT) du Département de transfert et de conversion d'énergie (DTCE), *Pompes solaires pour hydraulique villageoise, expérimentation ESOL 2*, Avril 1974. Il s'agit justement dans cette étude d'améliorer les condenseurs pour les stations MGS 2-1000 au Mexique. Archives privées de Jean-Pierre GIRARDIER. Ce rapport fait état de deux précédentes études en 1973 et en 1974. La collaboration du CEA aux recherches sur les échangeurs thermiques pour les stations de 1 kW est rappelée dans le procès-verbal du Conseil d'administration de la SOFRETES du 21 décembre 1974, p. 7, Archives nationales, ministère de l'Industrie, Pochette SOFRETES-MENGIN, répertoire 19910399, carton 2.

[1438] Les problèmes d'étanchéité sont dus aux secousses occasionnées pendant le transport car bien que les tubes de cuivre soient dudgeonnés ils n'y résistent pas. Plans et caractéristiques techniques des échangeurs

de plusieurs métaux (cuivre-acier-aluminium) entre les capteurs, la tuyauterie et les échangeurs, ce qui nécessite l'injection d'une solution anticorrosion. Au Sénégal, des échangeurs à tubes inclinés, achetés auprès de SECAN, sont essayés puis remplacés une seconde fois par le fournisseur. Finalement, le choix se porte sur des échangeurs VICARB horizontaux à plaque d'acier, mais avec des joints en caoutchouc, disponibles dans le commerce, qui écartent les risques de corrosion et limitent les fuites. Dans le même temps, d'autres réorientations techniques permettent de ne plus forcément avoir à jucher le moteur en haut d'une tour placée au-dessus des capteurs afin d'assurer la circulation des fluides caloporteurs par thermosiphon puisqu'une pompe de circulation est intégrée dans la boucle. Le génie civil en est facilité. L'autre difficulté importante vient du butane commercial qui sert de fluide de travail au moteur (le fluide gazeux liquéfiable, voir *supra* chapitres 1 et 3). En effet, si le mélange dans la bouteille de gaz n'est pas la plus pure possible cela occasionne des ratés dans le moteur et peut mettre en danger le dispositif. C'est le cas au Mexique par exemple où les bouteilles contiennent en fait un mélange de gaz de pétrole.

Le dernier point sensible reste le refroidissement du condenseur : l'échangeur de chaleur au niveau duquel le butane redevient liquide au contact de l'eau plus froide extraite du puits dont un volume est détourné. Cette eau froide se réchauffe donc en absorbant les calories du gaz (et avant en remontant le long du puits) limitant d'autant les performances de la machine. Comme nous l'avons dit, il y a un besoin de pompage qui se situe vers 30 m de profondeur, 50 m étant la limite très supérieure à partir de laquelle le réchauffement de l'eau de refroidissement dans le condenseur impacte trop la force de pompage. C'est là, avec la question du fonctionnement en continu, un aspect qui focalise les efforts de R&D sur une solution pour abaisser la température de la source froide au condenseur en limitant le recourt à l'eau de pompage dont un volume est détourné pour cette fonction. En juillet 1975, Renault Moteurs Développement, la filiale du constructeur automobile à travers laquelle Renault est actionnaire des Etablissements Pierre Mengin, dépose un brevet pour un dispositif de refroidissement du condenseur[1439]. La proposition est de mettre à profit la chaleur émise la nuit par des capteurs supplémentaires orientés

Mengin de 421 tubes et de 60 tubes. Comptabilité de la SOFRETES et des Etablissements Pierre Mengin, Dossier Mexique, Archives privées fonds usine Mengin.

[1439] Brevet de Renault Moteurs Développement, « Installation de transformation d'énergie », 11 juillet 1975, n°7521813.

au Nord (pour rayonner donc et non pour absorber) et ainsi abaisser la température d'un réservoir de stockage d'eau froide préalablement issu du pompage. Il s'agit d'une étape technique vers le condenseur évaporatif et la tour aéroréfrigérante[1440].

Le MGS 2-1000 ne fait plus l'objet de commande à partir de 1978. Pourtant, afin de diminuer son encombrement et son coût, et afin de ne pas abandonner la solution thermodynamique pour les petites puissances, une équipe du CEA travaille dès 1976 à la mise au point d'une petit moteur ORC à palette (dérivé d'un compresseur) qui peut le remplacer dans des installations inférieures à 5 kW (de 3 kW par exemple). Bien que ce moteur voit le jour et qu'il est testé sur une boucle d'essai à Montargis, il n'est jamais produit et installé alors qu'il est destiné à un site mexicain pour 1977 dans une installation devant fonctionner 24 h sur 24 h[1441]. Le projet disparaît avec la SOFRETES. Il faut aussi faire remarquer qu'un petit moteur à membrane (500 W) est essayé d'après un brevet industriel Renault[1442]. Astucieux, le dispositif couple le moteur et la pompe dans un seul convertisseur sans partie tournante. Il n'est pas non plus utilisé car pour les très petites puissances les photopiles sont davantage envisagées.

Si le MGS 2-1000 fonctionne en moyenne 6 heures par jour, le premier grand contrat avec le Mexique prévoit donc déjà une station de pompage opérationnelle 24 h sur 24 h. Cela signifie que le stockage thermique en amont du moteur nécessaire à son fonctionnement nocturne est envisagé alors même que la première génération de station MGS 2-1000 est en cours d'installation.

La mise au point d'un stockage est un facteur déterminant du coût de l'installation car il se répercute sur la taille de ces éléments[1443]. En effet, l'existence d'un stockage impacte le dimensionnement de tout le système. Si un dispositif fonctionne quelques heures seulement (6 h par exemple pour un MGS 2-1000), il doit être suffisamment dimensionné pour satisfaire rapidement le service attendu. Si le même dispositif

[1440] La tour aéroréfrigérante permet d'utiliser la circulation de l'air ambiant pour refroidir l'eau grâce à un mouvement de convection.
[1441] C'est la boucle thermodynamique de la station Quetzalcóatl (2-3 kW, 24h/24h, 90 m de profondeur) qui sert à tester le moteur à palette à Montargis pendant deux ans. Lettre de Girardier au Président du COMES, Henry Durand, le 9 mai 1979, p. 3, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16. Le projet sera transformé par le COMES en une station photovoltaïque. Dossier n°141, SOFRETES-MENGIN S.A. – Station de Pompage de Guadalupe, 28 novembre 1979, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1442] Brevet de Renault Moteurs Développement, « Groupe moto-pompe à membranes », 6 août 1976, n°7624061.
[1443] CEA, SEEN, Rapport *Les pompes solaires*, Avril 1976, p. 2, archives privées fonds BCD (CEA).

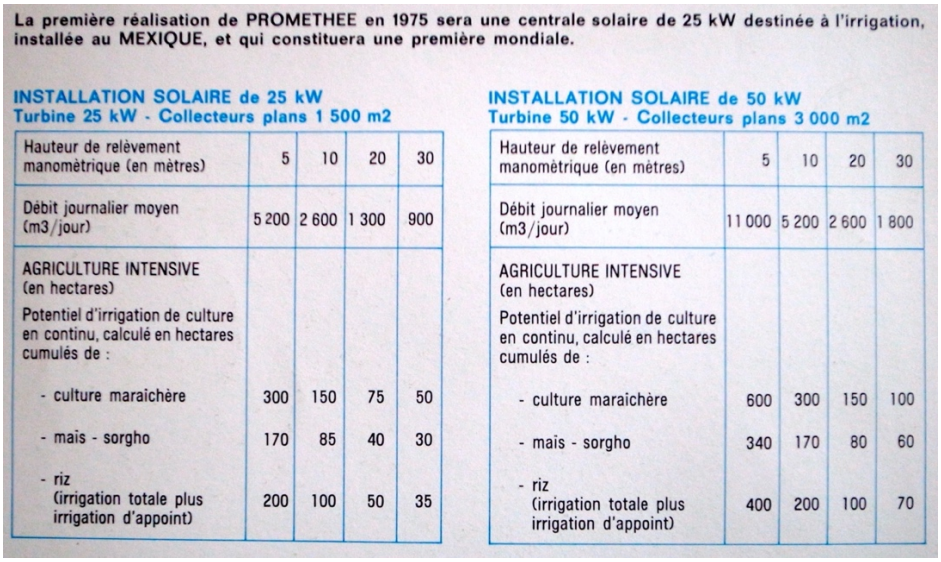
fonctionne constamment, il autorise évidemment une diminution de la taille de la machine : du moteur, des pompes, du forage, des canalisations, etc. Les coûts sont donc réduits en fonction de la durée de fonctionnement en plus de s'affranchir de la principale contrainte naturelle imputée à la chaleur solaire. Les variations diurnes (et saisonnières) posent moins de difficultés car elles n'empêchent pas le fonctionnement puisque les capteurs plans transfèrent la chaleur diffuse en présence de nébulosité ou de sable et que la pompe n'est pas trop affectée par des changements de quelques degrés notamment en raison de la forte inertie thermique de l'eau. Elle pompe simplement moins à certains moments et un château d'eau assure les besoins décalés dans le temps.

2. La station mixte de force motrice

En 1974, alors que les stations de pompage intégrées du programme solaire mexicain *Tonatiuh* sont en cours d'installation et d'amélioration, le CEA et la SOFRETES travaillent à la conception d'une station de pompage qui étend son service rendu à l'irrigation de périmètres agricoles. Elle se décline en deux modèles prototypiques, la TS 25 pour 25 kW et la TS 50 pour 50 kW[1444].

[1444] TS 25 et TS 50, Fiches produits Renault Moteurs International-SOFRETES, archives privées de Georges Alexandroff ; GIE Prométhée (CEA-SOFRETES), *Utilisation du soleil pour la fourniture en énergie des zones arides (moyennes et grandes puissances)*, archives privées de Jean-Pierre Girardier et Pochette SOFRETES-MENGIN, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2 ; SOFRETES-GIE Prométhée (CEA), *Rapport technique sur l'utilisation de l'énergie solaire*, 1975, pp. 13-20, archives privées de Jean-Pierre Girardier ; Ministère de la Coopération, Direction des Programme et ministère de l'Industrie et de la Recherche, Délégation aux Énergies Nouvelles, *Rapport technique du Programme Énergie Nouvelle pour le Sahel*, Mai 1975, pp. 12-13, 23, 37-40, 43, archives privées de Georges Alexandroff.

Figure 35 : présentation des deux modèles prototypiques d'installations solaires de 25 et 50 kW du GIE PROMETHEE.



La première réalisation de PROMETHEE en 1975 sera une centrale solaire de 25 kW destinée à l'irrigation, installée au MEXIQUE, et qui constituera une première mondiale.

INSTALLATION SOLAIRE de 25 kW
Turbine 25 kW - Collecteurs plans 1 500 m2

Hauteur de relèvement manométrique (en mètres)	5	10	20	30
Débit journalier moyen (m3/jour)	5 200	2 600	1 300	900
AGRICULTURE INTENSIVE (en hectares) Potentiel d'irrigation de culture en continu, calculé en hectares cumulés de :				
- culture maraîchère	300	150	75	50
- maïs - sorgho	170	85	40	30
- riz (irrigation totale plus irrigation d'appoint)	200	100	50	35

INSTALLATION SOLAIRE de 50 kW
Turbine 50 kW - Collecteurs plans 3 000 m2

Hauteur de relèvement manométrique (en mètres)	5	10	20	30
Débit journalier moyen (m3/jour)	11 000	5 200	2 600	1 800
AGRICULTURE INTENSIVE (en hectares) Potentiel d'irrigation de culture en continu, calculé en hectares cumulés de :				
- culture maraîchère	600	300	150	100
- maïs - sorgho	340	170	80	60
- riz (irrigation totale plus irrigation d'appoint)	400	200	100	70

Sources : GIE Prométhée (CEA-SOFRETES), *Utilisation du soleil pour la fourniture en énergie des zones arides (moyennes et grandes puissances)*, archives privées de Jean-Pierre Girardier et Pochette SOFRETES-MENGIN, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

La quantité d'eau à fournir est alors bien plus importante que ne peut le soutenir un MGS 2-1000 et les pompes à transmission hydraulique ne conviennent plus en raison de la distance entre la machine solaire et les nombreuses pompes de forages nécessaires (soit plusieurs forages, soit un fleuve). La solution est d'avoir recourt à une transmission électrique[1445]. Elle nécessite l'usage d'un turbo-alternateur en guise de moteur.

La station mixte de force motrice devient l'objectif principal des efforts de R&D conjugués de la SOFRETES et du CEA. Il est définitivement atteint en trois stades et il décline différentes applications complémentaires en adéquation avec les spécificités des lieux d'installation. D'abord avec un prototype de pompage électrique au Mexique en 1975 qui fonctionne quelques heures par jour, puis avec la première génération de station mixte (pompage, électricité et frigories) à Diré au Mali (de 1977 à 1979) dotée d'un système de régulation diurne, enfin, avec une seconde génération de stations (et dernière) à partir de 1979 qui fonctionnent 24 h sur 24 h grâce à un stockage thermique comme à Diakhao au Sénégal ou à Ryad en Arabie Saoudite et dont les potentielles applications recouvrent le pompage, la connexion d'un réseau local d'électricité et la production de froid.

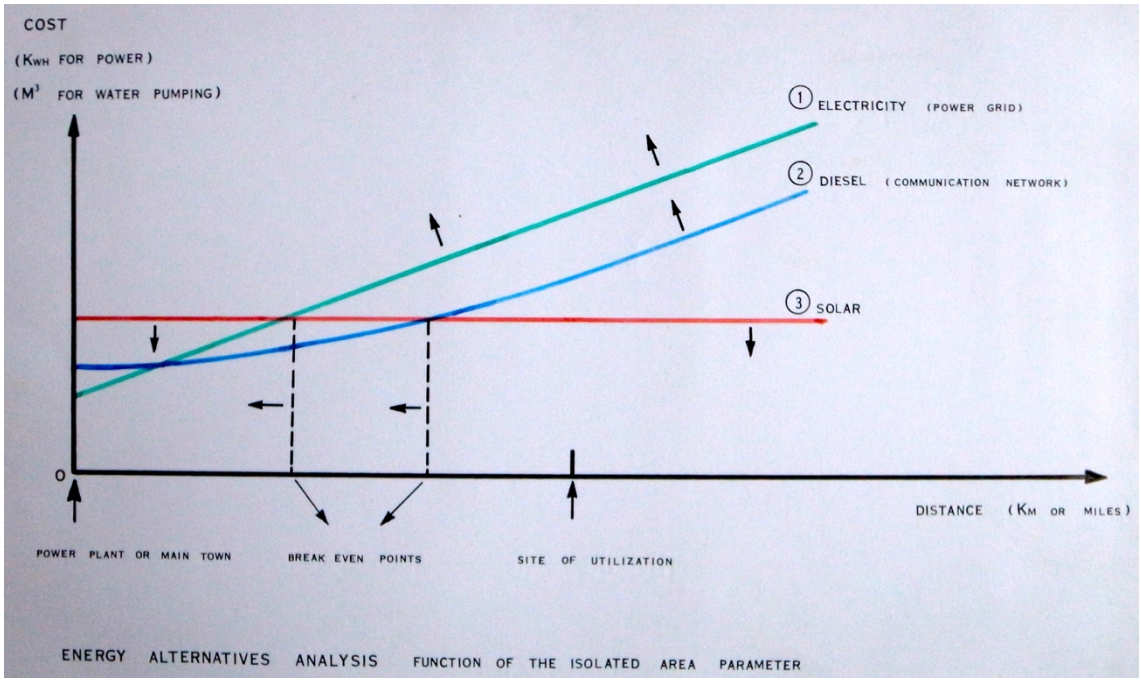
[1445] CEA, SEEN, Rapport *Les pompes solaires*, Avril 1976, p. 9, archives privées fonds BCD (CEA).

En 1975, les stations TS 25 et TS 50 sont intégrées et évaluées, tout comme les unités MGS 2-1000 de 1 kW, au Programme Énergies Nouvelles pour le Sahel des ministères de la Coopération et de l'Industrie puisqu'une première opération de démonstration est en cours au Mexique, qu'une deuxième est demandée par le Sénégal (ce sera l'opération de coopération franco-américaine de Bakel) et que la troisième est annoncée pour le Mali à Diré sous la forme d'un projet d'irrigation dans le cadre d'une accord de coopération avec la France (Diré sera la plus grande opération du Programme Énergies Nouvelles pour le Sahel[1446])[1447].

La conception de la station mixte de force motrice pour l'irrigation est guidée par l'objectif de créer un complexe de vie collective autour d'un aménagement hydro-agricole autonome. La mise en valeur des terres peut se faire grâce au pompage dans des nappes souterraines ou dans un fleuve. La priorité doit être d'abord de s'affranchir de la dépendance au transport des denrées agricoles importées, du carburant et des pièces détachées pour les groupes Diésel lorsque des périmètres irrigués existent déjà. Il s'agit des charges de fonctionnement récurrentes qui sont très élevées pour les communautés pauvres des régions rurales reculées du Sahel. Le fait que la chaleur solaire est présente sur les lieux des besoins en eau élimine Ces charges qui sont proportionnelles à la distance au centre d'approvisionnement (et aux incertitudes et irrégularités des livraisons)[1448].

[1446] MOUTHON, Alexandre, *op. cit*., 2020.
[1447] Ministère de la Coopération, Direction des Programme et ministère de l'Industrie et de la Recherche, Délégation aux Énergies Nouvelles, *Rapport technique du Programme Énergie Nouvelle pour le Sahel*, Mai 1975, p. 43, archives privées de Georges Alexandroff.
[1448] *Ibid*., pp. 12-13.

Figure 36 : évaluation comparative du coût de l'énergie solaire par rapport à la distance



Sources : archives privées fonds BCD (CEA)

Les performances estimées tiennent compte (comme pour l'eau potable et d'abreuvement) des besoins moyens de la majorité des cultures à savoir 1 l/s/ha, « hormis la riziculture exigeante : 1,8 l/s/ha »[1449] : « pour une profondeur de puits ou forage de 10 m une installation solaire de 50 kW permettra l'irrigation de 72 hectares. »[1450] Le rapport du Programme Sahel Énergies Nouvelles estiment qu'une TS 50 peut en plus héberger sous ses capteurs (3000 m^2 de logements climatisés) « 50 familles de 6 personnes »[1451]. Il s'agit de la première hypothèse, celle d'une station dédiée exclusivement aux cultures irriguées (vivrières principalement). Dans la deuxième, qui prévoit une activité exclusive de culture fourragère pour l'élevage, « l'eau pompée sert à abreuver le bétail (40 l/tête/jour) et à l'irrigation des cultures fourragères (1 l/s/ha). Suivant qualité et type de fourrage et management de la coupe, 1 ha alimente 10, 20, 30 têtes. Dans de bonnes conditions, le gain de poids en viande est compris entre 0,7 et

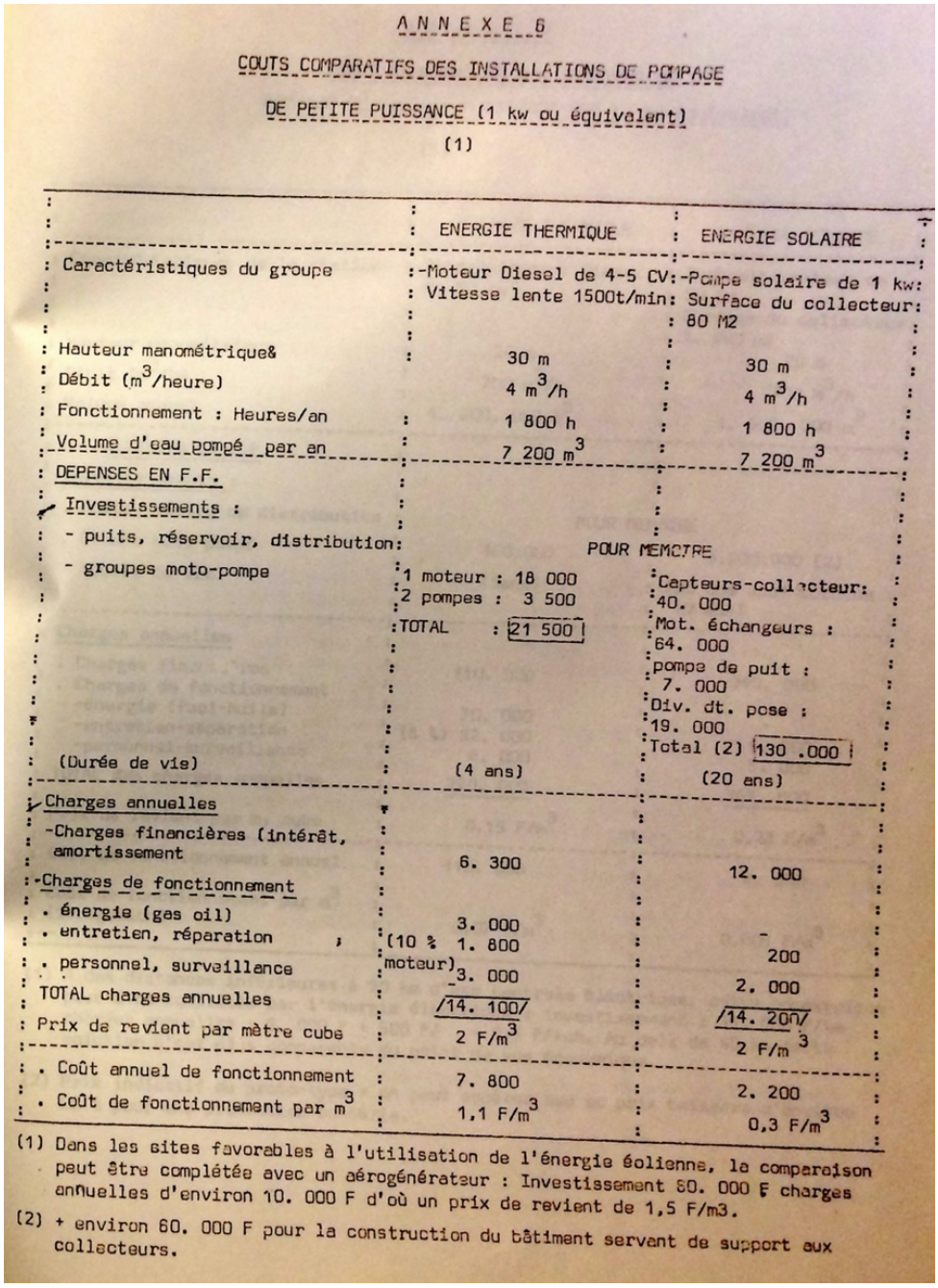
[1449] SOFRETES-GIE Prométhée (CEA), *Rapport technique sur l'utilisation de l'énergie solaire*, 1975, p. 19, archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1450] *Ibid*., p. 20 ; ministère de la Coopération, Direction des Programme et ministère de l'Industrie et de la Recherche, Délégation aux Énergies Nouvelles, *Rapport technique du Programme Énergie Nouvelle pour le Sahel*, Mai 1975, p. 38-39, archives privées de Georges Alexandroff.
[1451] *Ibid*., p. 38.

0,9 kg/jour »[1452]. La dernière hypothèse est évidemment une solution mixte. Le coût estimé d'une opération pilote intégrée de 50 kW est de l'ordre de 5 millions F (TS 50 + transport + montage et formation + génie civil) et de 3 millions pour une 25 kW.

Dès 1975, il est proposé aux clients une méthode de calcul de la rentabilité des stations sachant que l'avenir est toujours incertain et que « appréhender l'actualisation implique une grande discipline d'esprit »[1453]. Deux ensembles de critères sont pris en compte. Les premiers sont « socio-politiques et écologiques »[1454]. Il s'agit des données non quantitatives qui caractérisent l'existence de la machine comme les possibilités de transferts technologiques, d'indépendance énergétique et d'autonomie gestionnaire. Les seconds, d'ordre technico-économique sont chiffrables puisqu'ils retiennent comme éléments de comparaison possibles avec d'autres convertisseurs (ici Diésel principalement) la durée de vie du matériel et les charges annuelles récurrentes à son usage : « cette méthode consiste à déterminer la charge annuelle qui doit couvrir l'amortissement du matériel, les charges de gestion et l'intérêt du capital, connaissant les frais d'amortissement entraînés par chaque technique et charges proportionnelles, et la durée de vie du matériel employé. »[1455] Le rapport technique du Programme Énergie Nouvelle pour le Sahel (ou Sahel Énergies Nouvelles) de mai 1975 applique une telle méthode à son analyse comparative d'un groupe Diésel de série et des stations prototypiques 1kW et 50 kW pour le pompage et l'irrigation, sachant que par définition il est impossible de comparer un prototype et un objet produit en série. Il ressort de cette étude que le coût de fonctionnement annuel par m^3 pour l'irrigation est de 0,07 F avec une pompe Diésel contre 0,006 F avec la TS 50 et que le coût de fonctionnement par m^3 pompé à usage sanitaire ou pastoral est de 0,3 F avec un MGS 2-1000 contre 1,1 F avec une pompe Diésel[1456]. Le rapport propose les deux tableaux de synthèse suivants afin d'appuyer sa démonstration[1457].

[1452] *Ibid*., p. 39.
[1453] SOFRETES-GIE Prométhée (CEA), *Rapport technique sur l'utilisation de l'énergie solaire*, 1975, p. 22, archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1454] *Ibid*.
[1455] *Ibid*.
[1456] Ministère de la Coopération, Direction des Programme et ministère de l'Industrie et de la Recherche, Délégation aux Énergies Nouvelles, *Rapport technique du Programme Énergie Nouvelle pour le Sahel*, Mai 1975, pp. 41-43, archives privées de Georges Alexandroff.
[1457] On pourra également se référer à l'analyse du coût des installations solaires de 1 kW à 50 MWe que Devin et Etiévant (CEA) proposent en 1975 et notamment à l'importance qu'ils accordent au poids des capteurs et du stockage (sous conditions) dans cette évaluation qui leur font conclure que « le coût du kWh solaire et celui du kWh de pointe EDF ne diffèrent pas par des ordres de grandeur ». DEVIN Bernard,

Figure 37 : coûts comparatifs des installations de pompage de petite puissance (1 kW ou équivalent)



ANNEXE 6

COUTS COMPARATIFS DES INSTALLATIONS DE POMPAGE

DE PETITE PUISSANCE (1 kw ou équivalent)

(1)

	ENERGIE THERMIQUE	ENERGIE SOLAIRE
Caractéristiques du groupe	Moteur Diesel de 4-5 CV: Vitesse lente 1500t/min	Pompe solaire de 1 kw: Surface du collecteur: 80 M2
Hauteur manométrique&	30 m	30 m
Débit (m^3/heure)	4 m^3/h	4 m^3/h
Fonctionnement : Heures/an	1 800 h	1 800 h
Volume d'eau pompé par an	7 200 m^3	7 200 m^3
DEPENSES EN F.F.		
Investissements :		
- puits, réservoir, distribution:	POUR MEMOIRE	
- groupes moto-pompe	1 moteur : 18 000 2 pompes : 3 500 TOTAL : 21 500	Capteurs-collecteur: 40. 000 Mot. échangeurs : 64. 000 pompe de puit : 7. 000 Div. dt. pose : 19. 000 Total (2) 130 .000
(Durée de vie)	(4 ans)	(20 ans)
Charges annuelles		
-Charges financières (intérêt, amortissement	6. 300	12. 000
-Charges de fonctionnement		
. énergie (gas oil)	3. 000	-
. entretien, réparation	(10 % 1. 800 moteur)	200
. personnel, surveillance	3. 000	2. 000
TOTAL charges annuelles	/14. 100/	/14. 200/
Prix de revient par mètre cube	2 F/m^3	2 F/m^3
. Coût annuel de fonctionnement	7. 800	2. 200
. Coût de fonctionnement par m^3	1,1 F/m^3	0,3 F/m^3

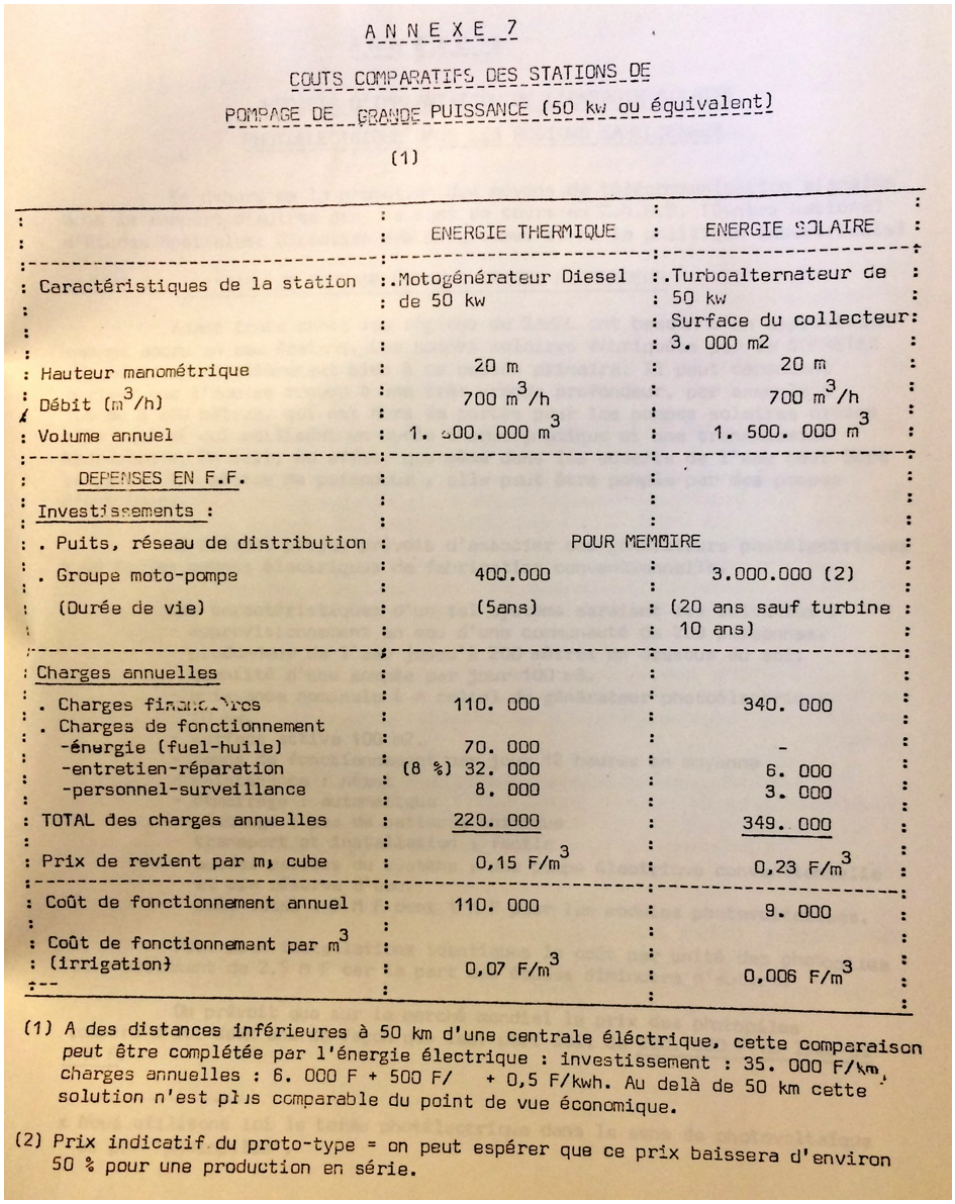
(1) Dans les sites favorables à l'utilisation de l'énergie éolienne, la comparaison peut être complétée avec un aérogénérateur : Investissement 80. 000 F charges annuelles d'environ 10. 000 F d'où un prix de revient de 1,5 F/m3.

(2) + environ 60. 000 F pour la construction du bâtiment servant de support aux collecteurs.

Sources : ministère de la Coopération, Direction des Programmes et ministère de l'Industrie et de la Recherche, Délégation aux Énergies Nouvelles, *Rapport technique du Programme Énergie Nouvelle pour le Sahel*, mai 1975, p. 41, archives privées de Georges Alexandroff.

ETIEVANT C., « Conversion thermique de l'énergie solaire », Congrès national de la Société des Électriciens, des Électroniciens et des radioélectriciens (S.E.E.) : Évolution du problème de l'énergie dans le monde. Conséquences sur la production et l'utilisation d'énergie électrique, Biarritz, 30 septembre – 4 octobre 1975, p. 19 pour la citation.

Figure 38 : coûts comparatifs des installations de pompage de grande puissance (50 kW ou équivalent)



ANNEXE 7

COUTS COMPARATIFS DES STATIONS DE POMPAGE DE GRANDE PUISSANCE (50 kw ou équivalent)

(1)

	ENERGIE THERMIQUE	ENERGIE SOLAIRE
Caractéristiques de la station	Motogénérateur Diesel de 50 kw	Turboalternateur de 50 kw Surface du collecteur: 3. 000 m2
Hauteur manométrique	20 m	20 m
Débit (m^3/h)	700 m^3/h	700 m^3/h
Volume annuel	1. 500. 000 m^3	1. 500. 000 m^3
DEPENSES EN F.F.		
Investissements :		
. Puits, réseau de distribution	POUR MEMOIRE	
. Groupe moto-pompe	400.000	3.000.000 (2)
(Durée de vie)	(5ans)	(20 ans sauf turbine 10 ans)
Charges annuelles		
. Charges financières	110. 000	340. 000
. Charges de fonctionnement		
-énergie (fuel-huile)	70. 000	-
-entretien-réparation	(8 %) 32. 000	6. 000
-personnel-surveillance	8. 000	3. 000
TOTAL des charges annuelles	220. 000	349. 000
Prix de revient par m3 cube	0,15 F/m^3	0,23 F/m^3
Coût de fonctionnement annuel	110. 000	9. 000
Coût de fonctionnement par m^3 (irrigation)	0,07 F/m^3	0,006 F/m^3

(1) A des distances inférieures à 50 km d'une centrale électrique, cette comparaison peut être complétée par l'énergie électrique : investissement : 35. 000 F/km, charges annuelles : 6. 000 F + 500 F/ + 0,5 F/kwh. Au delà de 50 km cette solution n'est plus comparable du point de vue économique.

(2) Prix indicatif du proto-type = on peut espérer que ce prix baissera d'environ 50 % pour une production en série.

Sources : ministère de la Coopération, Direction des Programmes et ministère de l'Industrie et de la Recherche, Délégation aux Énergies Nouvelles, *Rapport technique du Programme Énergie Nouvelle pour le Sahel*, mai 1975, p. 43, archives privées de Georges Alexandroff.

Le premier prototype de station mixte de conversion de la chaleur solaire en force motrice génératrice d'électricité (25 kW) est mis en route en septembre 1975 à San Luiz de la Paz au Mexique.

Figure 39 : installation de San Luis de la Paz



Fig. 3. — Installation de San Luis de la Paz (Mexique) : station solaire de 30 kW, délivrant de l'électricité pour le pompage de 900 m³ d'eau par jour à une communauté de 15 000 habitants, pour l'irrigation de 30 ha de cultures expérimentales, ainsi que pour l'éclairage.

Sources : PHELINE, Jean, « Énergie solaire et production décentralisée d'électr*icité* », *Annales des Mines*, avril 1979, p. 121

Le programme de R&D pour lequel la SOFRETES fait une demande d'aide au développement à la DGRST à la fin de l'année 1975 est donc postérieur à cette installation. Dit autrement, en moins de deux ans, une centrale électro-solaire fonctionne déjà au Mexique, à 2000 m d'altitude, dans une zone montagneuse aride (les nuits sont très froides, il gèle) aux conditions climatiques proches de celles de certaines régions dites tempérées. Les éléments du dispositif sont, pour certains, les mêmes que ceux en usage dans les unités MGS 2-1000 mais sont pour d'autres tout à fait nouveaux. La taille de l'installation diffère, elle est beaucoup grande ce qui libère une vaste surface de locaux

potentiels sous les capteurs. L'électricité générée sert principalement au pompage sur forage, c'est-à-dire que le courant alimente des pompes électriques (eau potable et/ou d'irrigation). Il devient également possible de fournir de d'électricité à un réseau local. Il n'y a pas de stockage, ni de la chaleur solaire en amont (durée de fonctionnement réduite aux heures d'ensoleillement), ni de l'électricité en aval. Un système de régulation sommaire évite les changements de fréquences qui peuvent endommager l'alternateur, les pompes de circulation et les pompes d'exhaure[1458]. Les capteurs sont identiques à ceux installés sur les MGS 2-1000 des petites unités de pompage du programme mexicain[1459]. L'innovation se concentre surtout sur l'assemblage des échangeurs[1460] et de la turbine qui sont des composants produits en série et détournés de leurs usages industriels initiaux. La turbine (à paliers à gaz, sans contact donc sans lubrification) qui fait ici office de moteur solaire est dérivée d'un compresseur utilisé dans l'usine d'enrichissement de l'uranium de Pierrelatte. Elle est mise au point et fourni par l'entreprise Rateau (filiale de la CGE) qui est lié aux Etablissements Pierre Mengin par un GIE (qui concerne l'activité traditionnelle des pompes d'assainissement, *cf*. chapitres 2, 5 et 6). Rateau n'est cependant pas associé au projet comme peut l'être un partenaire R&D par exemple, mais seulement en tant que fournisseur. La boucle thermodynamique est testée dans le hall d'essai de la SOFRETES à Amilly en présence de Jean-Claude Colli, le Délégué aux Énergies Nouvelles. La SOFRETES bénéficie d'un bon retour d'expérience technique à San Luiz de la Paz qui lui permet d'apporter des améliorations aux différents éléments du

[1458] « Pour la mise en marche et la régulation GEOMELEC avait réalisé sur un cahier des charges de PROMETHEE une armoire rassemblant les composants et les commandes. Lorsque la température haute des capteurs avait atteint une certaine valeur, l'électropompe de circulation d'eau des collecteurs qui était alimentée par des batteries, était mise en marche. Lorsque la pression à l'échangeur était suffisante, la vanne de marche et d'arrêt de la boucle était alors ouverte très rapidement. Pour cela, il avait été choisi une vanne à membrane ou soufflet qui permettait d'avoir une ouverture instantanée et totale. En effet, une petite électrovanne commandée depuis l'armoire, laissait entrer le gaz sous pression sous la membrane qui soulevait le clapet de la vanne d'admission en une fraction de seconde. Ceci était un impératif lié à l'utilisation de la turbine à paliers à gaz qui exigeait par construction un démarrage rapide. En aval, la vanne de régulation en position grande ouverte, était alors plus ou moins refermée grâce à un moteur électrique commandé depuis l'armoire afin de maintenir constante la fréquence du courant produit par l'alternateur couplé sur la turbine. En fin de journée, lorsque la fréquence passait au-dessous d'une valeur seuil, la vanne de marche arrêt était refermée. Le système revenait à sa position initiale prêt à redémarrer le lendemain matin. » CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, op. cit., 2010, p. 45.

[1459] La capacité en eau de ce second modèle de *canaletas* en aluminium se révèle être trop importante. Elle sera redimensionnée dans la génération de capteurs suivante.

[1460] Les premiers essais sont menés avec des échangeurs à plaques en acier et à joints de chez Vicarb. Ils sont endommagés au contact du Fréon 12 (Rhône Poulenc) avec leurs joints en caoutchouc qui se délitent dans les aubages de la turbine. Ils sont remplacés par des Stewart-Warner (un produit cher) en aluminium qui seront abandonnés par la suite car ils nécessitent un traitement anticorrosion de l'eau des collecteurs dû à la présence de différents métaux en contact dans le même circuit.

dispositif (dimensionnement, régulation, fuites, corrosion électrochimique, choix des futurs moteurs, des fréons et des huiles).

Quelques mois après la mise en service de San Luiz de la Paz, la SOFRETES et ses actionnaires lancent un vaste programme de R&D en capitalisant sur cette réussite commerciale et technique. Comme le formule Bernard Devin, Chef du programme solaire au CEA, « la dénomination de pompes solaires a surtout une valeur d'exemple car l'utilisation de l'énergie mécanique pour le pompage a été la plus évidente, mais depuis quelques années, le couplage des moteurs solaires à des systèmes d'utilisation différents est en voie de réalisation. Dans l'ordre d'importance, les usages des moteurs solaires paraissent devoir être : le pompage de l'eau, l'entraînement de compresseurs pour la production de froid, la fourniture d'énergie mécanique et électrique pour le dessalement des eaux saumâtres, la fourniture d'électricité sur un réseau local »[1461]. Ainsi, la SOFRETES, le CEA, CFP-Total, Technigaz (filiale de Gazocéan) et la Régie Renault (*via* sa filiale Renault Moteurs Développement) demandent une aide au développement à la DGRST en novembre 1975 pour « le développement d'une série complète de moteurs solaires industriels dans la gamme de puissance de 500 watts à 100 kW. Ces moteurs ayant deux applications particulières : le pompage de l'eau et la production de froid »[1462]. Le tableau ci-dessous présente les termes techniques du programme de R&D soumis à la DGRST. Sa lecture est complémentaire de celle du tableau des installations de la SOFRETES en ce qu'elles en résultent (*cf. supra* tableau 3 p. 346).

Tableau 6 : le programme de R&D de la SOFRETES et de ses partenaires (1976-1978)

Groupe de recherche produit	Domaines d'actions définis en 1976	Bilan et réorientations 1977-1978
MOTEURS SOLAIRES - En 1976, trois boucles d'essais 0-3 kW ; 3-10 kW ; plus de 10 kW.	1. Moteurs à trois membranes TEMER 500 W (brevet Renault)	Testé à partir de 1977

[1461] CEA, SEEN, Rapport *Les pompes solaires*, Avril 1976, p. 1, archives privées fonds BCD (CEA).
[1462] Rapport du Crédit national, Affaire SOFRETES, « Fabrication d'une série complète de moteurs solaires industriels », subvention sollicitée de 5 900 000 F, 12 novembre 1975, Dossier N° C.S. 1.336.824-02/1 quater, N° DGRST Da 576, p. 5, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

- En 1978, quatre : 40, 120, 400, 1500 kW. - Mengin et Renault s'occupent plus particulièrement de la mise au point de la gamme des moteurs dont ils partagent avec la SOFRETES la propriété industrielle. - Le CEA réalise plutôt l'expérimentation des moteurs dans le système global dont il partage la propriété avec la SOFRETES dans le cadre du GIE Prométhée.	2. Moteur MGS 2-1000 1 kW amélioration du rendement et position anti-thermosiphon 3. Moteur à palette PARER de 2 kW (CEA) 4. Moteurs de puissances moyennes (5-25 kW) dérivés des compresseurs à vis qu'il faut adapter au fréon (d'abord 12, puis 11) 5. Moteurs de grandes puissances (50 à 100 kW) : des turbines	Objectifs atteints en 1976 Testé en 1977. Mise en service prévue en 1978. Bien adaptés aux stations mixtes (pompage, éclairage, froid). Donc choix d'installer plusieurs moteurs pour des fonctions spécifiques différentes plutôt qu'un seul de plus grande puissance. Les essais s'orientent sur la sélection de compresseurs existants (CIT-ALCATEL, ATLAS COPCO) de 5 kW à 25 kW au maximum. Abandonné *cf. supra* Études de moteurs en plastiques en dehors du programme DGRST avec Rhône-Poulenc et Bertin.
CAPTEURS	1. Étude fluide-corrosion 2. Amélioration avec le CEA des capteurs type Chinguetti à 70°C industrialisés en 1974 : mise au point d'éléments de grande série facilement transportables en pièces détachées pour être assemblés sur place par la population locale. 3. Capteurs à couches sélectives (CEA) pour augmenter la température et donc le rendement et la puissance globale. 4. Capteurs avancés : caloduc. 5. Capteurs avancés : évaporation directe	Se poursuit en rapport aux évolutions des choix de couples échangeurs-capteurs (selon les matériaux mis en présence). Capteur industriel standard 70°-80°C (150°C max) de taule métallique emboutie avec ailettes en cuivre pour sertir les tubes manuellement (brevet Renault en 1977). Essais au CEA Saclay. Capteur type Diré. Capteur sélectif standardisé (95°C-150°C) CEA en 1978 pour des stations en fonction 24 h sur 24 h. Prototype réalisé et testé mais voie abandonnée. Prototype réalisé et testé au CERER de Dakar mais voie abandonnée.

	6. Capteurs à basse température destiné à l'habitat : en matière plastique, à ruissellement, au sol (bitume).	- Abandon des capteurs plastiques pour les stations thermodynamiques car pas assez robustes ou trop chers. - Capteurs à ruissellement envisagés pour habitat collectif en pays développés. - Capteurs au sol testés au CEA Cadarache. Ces solutions sont retirées du programme R&D thermodynamique et réorientées vers un programme habitat extérieur aux financements DGRST.
CONDENSEUR ATMOSPHERIQUE	Mise au point d'un condenseur évaporatif et d'un système de refroidissement à tour pour les stations mixtes fonctionnant 24 h sur 24 h.	Pas de produit réellement adaptable parmi l'offre existante. Consultation de l'EDF, de Velut, de Baltimore, de Creusot-Loire, de Powgll-Duffiryn. Coopération avec Velu engagée. Étude et expérimentation en collaboration avec l'EIER de Ouagadougou (2 prototypes).
POMPE	Mécanisation de la pompe à pied Vergnet : pompe à membrane volumétrique à double effet pour puits ou forages profonds, à commande hydraulique. Ni pièce en glissement, ni pièce en rotation.	Adaptation pour station MGS 2-1000 MS3, MS5 et MS7.
INGINEERING DES SYSTEMES	Optimisation du dimensionnement des systèmes et fonctionnement 24 h sur 24 h : la machine devient plus petite et moins chère tout en fonctionnant sans interruption.	La solution retenue est la mise au point d'un stockage thermique avec le CEA (quatre types sont réalisés). D'abord journalier pour les stations thermodynamiques puis saisonnier pour l'habitat. Prototype en 1977. Envisagé pour Quezalcoalt au Mexique (2 kW, 24 h sur 24 h) et Diré au Mali (75 kW, 17 à 22h).
FROID	Production de glace et chambre froide pour la conservation. Collaboration avec Thechnigaz. 1. Par compression	Les dispositifs restent onéreux et les grandes puissances sont abandonnées. Commercialisation des groupes frigorifiques à compression envisagée avec des moteurs solaires 3-5 kW, puis voie abandonnée.

	2. Par absorption	Groupe frigorifique par absorption de petite et moyenne puissance envisagé : le produit commercial n'est pas encore défini. Il est dépendant des capteurs sélectifs (95°C) du CEA. Développement en dehors de programme DGRST d'un capteur sous vide avec SOVIREL (130°C) et d'un stockage physico-chimique avec Rhône-Poulenc.
	3. Par éjection	Voie abandonnée.
	4. Stockage du froid	Installation sur site en 1978.
CLIMATISATION	Construction d'un prototype de maison solaire climatisée pour le Moyen-Orient et expérimentation de deux ans. Collaboration avec CFP-Total Moyen-Orient sur un site de démonstration à Abu Dhabi aux EAU.	Site modifié. Maison CLISOTOS achevée en 1978 sur le site de Sophia-Antipolis. Utilisation de la maison par les sapeurs-forestiers.
PHOTOVOLTAIQUE	Pas de programme R&D dans le domaine du photovoltaïque en 1975.	Courant 1976, un programme de R&D photovoltaïque est débuté à la SOFRETES avec l'aide du CEA mais en dehors de la subvention DGRST. Puis avec d'autres partenaires : CIPEL (CGE), CNES et COMES.

Sources : CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010 ; SOFRETES, *Rapport d'activité 1976 pour la DGRST*, 15 avril 1977, archives privées fonds usine Mengin ; Rapport d'évaluation confidentiel de M. SIMON pour la DGRST, *Demande d'aide présentée par la SOFRETES concernant des pompes solaires*, novembre 1975, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; SOFRETES, *Rapport d'activité 1977 pour la DGRST*, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; DGRST, M.F. Simon, *Expertise sur le rapport d'activité 1977 de la société SOFRETES*, 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; CEA, *Énergie solaire R&D*, fiche produit, « Stockage d'énergie thermique en chaleur sensible pour système solaire », « Revêtement sélectif pour absorbeurs photothermiques de l'énergie solaire. Le Chrome noir LEMM », 1979, archives privées de Georges Alexandroff ; DGRST, tableau récapitulatif des *propositions reçues dans le domaine du thermodynamique solaire, 1976-1978*, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2 ; CEA, *Présentation des programmes de recherche CEA à moyen terme sur les composants des systèmes de conversion photothermique de l'énergie solaire*, 21 novembre 1977, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

La demande d'aide est évaluée par la DGRST qui en résume les trois grands axes[1463]. Premièrement, perfectionner les capteurs pour diminuer les coûts. Les améliorations sont à apporter à trois facteurs impactants : améliorer le rendement (augmenter la température, diminuer les pertes, détente directe), améliorer la transférabilité aux populations locales (matériaux courants, technique de montage, etc.), améliorer l'adaptabilité aux conditions locales (éviter notamment la corrosion). Deuxièmement, la génération d'électricité nécessite le choix d'une turbine, puis la réalisation d'un stockage d'eau chaude pendant le jour afin d'assurer le fonctionnement nocturne avec comme source froide l'eau pompée. Enfin, la mise au point d'un condenseur aéroréfrigérant le jour afin de s'affranchir du recourt à l'eau pompée comme source froide du dispositif. Troisièmement, la mise au point d'un produit dérivé : le froid solaire[1464] dont l'usage est intéressant en raison des locaux disponibles sous les capteurs (production agricole, pêche, centres médicaux, etc.). L'évaluation d'une machine à compression est positive, notamment grâce à l'apport de savoir-faire de Technigaz, elle l'est moins de la technique par absorption car elle nécessite des températures de captage plus hautes, de l'ordre de 150 °C, qui correspondent à la limite supérieure des capteurs dont dispose alors le CEA.

Lorsque, quelques mois plus tôt, la SOFRETES a ouvert son capital pour sa première grande réorganisation[1465], Technigaz, un acteur industriel frigoriste-pétrochimiste s'est engagé pour 5 % et est entré au groupe de recherche « Froid » ; de même, un acteur pétrolier, CFP-Total, a racheté 20 % des parts et s'est investi davantage dans le groupe de recherche « Climatisation ». Ces prises de participation sont symptomatiques du positionnement des industriels de la chaleur – et du froid – fossile(s) vis-à-vis des constructeurs de machines solaires, lesquelles peuvent être entendues, depuis le début du XIX^{e} siècle au moins, comme « des machines à vapeur froides », « des

[1463] Rapport d'évaluation confidentiel de M. SIMON pour la DGRST, « demande d'aide présentée par la SOFRETES concernant des pompes solaires », novembre 1975, pp. 1-2, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1464] Nous renvoyons ici au chapitre 1 ainsi qu'à notre article déjà cité qui fait le point sur le lien froid-solaire par une mise en perspective technique et historique. CAILLE Frédéric, MOUTHON Alexandre, *op. cit.*, 2020. Et plus particulièrement la partie qui s'intitule « Le lien solaire-froid à la rencontre des acteurs des industries fossiles des gaz et du froid » (pp. 106-11).
[1465] *Cf. infra* chapitre 5 pour la présentation de l'évolution de l'organisation administrative de la SOFRETES.

machines à chaleur perdue »[1466], c'est-à-dire, on l'a vu « des moteurs sans combustible »[1467]. Le rapport du Conseil d'administration de Technigaz sur l'exercice de 1974 à l'Assemblée générale des Actionnaires présente la collaboration avec la SOFRETES comme une activité de diversification parmi d'autres, justifiée par les compétences en cryogénie apportées en renfort aux projets de groupes frigorifiques dont l'énergie serait fournie par le soleil. L'entreprise ne semble pas envisager d'appliquer les futurs dispositifs développés à ses propres activités pétrochimiques de réfrigération et de liquéfaction. La dimension « frigoriste » de la relation industrielle est seule énoncée comme gage de légitimité technique. Il est cependant possible de remarquer que Technigaz est une filiale d'ingénierie créée en 1963 de l'entreprise de transport maritime Gazocéan, fondée en 1956 et spécialisée dans le négoce, le conditionnement et l'acheminement des gaz de pétrole liquéfiés et du Gaz Naturel Liquide (GNL)[1468]. Sa principale mission est de développer des dispositifs permettant la semi-réfrigération et l'isolation des cales des méthaniers, ainsi que des capacités de stockage réfrigéré à terre[1469]. Les parentés qui se tissent par les objets et les procédés sont donc multiples. Parmi les principaux produits transportés par Gazocéan, on trouve en effet les gaz butane et propane, mais également l'ammoniac. La SOFRETES utilise des hydrocarbures pour transformer la chaleur solaire en force mécanique dans les pays du tiers-monde, volontiers perçus comme dénués de technique mais pas, à juste titre, dénués de gisements de gaz et de pétrole. L'image très positive de cette technologie peut, en terme commercial, être très bénéfique à des sociétés exploitant des ressources fossiles dans des régions déshéritées, à la fois clientes (pour le carburant) et fournisseurs (pour la matière première). Nous avons expliqué que la première version du MGS 2-1000 utilise la détente du butane. Les Fréons qui le remplacent plus tard sont également des dérivés d'hydrocarbures. Technigaz propose de mettre à disposition de la toute jeune entreprise une technique qu'elle vient de

[1466] KUNTZINGER, « Exposé du principe d'une machine solaire rationnelle », *La Houille Blanche*, Avril, 1908, p. 74.
[1467] GUARINI, Émile, « L'utilisation de la chaleur ambiante comme force motrice au moyen de la machine frigorifique », Rapport pour le V^{ème} Congrès International du Froid, à Rome, du 19 Septembre au 1er Octobre 1927. La Houille Blanche. Mai-juin, 1927, p. 76.
[1468] Dossier sur Gazocéan, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.
[1469] C'est Tellier, une fois encore (*cf. supra* chapitre 1), qui a inventé le procédé de liquéfaction des gaz « par refroidissement en cascade », pour permettre leur exploitation industrielle, tout comme il a réussi d'ailleurs l'isolation des cales de son navire réfrigéré Le Frigorifique. D'ailleurs, en 1972, Messigaz, une filiale des Messageries Maritimes, met à l'eau un méthanier qu'elle baptise, en légitime hommage technologique, « Le Tellier ».

finaliser et qui améliore le rendement du moteur tout en permettant la production de froid : « le système envisagé pour la production de froid semble très astucieux puisqu'il associe au cycle moteur, un cycle de production de froid avec une mise en commun du condenseur »[1470]. Cette solution intégrée tend à écarter la nécessité d'une énergie mécanique intermédiaire entre l'énergie solaire et le compresseur. Elle est également mentionnée par P. Chouard de la Direction des Études et Recherches d'EDF lorsqu'il examine quelques années plus tard l'ensemble des méthodes disponibles pour climatiser l'air à partir de l'énergie solaire : « l'organe mécanique qui entraîne le compresseur du climatiseur peut être une turbine (associée alors à un réducteur de vitesse) ou un moteur à piston (cas des pompes SOFRETES), la technologie de chacun de ces organes n'étant pas encore fixée car plusieurs possibilités sont en concurrence. Certains chercheurs ont même proposé des systèmes intégrés dans lesquels l'organe mécanique du moteur solaire et le compresseur du climatiseur ne font qu'un (S.F. Gilman, rapport ERDA). »[1471] Ce choix technique est donc semblable au principe présenté en 1927 par Guarini (comme mentionné plus haut au chapitre 1), pour qui il était évident que dans sa conception la machine frigorifique utilisant « la chaleur de la terre, ou de celle des eaux de surface, ou de la chaleur de l'air ambiante, ou directement de la chaleur du soleil » pouvait à la fois générer de la force motrice et le froid nécessaire à l'alimentation de sa propre source froide, pour ainsi s'auto-entretenir lorsque la machine n'est pas forcément une pompe d'exhaure, c'est-à-dire quand elle ne dispose pas obligatoirement d'eau de refroidissement. Guarini en est d'autant plus conscient qu'il raisonne à l'époque avec de l'acide carbonique, gaz pour lequel il n'y a de toute façon pas d'eau assez froide pour assurer une bonne condensation, d'où sa proposition de maximiser la course du piston du moteur solaire pour en faire aussi un compresseur, en évitant ainsi des pertes supplémentaires de calories de compression[1472]. L'influence frigoriste sur les convertisseurs solaires et leur polyvalence-ambivalence est donc profonde et incontestable.

[1470] Rapport d'évaluation confidentiel de M. SIMON pour la DGRST, « demande d'aide présentée par la SOFRETES concernant des pompes solaires », novembre 1975, pp. 1-2, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1471] EDF, Direction de l'équipement. Division de l'Information et de la Communication, J39N, *Force motrice et froid par l'énergie solaire*, Décembre 1980, p. 41.
[1472] GUARINI, Émile, *op. cit*., 1927, p. 73.

Si le rapport d'évaluation de la DGRST du programme de diversification technique de la SOFRETES et de ses partenaires se conclut sur un avis favorable, il met toutefois en garde sur le risque que représente pour la société et sa technique l'absence d'infrastructures d'entretien dans les pays d'implantation, qui sont des pays pauvres, afin d'assurer le suivi et la maintenance des futurs installations plus sophistiquées que celles équipées d'un MGS 2-1000. L'évaluateur fait remarquer que l'entreprise est, en l'état, dépendante pour cela des réseaux commerciaux à l'étranger de Renault et de CFP-Total[1473].

Le Crédit national valide l'aide pour un programme sur trois ans d'un montant total de 11 800 000 F, financé par une subvention remboursable de 5 900 000 qui fait l'objet du contrat du 23 mars 1976 (dossier n°1.336.824-02/1 quater) et par un prêt dans les mêmes conditions de 5 900 000 F accordé par les partenaires de SOFRETES (accord du 15 avril 1976)[1474].

La centrale de pompage et de production de froid électro-solaire de Diré au Mali est la première génération de station mixte de force motrice issue du recouvrement du programme de R&D SOFRETES-DGRST (1976-1978) avec le Programme Énergie Nouvelles pour le Sahel (1976-1978) des ministères de la Coopération et de l'Industrie[1475]. En ce sens, elle est particulièrement emblématique de la relation d'extrême dépendance de la SOFRETES et de sa proposition sociotechnique vis-à-vis des acteurs de la politique publique solaire française à l'étranger. Trois marchés sont passés de 1976 à 1977, dans le cadre d'une convention de financement entre le gouvernement français et le gouvernement malien à hauteur de 8 MF[1476]. Relisons une seconde fois le rapport du ministère de la Coopération :

[1473] Rapport d'évaluation confidentiel de M. SIMON pour la DGRST, « demande d'aide présentée par la SOFRETES concernant des pompes solaires », novembre 1975, p. 4, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

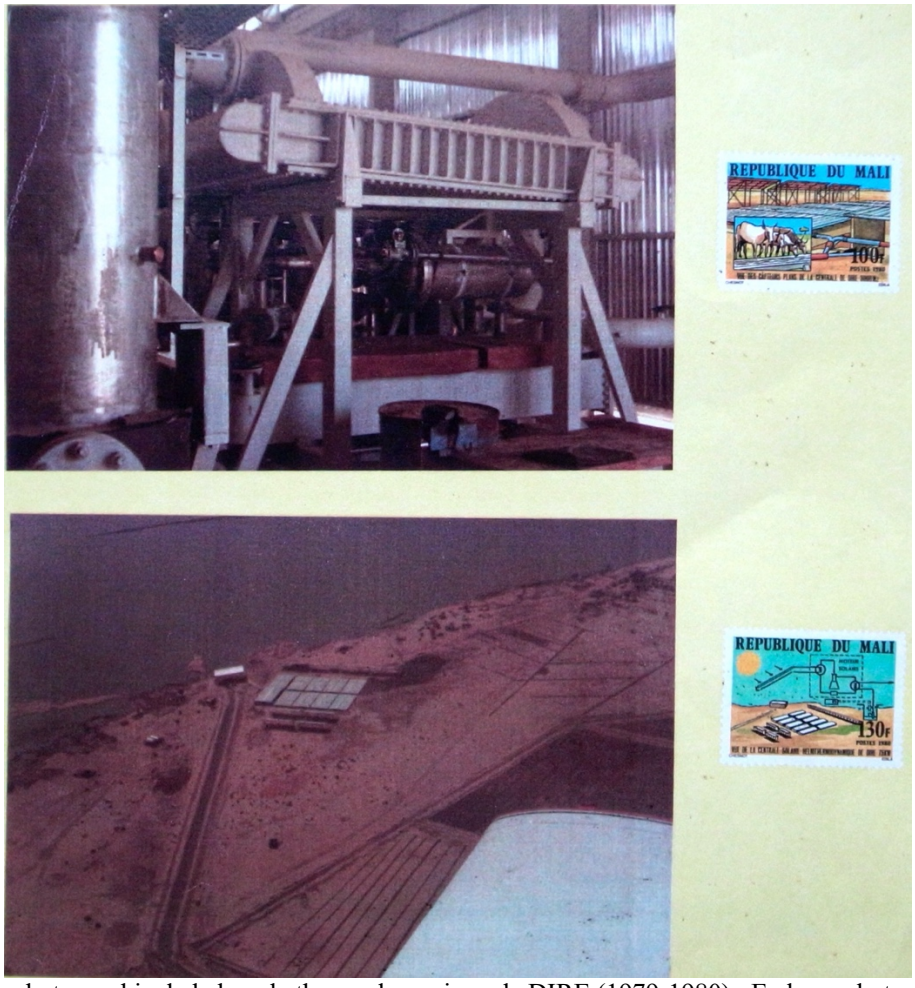
[1474] Dossier SOFRETES, pochette n°21, 9 novembre 1978, « Demande d'aide financière au COMES. Rappel du Programme de développement de SOFRETES », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; Dossier SOFRETES, Crédit national, « Note pour le comité spécialisé N°1 quater, 5 janvier 1979, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; Rapport du Crédit national, Affaire SOFRETES, « Conditions d'octroi d'une éventuelle subvention de 5 900 000 F à la société SOFRETES » dans « Fabrication d'une série complète de moteurs solaires industriels », subvention sollicitée de 5 900 000 F, 12 novembre 1975, Dossier N° C.S. 1.336.824-02/1 quater, N° DGRST Da 576, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

[1475] Nous renvoyons à notre précédent article sur l'opération Diré, MOUTHON, Alexandre, *op. cit*., 2020 ; voir également *supra* chapitre 3.

[1476] Le marché passé de gré à gré entre SOFRETES et le ministère de la Coopération en 1976, la Convention de financement entre la République française et la République du Mali, signée en 1978, Archives

Les coûts, en apparence élevés, sont cohérents et justifiés par l'importance des études spécifiques à une seule réalisation préindustrielle. Le marché ne comporte pas de formule de révision de prix. L'amortissement d'une telle installation devrait s'étaler sur une période de 15 à 20 ans, ce qui donnerait un prix du m^3 d'eau pompée à des conditions économiques qui ne sont pas encore compétitives mais qui doivent le devenir rapidement avec l'évolution prévisible des coûts de l'énergie fossile. L'intérêt d'une telle démonstration est de tester en vraie grandeur un équipement autonome, fiable, non-polluant, et facilement intégrable dans le contexte socio-économique des zones rurales des pays en voie de développement[1477].

Figure 40 : la station de Diré au Mali



En haut : photographie de la boucle thermodynamique de DIRE (1979-1980) ; En bas : photographie vue aérienne de DIRE avec au premier plan une fraction du périmètre à irriguer (1979-1980) ; Sur la droite : timbres du Mali représentants la station de DIRE. Sources : documents issus des archives personnelles de Jean-Pierre Girardier.

nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16 ; Comité directeur du FAC, « Utilisation des énergies nouvelles au Sahel », juin 1978, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19980545, carton 73.

[1477] « Rapport de présentation de la 3ème tranche du marché pour l'utilisation d'une centrale solaire de pompage à Diré au Mali », octobre 1977, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 16.

La conception de Diré (75 kW) débute pendant l'année 1976, en vue d'un usinage en 1977 et du montage sur site en 1978. Il faut que la machine fonctionne en autonomie maximale pour répondre aux besoins fondamentaux et immédiats des villageois ; que les matériaux utilisés soient simples à trouver, à manipuler et à assembler ; que les pièces soient robustes et rudimentaires ; que l'appareil soit facile à maintenir en fonction moyennant une formation technique très basique ; qu'il soit donc aisé de transférer aux populations sa maintenance et la fabrication d'un maximum d'éléments en commençant par les capteurs plans ; que la machine soit ouverte pour faciliter les interventions ; que les populations soient associées à son montage (génie civil, assemblage des capteurs) et à son existence (mise en place d'un collectif de gestion de l'eau payante par exemple). En bref, il s'agit d'un objet à la technologie pour partie appropriable, destiné à satisfaire les besoins ruraux des populations sahéliennes parmi les plus pauvres du monde, et ce, dans des conditions extrêmes : durée d'utilisation très longue (à l'échelle de plusieurs décennies) ; éloignement des centres urbains et des infrastructures de transports ; résistance à l'acheminement chaotique et à la manutention brutale, aux vents qui déplacent et déposent du sable (ce qui limite considérablement les performances des cellules photovoltaïques), à l'absence de maintenance régulière, à un ensoleillement considérable, ultra régulier, mais sous un ciel voilé, typique du Sahel (qui proscrit l'usage de la concentration) ; fonctionnement avec une source froide en moyenne à 25-30°C et une source chaude entre 60-90°C.

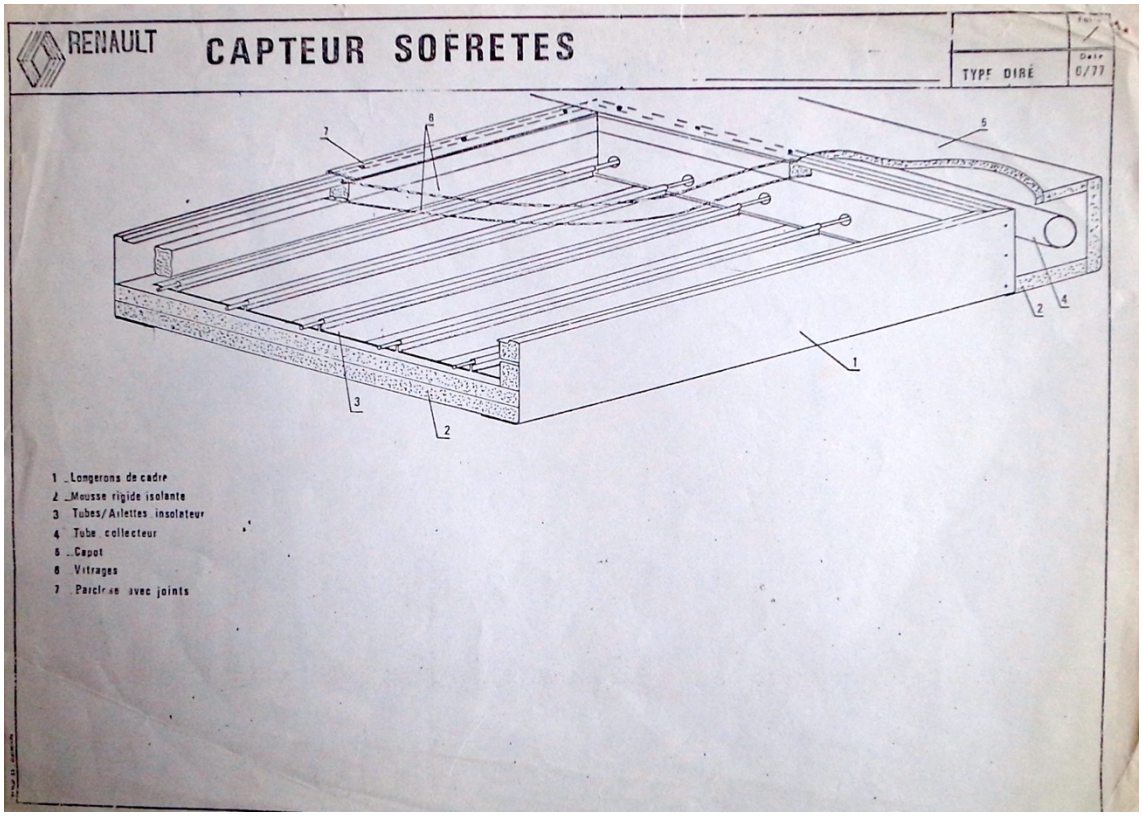
La station solaire de Diré est élaborée pour être installée au Mali, entre Mopti et Tombouctou, en rive gauche du Niger, dans son delta intérieur. Le dimensionnement envisage la possibilité d'irriguer des périmètres de 100 hectares et plus. Afin d'assurer le service rendu aux paysans maliens avec le moins d'incertitudes possibles, le dispositif associe deux moteurs Diesel, totalement indépendants du système solaire. Pour atteindre 75 kW, deux moteurs de 25 kW entraînent les pompes, tandis qu'un autre moteur de 25 kW actionne l'alternateur et les périphériques des boucles thermodynamiques. Le fait de pouvoir pomper l'eau de la source froide directement dans le fleuve évite de détourner le volume nécessaire au refroidissement du condensateur du volume d'eau pompé dans un puits, et ainsi permet d'augmenter le rendement global de la machine. Ce qui n'est pas le cas d'une installation fonctionnant uniquement sur un forage dans laquelle un circuit secondaire dévie une partie de l'eau remontée en direction du condensateur. A Diré, l'eau

est pompée dans le fleuve et dans le forage, à un débit journalier de respectivement 9 000 m^3 destinés à l'irrigation, et de 600 m^3 pour l'approvisionnement en eau de la ville de Diré, en tenant compte de la future croissance induite par le développement de l'agriculture vivrière (solde migratoire et solde naturel). Il ne s'agit pas d'un projet d'agriculture commerciale et exportatrice. C'est d'ailleurs dans cet esprit qu'un groupe frigorifique doit être intégré au complexe, produisant 30 000 frigories par jour à une température de 4°C afin de conserver les denrées périssables. La fourniture d'électricité permet également d'éclairer le complexe en fin de journée et en début de nuit. Globalement, la moyenne journalière d'énergie produite atteint 450 kWh. La surface de collecteurs solaires plans correspondante s'élève à 3 200 m^2. Dans cette région aride et désertique, l'aménagement du territoire ne comporte pas d'infrastructure. Les densités humaines sont faibles. L'espace ainsi disponible permet d'envisager une mise en valeur des terres sans limitation de place, mais en tenant compte de l'avancée du désert dont les origines sont anthropiques.

La fabrication et le montage d'un capteur normé industrialisable est comme prévu rationalisé notamment grâce au brevet de Renault[1478]. Ce dispositif est élaboré dans le souci permanent de préfabriquer des éléments pouvant permettre l'animation par des ouvriers maliens d'un atelier de montage au cours de l'année 1978, et afin de leur transférer dès le départ des compétences pratiques, puis d'en assurer, à plus long terme, la fabrication et la maintenance. Le verre des capteurs est le matériau le plus sensible, en ce qu'il limite leur transférabilité complète à court terme, mais il reste un produit courant rudimentaire.

[1478] Brevet industriel déposé par Renault Moteurs International, « Échangeur de chaleur, notamment pour le captage de l'énergie solaire et son procédé de fabrication », N° 7707269, 11 mars 1977 ; MOUTHON, Alexandre, *op. cit*., 2020.

Figure 41 : plan du capteur type DIRE de 1977 et photographie du montage des capteurs de DIRE en 1977





Sources : documents issus des archives personnelles de Jean-Pierre Girardier.

Le collecteur de Diré n'est donc pas un objet de haute technologie mais il est un objet socialement opérationnel. Le réseau des bâtiments à la toiture composée de capteurs est également conçu pour permettre un stockage thermique du fluide caloporteur (l'eau). En effet, l'espace disponible abrité, dégagé par le bâti et bénéficiant ainsi d'une climatisation naturelle sous les capteurs, rend aisé le dispositif. Ce stockage doit être utilisé le jour et la nuit. En journée, il fait office de tampon afin de réguler les températures de captation et d'entrée sur les évaporateurs à un niveau imposé, ce qui se traduit par un meilleur rendement d'utilisation de l'énergie solaire incidente. Ce volume autorise également la récupération des basses calories matinales et vespérales, ainsi que les hautes calories des heures les plus chaudes de la journée. Enfin, il assure le fonctionnement du groupe électrogène de 17 à 22 heures.

Les échangeurs de la boucle thermodynamique sont des échangeurs à plaques Barriquand, soudés sans joint, tels ceux utilisés à grande échelle dans l'industrie agroalimentaire, notamment laitière. Il s'agit donc d'éléments accessibles dans le commerce, de conception et de fabrication banale, détournés de leur secteur principal et assemblés sur un dispositif solaire sans en être spécifiques. D'autres types d'échangeurs multifonctions peuvent être utilisés, ne remettant pas en cause le fonctionnement général de la machine, mais seulement le prix du prototype et la quantité d'eau élevée. Ce choix répercute bien à l'intérieur de la machine les objectifs sociaux énoncés. Comme pour les capteurs, la traduction technique de la dimension sociale de l'objet est fidèle à l'esprit de sa conception, et donc à ses usages villageois. Il en est de même pour le moteur.

Les essais menés en détournant et en adaptant différents compresseurs industriels à vis aboutissent à la sélection d'un modèle courant de CIT-ALCATEL. N'oublions pas qu'il s'agit d'une station prototypique. Certes, un compresseur CIT-Alcatel ne peut pas être fabriqué au Mali en 1978 (il nécessite un outillage très spécialisé), mais il n'en demeure pas moins un objet simple, peu cher, produit en série, facilement détourné, dans une optique de technologie appropriée. Une réflexion s'engage avec les partenaires de SOFRETES (surtout avec Renault) pour envisager le développement d'une future gamme de moteurs à vis conçus pour l'avenir industriel de cette proposition sociotechnique.

Les moteurs actionnés par un cycle de Rankine, comme nous l'avons déjà explicité (*cf. supra* chapitre 1), fonctionnent, et c'est là tout leur intérêt pour les stations solaires, avec de faibles écarts de températures entre la source chaude et la source froide.

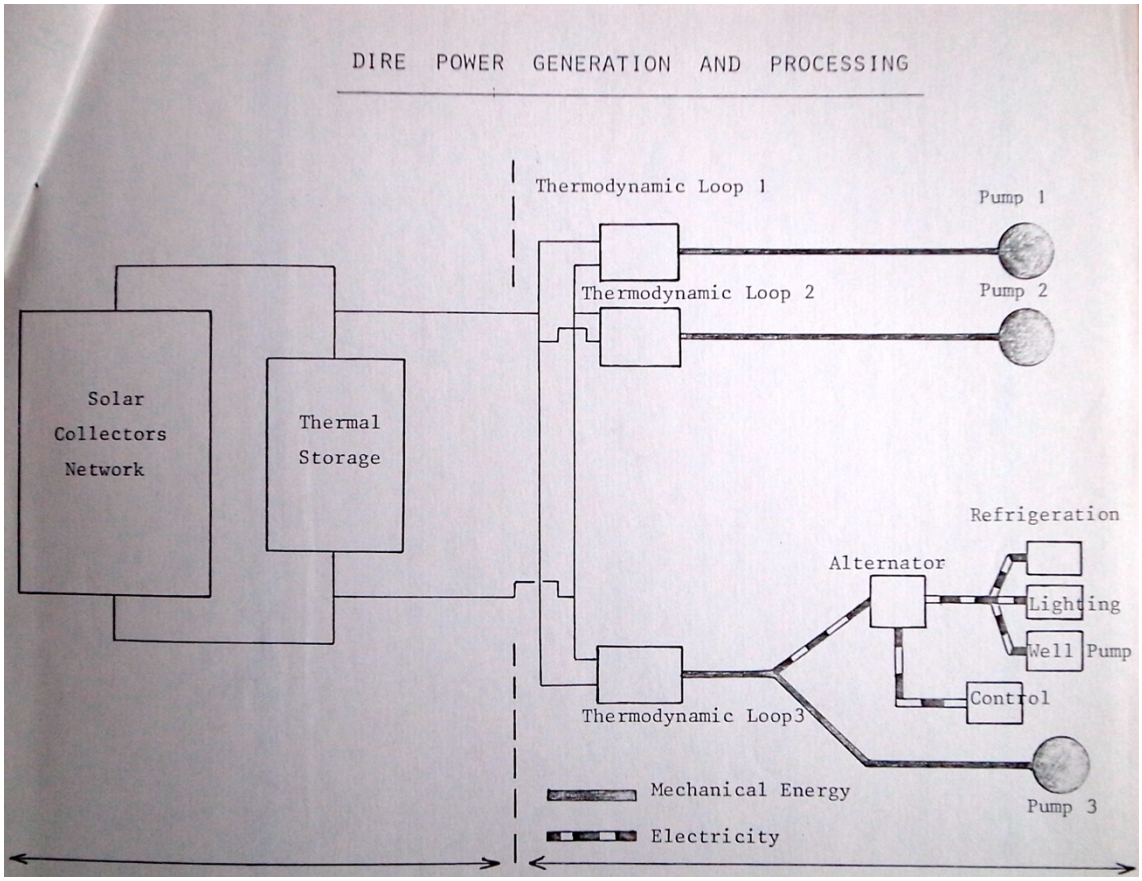
Il est donc nécessaire de choisir un fluide gazeux liquéfiable qui présente cette caractéristique à l'échangeur entre ces deux états, gazeux et liquide. Classiquement, l'industrie pétrochimique met à disposition des dérivés chlorés et fluorés des hydrocarbures, tels les flugènes (les Fréons). Le cycle fermé du gaz est le segment le moins transférable à la potentielle industrialisation générée par la station dans les pays du tiers-monde. Les fuites de gaz et de lubrifiant, notamment à cause de leur comportement induit par leur contact, nécessitent d'anticiper un point de maintenance délicat pour le transformer en un geste aisé. C'est pour cette raison que le butane est choisi dans les MGS 2-1000, car les bouteilles du commerce sont accessibles même au Sahel. Pour les installations de type Diré, c'est un Fréon qui devient la solution, d'abord le Fréon 114, puis le Fréon 12 (qui nécessite de hautes pressions), et enfin le Fréon 11 (qui nécessite de basses pressions), élaborés par Rhône-Poulenc. Ce choix nous fait comprendre la nature du cycle thermodynamique mise en jeu dans la machine solaire. Il s'agit d'un cycle frigorifique inversé. Classiquement, dans un réfrigérateur, un Fréon se gazéifie à l'intérieur emportant à l'extérieur la chaleur des denrées (l'intérieur se refroidit) où il est compressé pour redevenir liquide. Dans une station solaire c'est l'inverse. Le principal désavantage du Fréon, aujourd'hui communément reconnu, est qu'il est nocif pour la santé et pour l'environnement (c'est un chlorofluorocarbure, théoriquement interdit depuis le milieu des années 1980, en raison de son impact sur la couche d'ozone stratosphérique). Cependant, à l'époque, il est un produit de l'industrie pétrochimique et frigorifique accessible et conforme à l'objectif de la machine. La famille des gaz réfrigérants étant étendue, ce choix ne limite pas le fonctionnement de la machine. L'analogie théorique et industrielle entre la machine solaire et la machine frigorifique en fait la clef de voute des stations solaires de première génération comme Diré. Afin de s'assurer d'une parfaite étanchéité du cycle du Fréon, les laboratoires partenaires du CEA proposent d'appliquer une technologie plus sophistiquée pour réaliser les joints et le contrôle de la boucle. En effet, le cycle fermé du flugène représente la section la plus difficilement transférable à moyen terme aux sociétés d'accueil peu industrialisées. Il faut donc limiter au maximum les fuites internes et externes au moteur pour assurer le plus longtemps possible le fonctionnement sans intervention sur le gaz liquéfiable. Le recourt à des matériaux et à des procédés plus complexes que pour les autres éléments est ainsi

justifié. Aussi, des joints plats en Téflon sont choisis (issus des recherches en ultravide), et les tests d'étanchéité sont menés par ressuage d'hélium.

Il est donc particulièrement troublant de constater que cette machine est assemblée à partir d'éléments épars, non prédestinés à leur nouvel usage technique, mais particulièrement bien pensés dans leur cohérence sociotechnique.

Diré est en mesure de fonctionner avec ces trois moteurs à vis selon le schéma *infra*.

Figure 42 : schéma de fonctionnement de la station de Diré.



Sources : document issus des archives personnelles de Jean-Pierre Girardier.

Deux groupes motopompes assurent 90 % du pompage dans le fleuve Niger. L'eau est stockée dans un bassin de dissipation pour être redirigée par un canal vers le périmètre d'irrigation. Sur l'arbre moteur des deux groupes, trois pompes, également issus du commerce, sont couplées pour actionner les périphériques : une pompe de réinjection, une pompe de circulation de condenseur et une pompe de circulation d'évaporateur. Un troisième groupe, identique, assure l'alimentation en électricité des derniers postes du

complexe : un convertisseur alternatif de courant continu qui débite l'électricité dans une unité de batteries, l'armoire de régulation et de contrôle de toute la station, le moteur de la pompe de circulation du fluide caloporteur pour ce groupe, le groupe motopompe immergé dans le forage, l'unité frigorifique, l'éclairage, et enfin le moteur de la pompe de circulation de l'eau du stockage thermique.

Depuis la station de San Luis de La Paz au Mexique, en 1975, le système d'automatisme et de régulation de la machine doit être conçu de façon évolutive en intégrant des composants électriques et électroniques afin de répondre à la demande de fourniture d'électricité. San Luiz fournit de l'électricité à trois pompes d'adduction d'eau potable. Comme nous venons de le décrire ci-dessus, Diré dédie son troisième groupe motopompe à la fourniture d'électricité à de nombreux périphériques. Là encore, l'équipe SOFRETES étudie l'offre industrielle des petits moteurs électriques à courant continu et à rendement très élevé. Elle sélectionne des moteurs Brot parfaitement adaptés aux services recherchés, notamment pour assurer la circulation du fluide caloporteur entre les capteurs et le stockage. Cet appareillage électrique, tout comme la forte inertie thermique du réseau de capteurs en amont des moteurs, permettent de gérer le débit de chaleur au cours de la journée et le soir afin qu'il soit le plus constant possible, permettant ainsi de lisser le fonctionnement de la machine en atténuant à la fois les effets des variations de l'ensoleillement et de ceux de la demande.

Dit autrement, ce dispositif permet de pallier le caractère intermittent du rayonnement solaire, tout en mobilisant du matériel déjà existant.

L'ensemble du système est commandé par une armoire de régulation mise au point par Géomelec, une modeste entreprise locale d'électricité, fournisseur des Établissements Pierre Mengin. Lorsqu'il est question de transformer en électricité une partie importante de l'énergie mécanique obtenue par conversion de la chaleur solaire, la régulation de la fréquence du courant électrique devient très importante afin d'éviter les excursions[1479] potentiellement préjudiciables aux différents instruments électriques connectés (alternateurs et moteurs) qui doivent fonctionner dans une certaine plage de temps. La baie de commande de Diré recueille les informations thermiques grâce à des thermocouples et des capteurs de pression. Pour plus de clarté, et afin d'insister sur la pertinence du système de régulation mis en place par rapport aux objectifs sociaux de la

[1479] Terme utilisé dans les centrales pour désigner les variations (trop) importantes de puissance.

station et aux contraintes de l'énergie primaire convertie, nous reproduisons ici un extrait du témoignage écrit des deux ingénieurs du CEA détachés à SOFRETES et de Girardier :

> L'automatisme et la régulation avaient été conçus et réalisés sur le schéma de principe suivant : dès que l'ensoleillement devenait suffisant et qu'un seuil de température chaude des collecteurs était dépassé, la vanne de marche et d'arrêt située sur la tubulure d'admission du moteur de la boucle principale, était alors ouverte en grand, le moteur se mettait en marche entraînant l'alternateur. Dès que sa vitesse de rotation était suffisante, le moteur de la pompe principale de circulation d'eau dans les collecteurs, était mis sous tension automatiquement. Ainsi, la chute de pression à l'admission du moteur thermique liée au manque d'apport de chaleur à l'évaporateur était contrecarrée et la pression revenait à sa valeur normale. De plus, l'inertie thermique de l'évaporateur était suffisante pour que la variation de régime reste raisonnable. La vanne de régulation placée en amont de la vanne de marche arrêt, ajustait alors le débit de gaz à l'entrée du moteur afin de maintenir constante la vitesse de l'alternateur. Si l'ensoleillement continuait à progresser entraînant une montée de pression, la vanne se fermait lentement. Dès qu'un nouveau seuil de température des capteurs était atteint, l'alternateur était alors couplé sur le moteur de la pompe de puits en même temps que la vanne de régulation s'ouvrait afin de faire face à cet appel de puissance. Avec des écarts de fréquence et par suite de vitesse acceptables, la boucle principale assurait alors son service. En parallèle, l'alternateur alimentait toutes les vannes et moteurs de pompes utilisés dans la gestion d'un petit stockage qui étaient alors gérés par la baie de régulation et d'automatisme en se référant aux températures des principaux composants de la station. Lorsque l'apport solaire d'énergie était jugé suffisant, les deux boucles destinées au pompage pour l'irrigation étaient mises en fonctionnement en tout ou rien, l'une après l'autre. Ces deux machines jouaient le rôle de « volant » et participaient à la stabilisation du fonctionnement de la boucle principale. En effet une baisse de l'apport d'énergie entraînait une diminution de la puissance sur ces deux groupes, par suite un ralentissement des pompes et une baisse de la demande, qui venait partiellement effacer la baisse de puissance à l'entrée de la boucle principale. Il est évident que des variations de vitesse (qui auraient été inacceptables pour EDF) se produisaient mais restaient dans les limites définies par les constructeurs des différents composants[1480].

Le fonctionnement général de la machine repose donc sur une conception et une réalisation qui maximise la contrainte sociale, tout en minimisant la contrainte naturelle fondamentale de la source primaire mobilisée (qui n'empêche pas du tout son fonctionnement). Ses éléments, qui transposent les objectifs sociaux dans ses mécanismes, sont intégrés à l'environnement technique et industriel de l'époque à travers ses choix et ses partenaires. La machine est l'aboutissement d'un programme de R&D

[1480] DURAND Jean-Paul, CLEMOT Max, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010, p. 48.

soutenu par les pouvoirs publics et appliquée dans une opération de politique étrangère de démonstration technique. Elle n'est ni orpheline, ni isolée.

Toutes les stations mixtes de force motrice qui sont commandées et installées après Diré en reprennent la conception (Diré est mise en service à l'été 1979). Seuls certains éléments sont améliorés et ajoutés afin d'augmenter les performances de l'ensemble de l'installation en fonction des applications envisagées et du lieu d'installation. Il s'agit en priorité d'une deuxième génération de capteurs, les capteurs sélectifs du CEA, du condenseur évaporatif (ou de la tour de refroidissement) et du système de stockage thermique autorisant le fonctionnement de la machine 24 h sur 24 h.

La plupart des projets de stations mixtes de force motrice qui sont installées entre 1979 et 1981 font l'objet de commandes dés 1978 (voir le tableau des installations p. 346) alors que les demandes de station MGS 2-1000 cessent. En 1978, l'expertise de la DGRST sur le rapport d'activité de la SOFRETES pour l'année 1977, dresse la liste des marchés passés en fonction des applications qui couvrent une gamme très large incluant en plus du froid, de l'électricité et du fonctionnement en continu, des installations de génération d'électricité sur le sol français[1481] à partir de la récupération de chaleur industrielle et géothermique à basse température (voir tableau ci-dessous)[1482]. L'évaluation de l'adaptation des moteurs à vis dérivés des compresseurs industriels est très positive : « meilleur rendement que celui de la turbine (celle de San Luiz de la Paz) et d'autre part par une gamme d'applications allant de 5 à 25 kW pour un coût 20 fois moins élevé que celui de la turbine (la turbine 25 kW CGE vaut 400 000 F »[1483]. Les recherches engagées sur la source froide (condenseur) sont clairement identifiées comme l'étape qui marque une bifurcation vers la conception de centrale électro-solaire de seconde génération (après

[1481] Fin 1978, les projets d'installations de génération d'électricité sur le sol français à partir de la récupération de chaleur industrielle et géothermique à basse température sont : à Bourg en Bresse, la récupération de la chaleur d'une usine d'incinération d'ordures ménagères ; à Chaudes-Aigues, une station géothermique de 20 kW ; en Alsace, une station géothermique (95°C) ; à Dunkerque, la récupération de la chaleur d'une raffinerie (130°C-200 kW). De tous ces projets seule la station géothermique de Chaudes-Aigues est construite. *Recherche et Développement CEA/SOFRETES (fin 1978)*, document manuscrit de Jean-Paul Durand (CEA), archives privées fonds BCD (CEA).
[1482] DGRST, M.F. Simon, *Expertise sur le rapport d'activité 1977 de la société SOFRETES*, 1978, pp. 2-3, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; Un document manuscrit réalisé par Jean-Paul Durand (CEA) fait également le point sur les commandes en cours et en projet à la fin de l'année 1978 en fonction de leurs caractéristiques techniques, archives privées fonds BCD (CEA) ; DURAND Jean-Paul, CLEMOT Max, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit.*, 2010 ; Correspondance avec Jean-Paul Durand (2018-2019).
[1483] *Ibid*., p. 4.

les TS 25-50 et Diré) : « source froide du système producteur d'électricité, SOFRETES, avec ce matériel, cherche à s'écarter du pompage et prend délibérément l'orientation des mini-centrales pour répondre à un marché proposé en Arabie Saoudite (consommation d'énergie d'environ 140 kWh/jour) »[1484].

Tableau 7 : tableau des dernières commandes de stations mixtes de force motrice et de production de froid en 1978

Lieu	Puissance	Caractéristiques techniques	Applications
San Luiz de la Paz Mexique	25 kW	1 groupe turbo-alternateur RATEAU.	Électricité et pompage
Arlit Niger (zone d'exploitation de l'uranium nigérien par la France)		15 000 F/h à -15°C. Fonctionnement 24 h sur 24 h. Machine à absorption à ammoniac et eau. Capteurs sélectifs.	Chambre froide
Mururoa Polynésie (site d'essais nucléaires CEA)		Machine à absorption (BrLi). Fonctionnement 24 h sur 24 h.	Climatisation
Rangiroa Polynésie (site d'essais nucléaires CEA)		Machine frigorifique à compression 8,4 kW. Fonctionnement 6 h pour la glace et 10 h pour la pompe.	Fabrication de glace et pompage électrique
Chaudes-Aigues France		1 groupe moteur à vis CIT- ALCATEL. Station géothermique 81°C. Refroidissement avec l'eau de la rivière.	Électricité connectée au réseau
Bakel Sénégal	30 kW	Capteurs sélectifs et turbine américaine TECO. Fonctionnement 10 h.	Pompage fleuve et électricité
Ryad Arabie Saoudite	30 kW	2 groupes moteur à vis CIT- ALCATEL (configuration initiale qui sera modifiée mais refusée). Capteurs sélectifs. Utilisation d'un alternateur et d'un moteur à courant continu comme charges. Bassin de stockage d'eau chaude permettant le fonctionnement jour et nuit à condition d'un ensoleillement sans nuage dans la journée. Tour de refroidissement à eau saumâtre.	Électricité et pompage
Dire Mali	75 kW	3 groupes moteur à vis CIT- ALCATEL. Mini-bassin de stockage d'eau chaude régularisant le fonctionnement diurne.	Électricité, pompage fleuve, froid
Ngorel Gidual Mauritanie	10 kW	1 groupe moteur à vis CIT- ALCATEL. Bassin de stockage d'eau chaude. Capteurs type Diré. Durée journalière de fonctionnement 10 heures.	Pompage électrique fleuve et production partielle de froid pour la conservation
Diakhao Sénégal	25 kW	1 groupe moteur à vis CIT- ALCATEL. Capteurs sélectifs.	Pompage et électricité

[1484] *Ibid*.

		Utilisation d'une tour de refroidissement pour la condensation du fréon. Fonctionnement permanent grâce à un stockage thermique.	
N'Djamena Tchad	5,5 kW	1 groupe moteur à vis CIT- ALCATEL. Fonctionnement 6 h avec stockage sur batteries. Capteurs sélectifs.	Électricité, pompage, froid
El Hamrawin Égypte	10 kW	1 groupe moteur à vis CIT- ALCATEL. Capteurs sélectifs. Osmose inverse. Bassin de stockage d'eau allongeant le temps de fonctionnement et sa régularité.	Pompage et dessalement d'eau de mer
Assouan Égypte	10 kW	1 groupe moteur à vis. Capteurs sélectifs. Fonctionnement permanent grâce à un stockage thermique. 100 kg de glace/j	Pompage Production de glace
Karma Niger	10 kW	1 groupe moteur à vis. CIT- ALCATEL. Capteurs sélectifs ONERSOL. Fonctionnement 6 h.	Pompage
Tabalak Niger	5 kW	1 groupe moteur à vis. CIT- ALCATEL. Capteurs sélectifs ONERSOL. Fonctionnement 6 h.	Pompage
Bondie Samb Sénégal	10 kW	1 groupe moteur à vis CIT- ALCATEL. Capteurs sélectifs SINAES. Utilisation d'une tour de refroidissement pour la condensation du fréon.	Pompage et électricité

Sources : DGRST, M.F. Simon, *Expertise sur le rapport d'activité 1977 de la société SOFRETES*, 1978, pp. 2-3, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; Un document manuscrit réalisé par Jean-Paul Durand (CEA) fait également le point sur les commandes en cours et en projet à la fin de l'année 1978 en fonction de leurs caractéristiques techniques, archives privées fonds BCD (CEA) ; DURAND Jean-Paul, CLEMOT Max, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010 ; Correspondance avec Jean-Paul Durand (2018-2019).

Afin d'assurer la continuité du programme de R&D de la SOFRETES par rapport à son offre commerciale, le CEA, qui est son principal partenaire, dépose auprès de la DGRST des demandes complémentaires en parallèle au premier contrat d'aide (voir le tableau *infra*). Par exemple, fin 1977, le CEA demande un financement pour une nouvelle génération de capteurs à faible concentration dits de troisième génération (après les capteurs type Diré, puis les capteurs sélectifs). Des capteurs de troisième génération, qui, en autorisant une augmentation de la température de la source chaude (130-150°C), permettent de multiplier le nombre de sites d'implantation, d'améliorer le rendement et de réduire la dépendance à la source froide. Le moteur à palette doit y être adapté ainsi que toute la boucle thermodynamique qui doit comporter un stockage thermique pour une utilisation en continue. Tous les éléments se recoupent sans cesse pour plus de modularité.

Tableau 8 : propositions de financement de recherches déposées par le CEA auprès de la DGRST (1976-1978) en dehors du financement du programme de R&D de la SOFRETES. Il s'agit de projets complémentaires qui prolongent la R&D solaire engagée avec la SOFRETES

Étude de composés oxydes semi-conducteurs adaptés à la production d'hydrogène par photoélectrolyse de l'eau sous rayonnement solaire	24 mois	600 000 F
Couplage d'un capteur solaire haute température à une unité frigorifique à absortion	24 mois	475 000 F
Évaluation des avantages présentés par les mélanges diphasiques gaz-liquide dans les cycles thermodynamique adaptés à l'énergie solaire	12 mois	225 000 F
Acquisition de données solaires à l'étranger, dans des zones d'implantation future, au moyen de stations héliométriques	12 mois	150 000 F
Optimisation technico-économique du couplage chaudière solaire-unité de dessalement dans la gamme 10-100 m^3/jour	6 mois	787 000 F
Conception et expérimentation d'un capteur plan à faible concentration	24 mois	150 000 F
Étude des réseaux optiques sélectifs en vue de l'obtention de couches sélectives à très bas prix	6 mois	79 000 F
Étude et réalisation de capteurs solaires en verre pour dispositifs semi-concentration	12 mois	216 750 F
Mise au point d'un procédé d'élaboration d'absorbeurs sélectifs	12 mois	160 000 F
Production et stockage de froid	18 mois	160 000 F
Stockage en chaleur sensible dans la gamme 200-300°C	24 mois	490 000 F
Production et stockage de froid (-10, +10°C). Radiations nocturnes. Conception industrielle modulaire	18 mois	160 000 F
Contrôle industriel du facteur d'émission des absorbeurs à surface sélective	12 mois	200 000 F
Stations d'essais de capteurs sélectifs pour la conversion thermique de l'énergie solaire	6 mois	250 000 F
Aéroréfrigérant pour station solaire à conversion thermodynamique de petite puissance	15 mois	250 000 F
Système frigorifique solaire à conversion thermodynamique de petite puissance.	24 mois	360 000 F
Évaporateur direct pour station solaire à conversion thermodynamique	20 mois	280 000 F
Système frigorifique solaire compact. Production de glace individuelle ou familiale. Réactualisation de la machine Carré.	18 mois	225 000 F
Station électrogène solaire intégrée. Puissance de l'ordre de 150 w électrique	24 mois	345 000 F
Étude des avantages relatifs des divers types de capteurs de la gamme 130-150°C sur les sites extérieurs ayant fait l'objet d'enregistrements solaires en 1977/1978. Exploitation des bandes magnétiques de données.	12 mois	225 000 F
Acquisition de données solaires à l'étranger dans des zones d'implantation future au moyen de stations héliométriques	12 mois	165 000 F
Stockage en chaleur sensible dans la gamme 130-150 °C	18 mois	400 000 F
Stockage en chaleur sensible dans la gamme 200-350 °C	12 mois	245 000 F
Capteurs solaires à faible concentration, sans suivi continu du soleil pour la gamme 130-150°C	24 mois	1 450 000 F
Réalisation et essais d'une chaudière solaire utilisant des capteurs à tube sous vide et à miroir de reconcentration et constituant un réseau suffisant pour apprécier « l'effet de taille »	18 mois	640 000 F
Capteur solaire léger en métal mince ou matière plastique travaillant en dépression (pour l'habitat en France et en pays méditerranéens)	18 mois	600 000 F
Choix et essai d'un évaporateur à 140°C adapté au moteur à palette 3kW	18 mois	150 000 F
Adaptation du moteur à palette 3 kW à l'intervalle de température 130-150°C	18 mois	225 000 F

Sources : DGRST, tableau récapitulatif des *propositions reçues dans le domaine du thermodynamique solaire, 1976-1977*, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2 ; CEA, *Présentation des programmes de recherche CEA à moyen terme sur les composants des systèmes de conversion photothermique de l'énergie solaire*, 21 novembre 1977, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

Courant 1978, Renault se retire des Etablissements Pierre Mengin laissant la R&D de la SOFRETES reposer quasi exclusivement sur les équipes du CEA, qui devient par défaut l'actionnaire ultra-majoritaire de la SOFRETES. Le départ du motoriste écarte toute possibilité de mise au point, puis d'industrialisation, d'une gamme de moteurs solaires dérivés des compresseurs à vis qui sont pour le moment simplement détournés de produits existants et adaptés aux prototypes vendus. La dépendance du produit « station mixte de force motrice » aux compresseurs CIT-ALCATEL (CGE) est renforcée par l'entrée au capital d'Alsthom Atlantique (CGE) en 1979. Le nouveau partenaire motoriste n'entre cependant pas dans l'activité R&D mais choisit de contrôler l'activité commerciale laissant ainsi l'aspect technique au CEA (*cf. infra* chapitre 5).

A la fin 1978, alors que le premier contrat d'aide s'achève, le CEA dépose une nouvelle demande d'aide au pré-développement pour la modification et/ou l'amélioration de certains composants des stations solaires thermodynamiques de la SOFRETES afin de les adapter aux nouvelles fonctions envisagées et surtout de les standardiser. Il s'agit des applications de dessalement par osmose inverse et de la génération d'électricité en continu. Le programme de R&D présenté (5 312 000 F) est donc le prolongement du précédent. Les efforts doivent toujours se concentrer sur le stockage thermique, sur le condenseur évaporatif, ainsi que sur le procédé de dessalement par osmose inverse du CEA[1485]. L'aide au pré-développement est accordée à la SOFRETES pour son programme de recherche sur les stations de conversion thermodynamique d'énergie

[1485] DIMME, *Demande d'Aide au pré-développement*, 14 novembre 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; CEA, documentation technique, fiches produits « stockage » et « osmose inverse », archives privées de George Alexandroff. Voilà ce que deux chercheurs espagnols écrivent en 2007 au sujet de l'intérêt et de l'importance historique de la technique de désalinisation par osmose inverse couplée à la conversion thermodynamique de la chaleur solaire développée par le CEA et la SOFRETES (opération égyptienne d'El Hamrawin) : « *Experience in combining solar thermal and seawater or brackish water reverse osmosis (RO) desalination technologies is very limited. Two SOFRETES systems were in operation in the early 1980s for brackish water desalination. Only such two implementations involving a single design can be cited, along with a reduced number of theoretical analyses and design proposals. Nevertheless, since RO is the most cost-effective desalination technology and its energy requirements are low, solar thermal-driven reverse osmosis desalination is promising in comparison to other desalination processes driven by solar energy.* » DELGADO-TORRES Agustín M., GARCIA-RODRIGUEZ Lourdes, « Status of solar thermal-driven reverse osmosis desalination », *Desalination*,Volume 216, Issues 1–3, 2007, pp. 242-251. A propos des dernières recherches menées par le CEA, la SOFRETES et Rhône-Poulenc sur financement de la DGRST, en matière de stockage thermique en vue de la production continue d'énergie mécanique à partir d'une source de chaleur intermittente (naturelle ou rejets), lire : BRICARD A., CHABANNE J., MANIFICAT A., VACHET F., « Stockage thermique par chaleur latente dans la gamme 100 à 150°C : Étude expérimentale et modélisation des cinétiques de stockage et de déstockage sur un accumulateur de 25 kWh », *Revue de Physique Appliquée*, 1982, 17 (9), pp.595-605.

solaire à hauteur de 2 100 000 F sur 3 ans[1486]. Cependant, dans le même temps, la dotation budgétaire 1978 de la DGRST pour les activités solaires thermodynamiques basse température du CEA est réduite. Il s'élève à 4 MF sur une enveloppe globale solaire de 37,8 MF répartie entre le projet THEMIS (20 MF), la centrale européenne à tour en Italie (3 MF) et le photovoltaïque (8 MF). Les crédits du contrat de programme solaire du CEA sont amputés d'1 MF, une somme qui est basculée au profit de ceux alloués au charbon[1487].

En dehors des recherches qui trouvent directement des applications à travers l'activité commerciale de la SOFRETES, le CEA développe avec Boussois un nouveau capteur. Les capteurs cylindro-paraboliques à moyenne concentration et à collecteurs distribués ou capteurs COSS (Capteur Optique Solaire Segmenté) fournissent des températures et des puissances allant de 150°C à 350°C et de 200 kW à 5000 kW[1488]. Ces capteurs sont conçus pour être utilisés dans des installations de conversion thermodynamiques ou photovoltaïques. Ils sont retenus par la DGRST (qui participe aux financements des travaux préliminaires) pour équiper un projet de station solaire de démonstration, qui doit être connectée au réseau EDF, dont la construction est annoncée par le Président de la République au début de l'année 1978 sur le site de Vignola en Corse. La DEN initie ce projet par appel d'offre en mars 1976. Le CEA, qui est retenu en association avec Renault Moteurs Développement et le projet Bertin-PUK, soumet sa proposition définitive au début 1978 (la construction se déroule de janvier 1980 à août 1981[1489]). Le CEA fournit les capteurs COSS et le système de stockage thermique, Bertin les deux boucles thermodynamiques (deux turbines de 50 kW) et RMD s'occupe de l'étude commerciale d'une potentielle offre de ce type (coûts de production en grande

[1486] DIMME, Affaires techniques, *Compte-rendu du comité de recherche technique du 30 novembre 1978*, 4 décembre 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1487] DGRST, *Dotations budgétaires 1978*, février 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.
[1488] CEA, *Énergie solaire R&D*, fiche produit, « Capteur solaire à moyenne concentration », 1979, archives privées fonds BCD (CEA).
[1489] Le chantier et le projet connaissent d'importantes difficultés (ouverture, fermeture et réouverture successives après 1981. Les essais sont menés d'octobre 1981 à juillet 1982 date à laquelle le chantier est fermé en raison, d'après le témoignage d'Alain Louche, d'une réduction des devis initiaux imposée par le gouvernement *via* le COMES (puis l'AFME) alors maître d'ouvrage. Le chantier est réouvert de mai 1983 à octobre 1983 et sa réception définitive est prononcée les 27-28 septembre 1983. Elle permet le couplage de la centrale au réseau. De 1983 à 1986 l'installation est exploitée lors de campagnes d'essais notamment pas le CNRS et le CEA. Dossier personnel de Jean Bliaux en charge du projet pour le CEA, notamment l'historique du projet, Archives privées fonds BCD (CEA) ; LOUCHE, Alain, « La centrale électrosolaire de Vignola », *in* HERLEA, Alexandre, *op. cit*., 1995, pp. 201-210.

série et étude de marché). Le financement de la construction est assuré par le COMES. La SOFRETES est désignée comme maître-d'œuvre, elle doit également construire le réseau hydraulique et mettre en route la centrale[1490].

Au cours des deux années (1977-1978) pendant lesquelles les activités commerciales et de R&D sont les plus intenses, un dossier de présentation du nouveau Programme de développement de la SOFRETES à cinq ans (1978-1982) est soumis à la DGI[1491]. Ce document préparatoire nous apprend que la société prévoit d'extrapoler sa technologie aux hautes températures, c'est-à-dire qu'elle envisage le développement de la concentration solaire (capteurs à concentration)[1492]. Le rapport d'évaluation de la DGI sur ce programme fait un double constat gestionnaire. Le premier point établit que la SOFRETES réalise désormais des marges sur ses installations de pompage et de fourniture d'électricité à basse température et que ce sont plutôt les applications de froid-solaire qui creusent le déficit. Secondement, la DGI met en garde contre une vraisemblable course en avant avec une gamme de produits peut-être trop étendue.

Le dernier élément qui impacte fortement la diversification technique de l'offre SOFRETES-CEA est le changement de nature et d'orientation des aides qu'elle perçoit à partir du moment où c'est le COMES qui devient l'administration en charge de la ventilation des crédits de soutien à la recherche et aux opérations de démonstration

---

[1490] « La mise au point d'une centrale électrosolaire prototype de 300 kW », *Le Moniteur*, 12 février 1979, archives privées fonds BCD (CEA) ; BACCONNET E., BLIAUX J., DANCETTE M., « Système à concentration (COSS) à surface segmentée cylindrique. Centrale de Vignola », tiré à part, Cahiers de l'AFEDES, n°3, à paraître fin 1983, archives privées fonds BCD (CEA) ; CEA, DTCE, SEEN, *Chaudière solaire à miroirs segmentés COSS*, 21 mars 1979, archives privées fonds BCD (CEA) ; CEA, DTCE, SEEN, *Capteur CEA « Miroirs segmentés fixes, chaudière mobile* », 1er juin 1978, archives privées fonds BCD (CEA) ; Dossiers commerciaux et photographies de la centrale de Vignola et de la plateforme d'essais solaires du CEA à Cadarache de Jean Bliaux, Jean-Paul Durand et Max Clémot, archives privées fonds BCD (CEA) ; Original du contrat de maître d'œuvre de la SOFRETES, « Fourniture d'une centrale solaire en Corse appelée centrale SOFRETES-Bertin », acte d'engagement, Marché N°790183, 10 décembre 1979, Archives nationales, AFME, répertoire 20050139, carton 17. Pour la SOFRETES, le marché s'élève à 10 500 000 F ; COMES, « Cahiers des clauses administratives particulières relatif à la fourniture d'une centrale solaire en Corse appelée Centrale SOFRETES-Bertin », N°790183, 23 novembre 1979, Archives nationales, AFME, répertoire 20050139, carton 17 ; Dossier Bertin & Cie, *Centrale solaire thermodynamique de moyenne puissance de Bertin,* 4 octobre 1977, Rapport d'avancement des contrats DGRST N° 77/7/0521-0522-0523-0524 notifié le 9 mai 1977, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

[1491] Deux versions sont archivées par la DGI, la première date de fin 1977 et la seconde de février 1978. *Plan de développement de la SOFRETES à 5 ans*, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

[1492] Une installation de ce type de 100 kW électriques 24 h/24 h est envisagée en Iran. *Recherche et Développement CEA/SOFRETES (fin 1978)*, document manuscrit de Jean-Paul Durand (CEA), archives privées fonds BCD (CEA).

solaires (voir les tableaux *infra*)[1493]. Fin 1978, le COMES verse à la SOFRETES le reliquat du programme R&D DGRST de 1976-1978[1494], puis il assure le suivi des demandes de financement du CEA jusqu'en 1979. Progressivement, l'aide délaisse la R&D thermodynamique pour se focaliser sur deux axes. Premièrement, le financement d'une partie du suivi et de la maintenance du parc opérationnel de la SOFRETES, c'est-à-dire ce qui existe déjà *in situ* et ce qui est en cours (les chantiers à terminer)[1495]. Secondement, une aide à l'installation d'unités de pompages solaires photovoltaïques, soit pour de nouveaux projets, soit pour modifier d'anciennes stations thermodynamiques.

Tableau 9 : aides financières du COMES 1978-1979 : recherches et *opérations de démonstration* qui bénéficient aux activités de la SOFRETES

HABITAT		En millions de Francs
Recherches de modèles destinés à promouvoir l'innovation dans le domaine de l'habitat groupé en zone aride par l'utilisation des phénomène climatiques naturels	Alexandroff et Liébard	0,158
THERMODYNAMIQUE SOLAIRE		
Programme de développement des composants de 4 machines solaires	SOFRETES Mengin	1,400
Études en vue de l'amélioration de performances d'échangeurs		0,520

[1493] En plus des Rapports d'activité du COMES, nous avons consulté les dossiers techniques des demandes de financement déposées par la SOFRETES auprès du COMES pour l'amélioration d'éléments des dispositifs thermodynamiques et photovoltaïques, qui ont été archivés par la DGI : Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16. Voir par exemple pour la filière thermodynamique : COMES, Dossier 203 SOFRETES-Mengin S.A., marché N°79 du 4 janvier 1980 relatif à l'étude et à la fabrication d'une pompa à Bourzenga en Haute-Volta ; COMES, Dossier N° 158, SOFRETES-Mengin S.A., Stations solaires d'irrigation Karma et N'Gorel Guidal, du 7 décembre 1979 au 11 janvier 1980 ; COMES, Dossier 41, Comité du 16 novembre 1979 ; COMES, Dossier N° 147, SOFRETES-Mengin S.A. – Stockage thermique, Comité du 22 novembre 1979 ; COMES, Dossier N° 145, SOFRETES-Mengin S.A. – Étude d'un échangeur, Comité du 22 novembre 1979 ; COMES, Dossier N° 142, SOFRETES-Mengin S.A. – Trois projets solaires au Niger, Comité financier du 22 novembre 1979 ; COMES, Comité financier du 21 septembre 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 6.

[1494] 1,4 MF.

[1495] Deux dossiers sur la convention de sauvetage passée entre le COMES et la SOFRETES sont intéressants. Ils font le point sur les chantiers à achever qui reçoivent une aide de 2 MF sur deux ans (1980-1981). COMES, Dossier N° 412, SOFRETES (maintenance), Comité du 4 novembre 1980, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; COMES, Dossier N° 411, SOFRETES (achèvement), Comité du 4 novembre 1980, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

Étude et réalisation d'un grand stockage thermique		0,660
Réalisation de la centrale Corse		11,331
Optimisation technico-économique d'un procédé de dessalement solaire	CEA Saclay	0,150
Stockage en chaleur sensible dans la gamme 200-350°C		0,180
Évaporateur direct pour station solaire à conversion thermodynamique	CEA Grenoble	0,250
Stockage de la chaleur entre 130° et 200°C sous forme d'énergie chimique		0,225
Surface sélective à moyenne température (400°C) pour absorbeur sous vide		0,250
Production et stockage de froid. Conception industrielle		0,160
PHOTOVOLTAÏQUE		
Étude et réalisation d'une gamme de pompes photovoltaïques pour petits débits et grandes profondeurs	SOFRETES Mengin	0,500
Étude d'appareils de mesure destinés à la maintenance d'une station photovoltaïque	CEA Grenoble	0,200
Installation d'une station d'essai de systèmes photovoltaïques		0,094
ACTIONS BILATERALES ET COOPERATION EUROPEENNE		
Participation à la réalisation de pompage solaire au Niger	ONERSOL Niger	0,500
Assistance technique	SOFRETES Mengin Mexique	0,100
Programme de 3 pompes solaires	SOFRETES Mengin Niger	1,914
Réalisation d'une station solaire de froid et de pompage à Coubanao	SOFRETES Mengin Sénégal	1,116
Panneaux photovoltaïques destinés à l'installation de 5 stations de pompage en Afrique	SOFRETES Mengin Kanel (Sénégal), Médina Dakar (Sénégal), San (Mali), Nord Bamako (Mali), Kambolo (Tanzanie)	0,483
Panneaux photovoltaïques destinés à l'installation d'une station de pompage photovoltaïque dans un village non électrifié (Quetzalcoalt)	SOFRETES Mengin Mexique	0,161

Sources : Rapport d'activité du COMES 1978-1979, annexes « Contrats 1978-1979 », Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 100.

Tableau 10 : aides financières du COMES 1980 : recherches et *opérations de démonstration* qui bénéficient aux activités de la SOFRETES

PHOTOVOLTAÏQUE		
Étude d'un convertisseur continu alternatif monophasé	CEA Grenoble	0,294
ACTION INTERNATIONALE		
Suivi et maintenance du parc opérationnel SOFRETES Mengin	SOFRETES Mengin Mexique, Haute-Volta, Niger, Mali, Sénégal	2,000
Étude du projet de pompe photovoltaïque à M'Boumba (Sénégal)	SINAES Sénégal	0,040

Sources : Rapport d'activité du COMES 1980, annexes « Contrats 1980 », Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 100.

Tableau 11 : aides financières du COMES 1981 : recherches et *opérations de démonstration* qui bénéficient aux activités de la SOFRETES

THERMODYNAMIQUE SOLAIRE		
Participation au programme R&D du CEA	CEA Cadarache	1,288
ACTION INTERNATIONALE		
Convention annuelle « assistance technique à l'étranger » pour les pays arabes	CEA	1,133
Convention annuelle « assistance technique à l'étranger » pour les pays dépendant du ministère de la Coopération et du Développement	CEA	1,098
Fourniture de 3 pompes photovoltaïques de démonstration	SOFRETES	0,079
Installation d'une pompe solaire photovoltaïque à Bourzenga (Haute-Volta)	SOFRETES	1,350
Installation d'une pompe solaire photovoltaïque à l'EIER de Ouagadougou	SOFRETES	0,163
Étude préliminaire d'une installation de pompage photovoltaïque de Kolokani (Mali)	SOFRETES	0,052
Installation d'une pompe solaire à Kolokani (Mali)	SOFRETES	0,212
Photopiles pour pompes solaires à Thyangaye (Sénégal)	CIMADE	0,108
Pompe photovoltaïque de Diagle (Sénégal)	SINAES	0,040

Installation d'une chambre froide dans le centre de formation maraîchère de M'Boro (Sénégal)	SINAES	0,043
Convention annuelle « assistance technique à l'étranger » pour les autres pays en développement	CEA	0,216

Sources : Rapport d'activité du COMES 1981, annexes « Contrats 1981 », Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 100.

A partir de 1979, l'offre technico-commerciale de station mixte de force motrice de la SOFRETES-Mengin est définitivement arrêtée, sans perspective de futures améliorations. L'enjeu est d'achever les chantiers en cours afin d'honorer les contrats passés et d'assurer au mieux la maintenance des prototypes existants. Alors que la société est en cours de démantèlement, le catalogue SOFRETES de 1981, propose quatre modèles d'équipements opérationnels standardisés dont nous reproduisons ici deux pages : la fiche explicative du fonctionnement d'une centrale électrosolaire pouvant fonctionner jour et nuit (comme la station de Diakhao au Sénégal[1496], celle de Ouallam au Niger ou celle de Ryad en Arabie Saoudite) et celle des caractéristiques de la gamme (de 10 à 40 kW).

[1496] Le rapport technique réalisé par la SOFRETES pour la centrale de Diakhao permet de bien saisir le fonctionnement général de cette génération de station ainsi que les améliorations apportées à tous ses éléments. Il présente également une étude comparative avec les moteurs Diésel en fonction pour alimenter la ville en électricité et pour le pompage des eaux sanitaires et pastorales. SOFRETES-Mengin, *Adaptation des machines à cycle de Rankine à la fourniture d'énergie électrique*, 23 juin 1980, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

CARACTÉRISTIQUES NOMINALES

Pour un ensoleillement moyen journalier de 6.500 Wh/m² sur les capteurs et une température de l'eau pompée de 30°C :

	"NADJE" Type 1PS	"TONATIUH" Type 2PS	"RA" Type 3PS	"PROMETHEE" Type 4PS
Puissance utile approximativement sur l'arbre (en kW)	10	14	25	40
Surface active des capteurs (m²)				
6 h de fonctionnement	360	540	865	1.280
10 h " "	720	900	1.450	2.130
12 h " "		1.080	1.750	2.565
14 h " "		1.260	2.050	3.000
18 h " "			2.600	3.840

PERFORMANCES DE POMPAGE

Elles peuvent s'exprimer par le nombre de m³ d'eau pompée journellement, par exemple à 10, 30 ou 75 m de profondeur et pour un fonctionnement de 6, 12 ou 18 h, ou encore par les services rendus : eau potable, alimentation en eau du bétail, hectares irrigués.

	"NADJE"		"TONATIUH"		"RA"			"PROMETHEE"		
Valeurs en m³ × 1000	6 h.	12 h.	6 h.	12 h.	6 h.	12 h.	18 h.	6 h.	12 h.	18 h.
à 10 m	1.3	2.6	2.0	4.0	3.8	7.6	11.4	7.0	14.0	21.0
à 30 m	0.45	0.9	0.65	1.3	1.25	2.5	3.8	2.0	4.0	6.0
à 75 m	0.12	0.24	0.20	0.4	0.4	0.8	1.2	0.6	1.2	1.8

On retiendra les valeurs suivantes, applicables par exemple pour des petites communautés africaines : besoins journaliers en eau de 30 m³ pour 1.000 personnes, 50 m³ pour 1.000 têtes de bétail, 60 m³ par hectare à irriguer (céréales et cultures maraichères).

LES ÉQUIPEMENTS MIS EN ŒUVRE

DES ÉQUIPEMENTS OPÉRATIONNELS STANDARDISÉS

SOFRETES a développé une gamme de matériels standardisés, adaptés à l'importance et à la nature des besoins, pour le pompage, l'hydraulique pastorale et villageoise, l'irrigation des cultures.

Ces matériels comprennent :

— Un champ de capteurs plans sélectifs d'une superficie adaptée à la durée de fonctionnement.

— Une boucle thermique comprenant :
- un évaporateur,
- un condenseur, de type ordinaire ou évaporatif, ou une tour de refroidissement,
- un moteur rotatif à lubrification automatique,
- une pompe de réinjection de fluide condensé et une charge de fréon,
- les tuyauteries de raccordement des composants et le châssis support de l'ensemble,
- une pompe d'exhaure adaptée aux conditions locales, et/ou un générateur électrique.

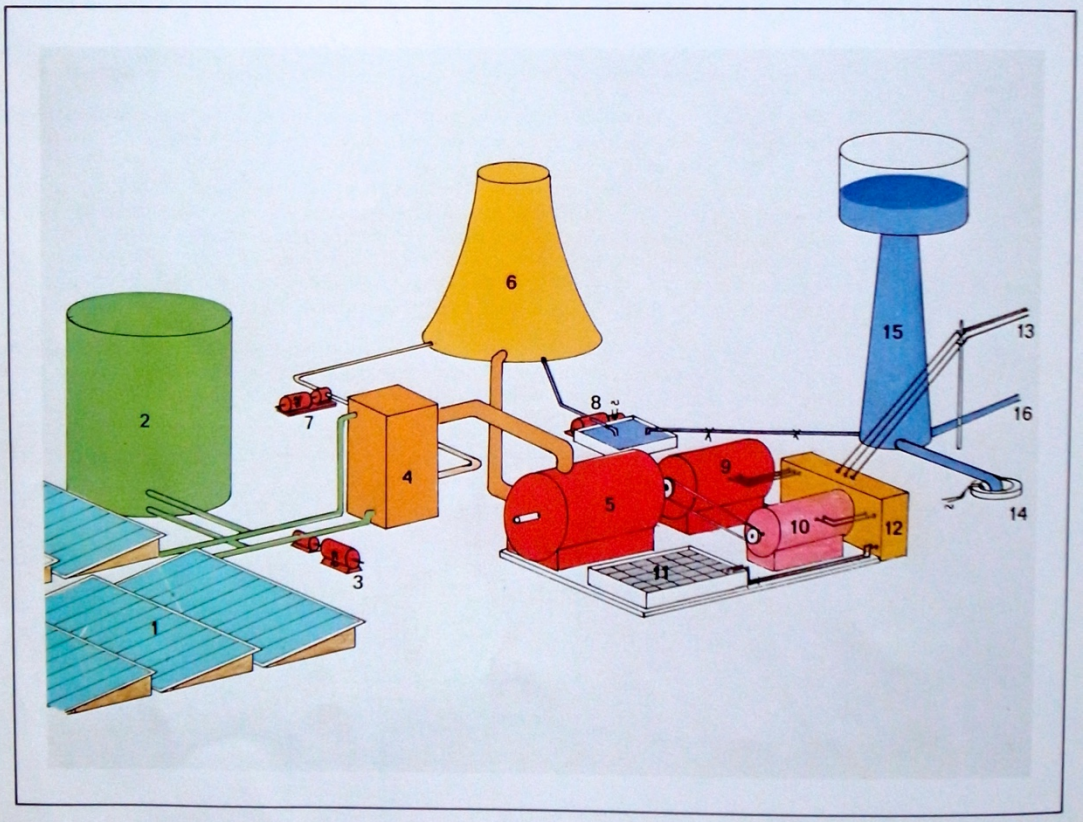
— Une installation de stockage thermique pour le fonctionnement en dehors des heures d'ensoleillement.

— Une charpente métallique conçue pour abriter dés bâtiments sous les capteurs.

Le génie civil, l'ingénierie d'ensemble, le montage, la mise en service et l'organisation de la maintenance, la formation du personnel, font l'objet de conventions particulières.

Pour la production d'électricité en régions isolées, les installations sont étudiées spécialement en fonction de la demande à satisfaire, de la charge journalière et de la distribution à assurer.

Schéma de principe d'une centrale électrosolaire pouvant fonctionner jour et nuit



1. Réseau de capteurs plans
2. Stockage thermique
3. Pompe d'eau chaude
4. Evaporateur
5. Moteur thermique à vis
6. Condenseur évaporatif
7. Pompe d'alimentation de fréon
8. Pompe d'eau froide
9. Alternateur
10. Moteur à courant continu
11. Batteries
12. Unité de contrôle
13. Ligne de distribution électrique
14. Puits avec pompe immergée
15. Réservoir d'eau potable
16. Distribution d'eau potable

Figure 43 : SOFRETES, *Pompage solaire et production d'électricité, Stations thermodynamiques à basse température*, plaquette de présentation des produits SOFRETES, 1981, archives privées fonds BCD (CEA).

3. La récupération de la chaleur géothermique à basse température

La boucle thermodynamique des stations mixtes de forces motrice SOFRETES est adaptée à partir de 1977 à la récupération et à la conversion de la chaleur géothermique à basse et moyenne température (et à la chaleur industrielle perdue). Une source d'eau chaude naturelle souterraine remplace les capteurs solaires alors que l'eau d'un torrent par exemple (où d'un forage, où de la mer, etc.) refroidit le condenseur. Une note interne confidentielle de Bernard Devin, le Chef de projet Énergie solaire du CEA, en fait un axe de développement majeur de l'entreprise en 1980 : « SOFRETES-Mengin se trouve donc vendeur d'ingénierie et de composants clés. Parmi ceux-ci, les boucles thermodynamiques complètes ont leur créneau propre qui vient s'ajouter (et sans doute dépasser à moyen terme) au secteur solaire : il s'agit de l'utilisation des eaux chaudes géothermales naturelles, dont le marché est dès maintenant identifié dans certaines parties du monde, avec une bonne compétitivité commerciale. »[1497]

Dans les années 1960, l'application de la géothermie à la conversion électrique n'est pas une nouvelle solution technique. Cependant, la conversion des basses températures est écartée, seules les sources à hauts potentiels thermiques sont considérées comme des réservoirs de puissance suffisante pour envisager la réalisation d'une centrale électrique utile à un réseau de distribution[1498]. Or, le potentiel géothermique mondial est principalement composé de sources de chaleur souterraine à basse et moyenne température comme dans le bassin sédimentaire parisien (l'aquifère géothermal du Dogger)[1499]. En 1971, un quartier de la ville nouvelle de Melun l'Almont est équipé d'un système de chauffage collectif à partir d'une source géothermique à basse température[1500]. Il ne s'agit pas d'une installation de conversion de chaleur mais d'un usage direct de la chaleur. Une situation que le BRGM résume en 1979 pour introduire la proposition de la machine SOFRETES qui ouvre donc l'accès à une nouvelle solution aux besoins des communautés isolées au moyen d'une ressource non valorisée alors que sa cartographie

[1497] CEA, Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles, Chef de projet solaire, Bernard DEVIN, Note confidentiel CEA, N°CPES/AA/80-079, 28 mars 1980, archives privées fonds BCD (CEA).
[1498] L'EDF a notamment écarté cette application. Voir : MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, p. 595.
[1499] Sur les aquifères géothermaux français voir les sites du BRGM comme : https://sigessn.brgm.fr/spip.php?article253
[1500] *Ibid*., p. 595.

mondiale est parfaitement connue[1501] : « *up to now, the possibilies of exploiting the geothermal resources were limited to two domains : large-sized electrical power plant (unit of 10 to 100 MW) using high enthalpy gepthermal steam (Larderello, geysers, Cerro Prieto, Tiwi, etc.), district heating (Iceland, Hungary, France, etc.) using low enthalpy geothermal waters.* »[1502]

A partir de 1974, tout comme le solaire, la géothermie connaît une institutionnalisation progressive. D'abord sous la forme d'une action concertée de la DGRST en février 1974, « dirigée par la Direction de la Technologie, de l'Environnement Industriel et des Mines (DITEIM), du ministère de l'Industrie et de la Recherche, charge un Groupe géothermie d'étudier les ressources en énergie géothermique disponibles en métropole et dans les DOM-TOM, ainsi que leurs possibilités d'applications domestiques (chauffage de l'eau, des locaux) et industrielles (opérations nécessitant de la chaleur, production d'électricité). »[1503] En septembre 1974, l'AEE est créée et, dans la foulée, en novembre 1974, un Comité géothermique (1974-1982) « afin de coordonner le programme géothermie mis en place par le ministère de l'Industrie par le biais du Groupe géothermie de la DGRST »[1504]. Enfin, en 1978, alors que le COMES a la charge de la mise en œuvre de la politique publique solaire du gouvernement, une entreprise nationale de géothermie est lancée, Géo-Chaleur[1505]. En 1982, la mission géothermique nationale est intégrée à l'AFME. Aucune de ces institutions ne participe à la diversification géothermique de l'offre SOFRETES alors que « jusqu'à la fin de la décennie, le Comité géothermie dispose d'un budget croissant. Le budget accordé à la géothermie par le

[1501] GEOWATT (BRGM-SOFRETES), *Mechanical or electrical power production from geothermal waters low scale autonomous power supply*, 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier. Le document propose un planisphère des ressources mondiales, « *regions of the world where, in the present state of knowledge and technology, the exploitation of geothermal power is considered possible are well delineated* ». Voir également : ministère de l'Industrie, Direction générale de l'énergie et des matières premières (DGEMP), Services des matières premières du sous-sol, BRGM, Service géologique national, Département géothermie, *La géothermie à la Conférence des Nations-Unies sur les énergies nouvelles et renouvelables*, Activité française, 1981, notamment pp. 6-10 (géothermie haute énergie et géothermie basse énergie), pp. 12-16 (le potentiel géothermique français), annexe 3 « le point sur les activités du BRGM en géothermie à l'étranger et dans les départements français d'Amérique après la CNUCERN à Nairobi (août 1981) de J. Varet – octobre 1981 ».

[1502] « Jusqu'à présent, les possibilités d'exploitation des ressources géothermiques étaient limitées à deux domaines : la centrale électrique de grande taille (unité de 10 à 100 MW) utilisant de la vapeur geothermique à haute enthalpie (Larderello, geysers, Cerro Prieto, Tiwi, etc.), le chauffage urbain (Islande, Hongrie, France, etc.) utilisant des eaux géothermales à faible enthalpie ». *Ibid*.

[1503] MARREC, Anaël, *op. cit*., 2018, p. 545.

[1504] *Ibid*.

[1505] *Ibid*., p. 546.

ministère de l'Industrie est ainsi plus important que celui accordé à *l'énergie solaire* »[1506]. Seul le BRGM travaille avec elle à développer une offre commerciale à partir de 1977. Cette participation n'est pas seulement motivée par la faisabilité technique. Elle se double d'un intérêt pour la place que peut occuper cette proposition sociotechnique dans la politique extérieure française, que le rapprochement du MAE au projet géothermique de la SOFRETES confirme. Une opportunité supplémentaire.

En 1976, la SOFRETES installe une pompe solaire MGS 2-1000 de démonstration à Manille, aux Philippines, financée par le PNUE. Max Clémot, l'ingénieur chargé d'affaire à l'international, délégué du CEA, négocie cette opération directement avec la première Dame des Philippines, M^me^ Marcos[1507]. C'est elle qui a la charge de l'opération solaire et de sa communication. Elle explique à Clémot qu'elle s'en sert d'ailleurs, et ce n'est pas une remarque d'ordre secondaire, pour faire pression sur McNamara, alors Président de la Banque mondiale, en faisant en sorte d'organiser l'inauguration de la station solaire lors de sa venue à Manille[1508]. En effet, l'opération SOFRETES lui permet de bénéficier des fonds de l'aide au développement international. Pendant ces séjours à Manille, Clémot présente à Mme Marcos les adaptations possibles du dispositif thermodynamique SOFRETES aux sources géothermales, qui sont très nombreuses aux Philippines, afin d'y stimuler un futur marché d'aide. Et ce d'autant plus que lors des réunions, des représentants de gouvernements d'autres pays d'Asie du Sud-Est sont présents tels ceux de L'*Energy Authority of Thailand* (EGAT). La machine géothermique SOFRETES s'invite donc tout naturellement, aux côtés de la machine solaire, dans les relations internationales qui se nouent autour de la SOFRETES et le MAE se montre intéressé[1509]. D'ailleurs, le cas Philippin est symptomatique de la position qu'occupe Renault dans la SOFRETES à cette époque et inversement, celle qu'occupe la SOFRETES dans la stratégie de ses partenaires et dans la politique étrangère française. Le constructeur automobile y voit plus son intérêt en termes de relations commerciales à

[1506] *Ibid*., p. 547.
[1507] Entretiens avec Max Clémot des 9 novembre 2018 et 19 novembre 2018 ; Lettres manuscrites des échanges entre CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul et GIRARDIER Jean-Pierre, archives privées fonds BCD (CEA) ; CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010.
[1508] Sur le référentiel international de l'aide publique au développement lire : ALLAIN, Annelies, « A propos du discours de McNamara », *in* CALAME Mireille, DABAT Christine, MICHAELIS, et *al*. (dir.), *Il faut manger pour vivre… : controverses sur les besoins fondamentaux et le développement*, Genève, Graduate Institute Publications, 1980, pp. 229-256.
[1509] CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010, p. 59.

l'export que celui des communautés villageoises isolées et de la SOFRETES à proprement parler : « aux Philippines, Max CLEMOT qui avait reçu un excellent accueil de l'entourage de la Présidente Madame MARCOS, avait été sollicité par Claude COSTE, Directeur de RENAULT – MANILLE, afin d'obtenir un rendez-vous à niveau élevé en vue de débloquer un problème de quota ! C'était une nouvelle démonstration que la SOFRETES et l'énergie solaire, à cette époque, étaient une excellente carte de visite qui facilitait efficacement les introductions ! »[1510]

En avril 1977, une réunion de coordination a lieu entre le Département de géothermie du BRGM et la SOFRETES à Montargis[1511]. Comme nous l'avons écrit plus haut, les deux sont déjà partenaires en ce qui concerne les forages en Afrique nécessaires aux pompes solaires de petites puissances. A cette date, la SOFRETES annonce avoir des propositions des Philippines, du Mexique, du Nicaragua et du Kenya (où une pompe 1 kW est financée par le MAE). De son côté le BRGM est sollicité par le Pérou. Concernant le Nicaragua, le Chef du Département Géothermie du BRGM écrit : « le Président s'est montré très intéressé par une récente démonstration de matériel SOFRETES. La filiale de Renault là-bas garde le contact. On pourrait utiliser des sources chaudes, qui sont très nombreuses, pour de petites unités de production d'électricité et de climatisation. »[1512] Clémot nous explique par ailleurs qu'il rencontre le dictateur Somoza lors d'un voyage d'affaire SOFRETES, mais qu'en réalité Renault arrange cette entrevue pour des négociations qui ne concernent que très secondairement le solaire et la géothermie :

> Max CLEMOT étant en mission pour le compte des Nations Unies en Haïti afin d'examiner les possibilités d'utilisation de l'énergie solaire dans le dessalement de l'eau de mer et d'autres applications, à la demande de RMD, il s'était rendu au Nicaragua afin d'y rencontrer le Président SOMOZA. Arrivé à MANAGUA et bien qu'ayant pris connaissance des agissements de ce dernier, Max CLEMOT n'avait pu éviter un entretien de 3 à 4 heures, dont il est ressorti que l'utilisation des énergies solaire et géothermique n'intéressaient pas le Président SOMOZA. Il recherchait des possibilités commerciales beaucoup plus concrètes (peut-être un troc café-charbon ?). A son retour à Paris, Max CLEMOT ayant manifesté son indignation, l'équipe de RMD lui avait alors avoué que la rencontre avait été montée par RENAULT Finance[1513].

[1510] *Ibid*., p. 30.
[1511] BRGM, SGN, Département Géothermie, N°51/77, *Compte-rendu de réunion chez SOFRETES du 27 avril 1977*, Orléans 2 mai 1977, archives privées fonds BCD (CEA).
[1512] *Ibid*.
[1513] CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010, p. 30.

Nonobstant cette instrumentalisation, le BRGM reconnaît tout l'intérêt que représente la machine et ses potentiels pour ces régions du tiers-monde :

> Dans bien des cas en effet, ces pays disposent de sources chaudes qui peuvent être employées directement, et de manière plus économique encore que le solaire, par la production d'électricité. Les capteurs solaires entrent pour près de la moitié dans le coût d'investissement ; par ailleurs la géothermie présente l'économie découlant de la régularité de la température, indépendante de variations saisonnières ou diurnes. {…} Il existe donc un potentiel très important dans ce domaine de par le monde, et nous avons là un créneau original à prendre[1514].

La réunion convient alors, en réponse à une demande du MAE, d'envisager une opération de démonstration en France au moyen d'une installation pilote dont « l'objectif n'est pas de développer ce type de ressource en France mais de promouvoir un exemple visible pour l'exportation »[1515]. Ceci sous-entend clairement qu'une telle solution technique peut donc fonctionner en France (le BRGM identifie à l'époque 5 ou 6 sites[1516]) mais qu'elle est surtout envisagée comme un instrument de politique étrangère. En guise de rappel historique, et de légitimation technicoéconomique à ce projet, le BRGM joint en annexe au compte-rendu de cette réunion déterminante, un rapport de l'évaluation technicoéconomique de la seule centrale de ce type alors en activité depuis 1954 dans l'ancien Congo belge : « on connaît l'exemple de la centrale Géothermique de Kiabukwa, dans l'ex-Katanga, qui sert depuis 1954 à la production d'électricité pour une mine à partir de deux sources thermales chaudes et froides. Peu d'expériences se sont développées depuis »[1517]. On remarquera qu'il s'agit d'un outil au service de l'exploitation minière par la puissance coloniale.

C'est ainsi que le MAE encourage et finance la première installation de démonstration conjointe entre le BRGM et la SOFRETES (GIE Géowatt) construite en France en 1980-1981 dans la station thermale de Chaudes-Aigues. Une source chaude naturelle à 81°C est couplée avec une boucle thermodynamique de 25 kW pendant 20 h de fonctionnement (un torrent sert de source froide). L'électricité ainsi générée est théoriquement disponible pour la municipalité. Le produit commercial Géowatt, mis au

---

[1514] BRGM, SGN, Département Géothermie, N°51/77, *Compte-rendu de réunion chez SOFRETES du 27 avril 1977*, Orléans 2 mai 1977, archives privées fonds BCD (CEA).
[1515] *Ibid*.
[1516] Lettre de Max Clémot à Jean Rastoin (CEA, DEMT Saclay) du 11 janvier 1980, « Produits Géowatt dans le cadre du VIII[ème] Plan », archives privées fonds BCD (CEA).
[1517] *Ibid* ; ROLLET, A., Académie royale des sciences d'outre-mer, « Centrale géothermique de Kiabukwa – Résultats économiques obtenus », Extrait du *Bulletin des séances*, 1967-4, Bruxelles.

point de 1977 à 1980, est donc une centrale « de production d'énergie décentralisée et autonome »[1518] qui fonctionne dans la gamme des 60-150°C[1519]. Cependant, la conversion des moyennes températures (150 à 300°C) est d'ores et déjà envisagé par le BRGM et la SOFRETES en raison de la présence d'Alsthom-Atlantique dans son capital qui développe notamment un turboalternateur en cours d'installation en Guadeloupe pour l'opération de démonstration à Bouillante[1520].

En 1980, le marché à l'export semble prometteur notamment aux Philippines[1521] où un Plan national géothermie est lancé, « dans l'état de nos connaissances, 800 sources identifiées dont 10-20 % exploitables dès maintenant car demande à proximité, village – décentralisation et autonomie énergétiques »[1522] et grâce aux financements dédiés du Programme 1979 Banque Mondiale – *National Energy Planning* pour PVD »[1523]. Cependant, l'opportunité qui se présente vient de la Thaïlande qui étudie la possibilité de construire une installation dans le district de Fang depuis 1977[1524]. Le MAE et le député maire de Chaudes-Aigues, Pierre Raynal[1525], organisent la visite d'une délégation de l'*Energy Authority of Thailand* (EGAT) à la centrale[1526]. En 1981, un projet de

[1518] Lettre de Max Clémot à Jean Rastoin (CEA, DEMT Saclay) du 11 janvier 1980, « Produits Géowatt dans le cadre du VIII[ème] Plan », archives privées fonds BCD (CEA).
[1519] Fiche produit BRGM-SOFRETES (Géowatt), « Géothermie », 1981, archives privées de Jean-Pierre Girardier ; « Geowatt Geothermal Power Unit for Chaudes-Aigues Implementation », documentation technico-commerciale Géowatt, 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1520] *Ibid*.
[1521] Varet du BRGM écrit en 1981 : « Fort développement en cours aux Philippines, où TOTAL et ALSTHOM cherchent à s'implanter ». Ministère de l'Industrie, Direction générale de l'énergie et des matières premières (DGEMP), Services des matières premières du sous-sol, BRGM, Service géologique national, Département géothermie, *La géothermie à la Conférence des Nations-Unies sur les énergies nouvelles et renouvelables*, Activité française, 1981, annexe 3 « le point sur les activités du BRGM en géothermie à l'étranger et dans les départements français d'Amérique après la CNUCERN à Nairobi (août 1981) de J. Varet – octobre 1981 », p. 27.
[1522] Lettre de Max Clémot à Jean Rastoin (CEA, DEMT Saclay) du 11 janvier 1980, « Produits Géowatt dans le cadre du VIII[ème] Plan », archives privées fonds BCD (CEA).
[1523] *Ibid*.
[1524] RAKSASKULWONG, Manop (Department of Mineral Resources), « Update on Geothermal Utilizations in Thailand », Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
[1525] Pierre Raynal (1920-2008) est député du Cantal (1973-1993). Il fut le député suppléant de George Pompidou en 1969. Il fait partie des premiers soutiens à Valéry Giscard D'Estaing lors de l'élection présidentielle de 1974. https://www.whoswho.fr/decede/biographie-pierre-raynal_5255. Pierre Raynal est maire de Chaudes-Aigues de 1953 à 1995.
[1526] CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010, p. 59 ; Ministère de l'Industrie, Direction générale de l'énergie et des matières premières (DGEMP), Services des matières premières du sous-sol, BRGM, Service géologique national, Département géothermie, *La géothermie à la Conférence des Nations-Unies sur les énergies nouvelles et renouvelables*, Activité française, 1981, annexe 3 « le point sur les activités du BRGM en géothermie à l'étranger et dans les départements français d'Amérique après la CNUCERN à Nairobi (août 1981) de J. Varet – octobre 1981 », p. 33.

coopération technique[1527] s'engage alors entre l'EGAT, le BRGM et la SOFRETES en vue de l'installation d'une centrale géothermique à basse température, alors qu'en parallèle, de nombreuses organisations internationales participent à l'exploration du potentiel géothermique du Nord de la Thaïlande comme l'Agence de coopération japonaise (JICA) et le PNUD[1528]. Le projet fait face à de nombreuses difficultés qui ralentissent sa réalisation et en écartent progressivement la SOFRETES. Principalement car l'entreprise entre dans sa phase de déclin, il s'agit de son dernier grand contrat, et que son partenaire industriel Alsthom-Atlantique mène des actions contre-commerciales (*cf. infra* chapitre 5). Pourtant, dans l'administration, des voix insistent sur l'importance que revêtent le projet et ses potentiels.

En 1982, quelques jours avant la création officielle de l'AFME, Bernard Devin, le Chef du SAI du COMES (l'ancien Chef du projet solaire au CEA, toujours conseiller technique du Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles du CEA) écrit au conseiller économique du Premier Ministre Raymond Barre, Costa de Beauregard[1529] au Conseil Général des Mines[1530]. Il lui propose de mettre à la disposition de certaines opérations de démonstration à l'étranger un fonds de réserve spéciale. Il s'agit d' « actions d'amorçage… Qui n'obéissent pas aux critères usuels de l'aide bilatérale » dont l'objectif est de promouvoir des opérations industrielles qui « n 'ont pas de finalité humanitaire » mais qui doivent servir les intérêts commerciaux de l'entreprise bénéficiaire : « ces opérations sont des éléments démonstratifs d'une nouvelle filière susceptible d'être largement développée dans le pays par un industriel français ou par une société mixte créée en *joint-venture* entre une entreprise nationale et un industriel français… Elles ont

[1527] En 1981, une coopération technique dans le domaine solaire s'engage également entre le CEA et l'Asian Institute of Technology (AIT) de Bangkok sur financements CEA-COMES. Il s'agit notamment de construire une boucle thermodynamique et de tester les capteurs sélectifs du CEA (LEMM du CENG). Contrat COMES-CEA (1982), Assistance technique à l'étranger, fiche AIT/Bangkok, Fiche N°4, Assistance technique en Thaïlande, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245 ; Contrat COMES-CEA, Rapport final, 1981, Convention d'application Assistance technique à l'étranger, Convention N°81430002223, 1er mai 1982, chapitre Thaïlande, rapport non paginé, AFME, répertoire 19940249, carton 245.

[1528] RAKSASKULWONG, Manop (Department of Mineral Resources), « Update on Geothermal Utilizations in Thailand », Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.

[1529] Albert Marie François Xavier COSTA de BEAUREGARD (1942-1987) est polytechnicien ingénieur des Mines (X61). De 1976 à 1981 il est conseiller pour les affaires économiques du premier ministre, Raymond Barre. http://www.annales.org/archives/x/costa.html

[1530] Bernard Devin, *Note à l'attention de Monsieur Costa de Beauregard. Conseil Général des Mines*, 2 avril 1982, 82 SAI 1817, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 231.

donc un caractère de première destiné à ouvrir un marché. »[1531] Devin propose la centrale géothermique basse température en projet en Thaïlande au titre de ces crédits d'amorçage d'autant que l'opération répond à un critère de faisabilité et d'opportunité que lui confère « l'existence d'un accord de coopération bilatéral permettant de valoriser cette opération sur le plan de la politique de l'aide française »[1532].

Mais l'année 1982 est la dernière année réelle d'activité de la SOFRETES, les modalités de sa disparition sont en cours de négociation. Aux vues de la cessation progressive de ses activités, le SAI de l'AFME assure à partir de 1982 une veille internationale des activités thermodynamiques en géothermie basses et moyennes températures[1533]. En effet, si la SOFRETES disparaît, le GIE Géowatt aussi et il devient impossible d'assurer le contrat avec l'EGAT par exemple. Ainsi, une filiale d'ingénierie dans le secteur de la géothermie et de la micro-hydraulique est constituée par l'AFME avec le BRGM[1534]. Jacques Varet[1535], le Sous-directeur à l'Énergie du BRGM, dans une lettre adressée à Bernard Laponche à L'AFME le 30 novembre 1982, s'inquiète du « recul des positions françaises ces derniers temps… » sur les projets géothermiques en Asie du Sud-Est et leurs potentiels[1536]. Il déplore l'échec des initiatives que la BRGM a entreprises auprès du « Ministère de l'Industrie, des Mines et de l'Énergie » ainsi qu'auprès de TOTAL et la SNEA en tant qu'investisseurs qui « avaient manifesté un vif intérêt en 1980, mais cet intérêt est nettement tombé depuis »[1537].

L'avancement du projet de Fang est également rendu plus difficile par le refus d'Alsthom-Atlantique (CGE) de mettre à disposition de son partenaire SOFRETES la

[1531] *Ibid*., p. 2
[1532] *Ibid*., p. 8.
[1533] AFME, Bernard Devin, Note du SAI 83 SAI 1507, 20 mai 1983, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230.
[1534] AFME, SAI, *Les orientations de l'action internationale*, 20 septembre 1982, p 17, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230.
[1535] Jacques Varet est l'interlocuteur de la SOFRETES au BRGM. Voir son article de 2013 : VARET, Jacques, « La géothermie en milieu rural », *Pour*, N°218, 2013/2, pp. 151-164.
[1536] BRGM, J. Varet, Sous-directeur à l'Énergie, lettre adressée à Bernard Laponche, AFME, 30 novembre 1982, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230.
[1537] Ibid. ; En 1981, Varet écrit : « L'année 1981 a été marquée dans ce secteur par un rapprochement à l'initiative du BRGM des principales sociétés opérant dans ce domaine. Outre le BEICIP, avec lequel le BRGM a un accord de coopération en matière d'exploration depuis 1979, de solides contacts ont été établis avec SNEA, ALSTHOM ATLANTIQUE, FORAMINES et CFP ». Ministère de l'Industrie, Direction générale de l'énergie et des matières premières (DGEMP), Services des matières premières du sous-sol, BRGM, Service géologique national, Département géothermie, La géothermie à la Conférence des Nations-Unies sur les énergies nouvelles et renouvelables, Activité française, 1981, annexe 3 « le point sur les activités du BRGM en géothermie à l'étranger et dans les départements français d'Amérique après la CNUCERN à Nairobi (août 1981) de J. Varet – octobre 1981 », p. 27.

turbine adéquate, forçant ainsi l'EGAT à se fournir auprès de l'Israélien Ormat (*cf. supra* chapitre 1), alors qu'Alsthom-Atlantique est le principal fournisseur de turbines conventionnelles à l'EGAT et que la filiale de la CGE est actionnaire de la SOFRETES depuis 1979[1538]. Cette attitude contre-commerciale du fournisseur des moteurs à vis des stations SOFRETES (les compresseurs CIT-Alcatel) est confirmée dans deux documents. Le premier est un mémo de la Direction de la SOFRETES daté du 1er octobre 1980 qui stipule : « je demande à Sofretes de faire une action de la direction envers Alsthom Atlantique pour obtenir que cessent les remises successives répétées des dates de livraison du dit moteur. Malgré les actions répétées de M. Chamot on a l'impression que le partenaire Alsthom ne joue absolument pas le jeu et ne fait rien pour hâter des livraisons vitales pour Sofretes. Je demande à DEMT/SEEN d'examiner d'urgence la possibilité de fournitures de moteurs par Atlas COPCO. Et ce à un niveau suffisant de responsabilité. Il me paraît nécessaire de ne pas se laisser étrangler par Alsthom {souligné}. »[1539] Le second est un document rédigé par Bernard Devin le 5 décembre 1983 alors qu'il est le Chef du SAI de l'AFME (mais toujours un agent du CEA)[1540]. La note, destinée au BRGM et au CEA, explique que la firme suédoise TETAB, qui est active dans le secteur des pompes à chaleur, devait utiliser dans son dispositif des compresseurs à vis Atlas Copco mais que finalement le japonais MYCOM lui a adapté un de ses compresseurs pour le Fréon 12. Aussi, Devin propose au BRGM et au CEA, qui font face aux actions contre-commerciales d'Alsthom-Atlantique (CGE), actionnaire de SOFRETES, et à la liquidation de la SOFRETES, de prendre langue avec TETAB : « suggestion. A l'époque où Alsthom-Atlantique s'en vient en trainant les pieds dans le domaine des micro centrales géothermiques BT, j'ai l'impression que le BRGM pourrait trouver chez TETAB un partenaire pour réaliser les boucles thermodynamiques de la gamme 300 kW – 1 MW. »[1541] Or en 1982, la société japonaise de géothermie *Tone Boring Co.* qui opère à l'étranger pour le compte du ministère de la Coopération nippon (le *Japanese*

[1538] CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010, p. 59.
[1539] Frédéric Caille relève cette citation dans un document qu'il consulte aux archives du site du CEA à Cadarache le 27 juin 2018, dans un carton intitulé « Carton 610, Bakel 1106 (550162) progress report SOF ». Nous n'avons aucune information supplémentaire, ni sur le document, ni sur le carton, ni sur le répertoire, puisque comme nous l'avons explicité dans notre présentation du corpus, le CEA Cadarache a refusé de nous communiquer son répertoire d'archives SOFRETES et que les reproductions sur place nous ont été interdites.
[1540] AFME, SAI, Bernard Devin, *Géothermie MT – Compresseurs/Moteurs à vis*, 5 décembre 1983, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230.
[1541] *Ibid*.

International Cooperation Agency ou JICA) cherche à établir un accord de coopération industriel avec Géowatt pour le développement de projets conjoints, « cet intérêt est sans nul doute lié à leur connaissance des activités GEOWATT en Thaïlande, et à leurs entrées à la Banque Asiatique de développement B.A.D à Manille (Philippines) »[1542]. Au 4 mai 1983, alors que la SOFRETES va être liquidée au début janvier 1984, *Tone Boring Co*. est en négociations avec la Société Nouvelle des Etablissements Mengin (SNEM)[1543], le nouvel avatar juridique des activités de l'usine Mengin qui va survivre à son ancienne filiale solaire[1544]. La solution technique proposée par les Japonais est la même que celle de la SOFRETES. Le JICA a financé la mise au point de deux prototypes de 50 kWe utilisant des compresseurs à vis industriels (avec détente d'un fréon) du fabricant suédois Atlas Copco, détournés de leur fonction initiale et adaptés pour l'occasion[1545]. Souvenons-nous ici que ces compresseurs Atlas Copco sont les mêmes qui furent testés par la SOFRETES et le CEA dans le cadre du programme de R&D DGRST 1976-1978. Mais dans le cas français, ce sont les CIT-Alcatel qui sont retenus et qui sont installés dans les stations mixtes de force motrice SOFRETES et géothermique à Chaudes-Aigues. La concurrence des Japonais est donc féroce, d'autant plus que l'un des industriels soutenus par le JICA est Mikawa, le plus grand vendeur de moteurs à vis dans le monde[1546].

A quelques mois de la liquidation de la SOFRETES, sa proposition sociotechnique géothermique basse température est complétement rattrapée par des acteurs étrangers et abandonnée par les pouvoirs publics français. La chaleur à basse température convertie en électricité à Chaudes-Aigues n'est jamais appliquée et la

[1542] Tone Boring Co. est active au Kenya, aux Philippines, en Indonésie, en Thaïlande, en Birmanie, au Honduras, aux Fidji et en Chine. Document rédigé par Max Clémot à l'attention du CEA, de la SOFRETES, du BRGM et du SAI de l'AFME, *Information concernant action japonaise géothermie moyenne températures (créneau Géowatt)*, 4 mai 1983, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230.
[1543] Voir les chapitres 1 et 2 pour le détail de l'historique administratif de l'entreprise SOFRETES, filiale solaire des Établissements Pierre Mengin. Voir le chapitre 5 pour l'évolution de ce cadre administratif après 1973. La SNEM est créée en 1982 alors que la disparition de la SOFRETES est programmée. La SNEM est une filiale de la maison mère les Établissements Pierre Mengin qui appartient au CEA. La SNEM recouvre les activités traditionnelles de Mengin, à savoir son site industriel (son usine) à Amilly en banlieue de Montargis. En 1982, la SOFRETES a été déménagée au CEA Cadarache.
[1544] *Ibid*.
[1545] *Ibid*.
[1546] *Ibid*.

centrale périclite[1547]. En Thaïlande, la centrale de Fang fonctionne à partir de 1989, mais elle est devenue une installation de la firme israélienne Ormat, aucune mention de son origine SOFRETES n'est visible dans les sources actuelles que nous avons pu consulter, seule le BRGM est mentionné[1548]. Le site est toujours exploité aujourd'hui.

4. L'habitat solaire

Comme nous venons de l'expliciter, les machines de conversion thermodynamique de la chaleur naturelle de la SOFRETES sont conçues comme des complexes de vie collective : une machine et des bâtiments. Les usages quotidiens de l'aménagement peuvent induire un développement socio-économique puisque la station MGS 2-1000 et la station mixte de force motrice offrent la possibilité d'abriter sous leurs capteurs des espaces fonctionnels (agricoles, sanitaires, pastoraux, scolaires, résidentiels, administratifs, etc.)[1549].

[1547] Pierre Brousse, ancien maire de Chaudes-Aigues et George Bartomous, ancien instituteur, créateur du musée de la Géothermie, témoignent au cours de leur entretien avec Frédéric Caille le 9 août 2019 que l'EDF refusa d'utiliser localement l'électricité de la petite centrale SOFRETES alors que celle-ci fonctionnait.

[1548] RAKSASKULWONG, Manop (Department of Mineral Resources), « Update on Geothermal Utilizations in Thailand », Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015 ; BOURDON Erwan, TOURNAYE Dominique, « Géothermie : source d'indépendance énergétique et de développement durable », *Géosciences*, BRGM, 2013, pp.16-25. hal-01060515 ; WOOD *et al.,* « Geologic framework of the Fang Hot Springs area with emphasis on structure, hydrology, and geothermal development, Chiang Mai Province, northern Thailand », *Geothemal* Energy, 2018, 6:3, https://doi.org/10.1186/s40517-017-0087-7 ; https://www.egat.co.th/en/information/power-plants-and-dams?view=article&id=457:fang-geothermal-power-plant&catid=16.

[1549] Par exemple, les capteurs solaires de la station mexicaine de San Luiz de la Paz abritent un lycée dans les années 1990. Témoignage de Jean Avila (juin 2020), technicien-monteur de la SOFRETES, qui, après avoir vécu deux ans sur place de 1975 à 1977 pour assurer le bon fonctionnement de la station après l'avoir installée, retourna à San Luiz de la Paz en 1995.

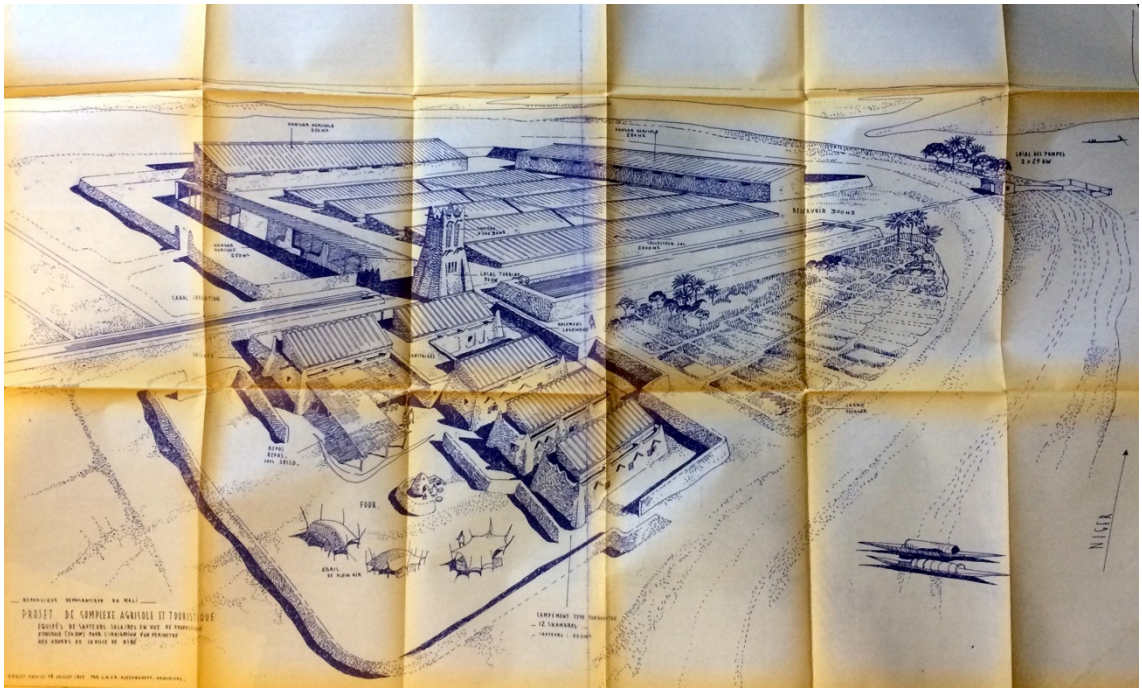


Figure 44 : plan de Georges Alexandroff pour la SOFRETES du complexe solaire agricole de la station mixte de force motrice de Diré au Mali. Archives privées de Georges Alexandroff.

En ce sens, il s'agit donc d'un habitat solarisé. Cependant, cette solarisation précède le bâtiment, qui vient alors se construire par-dessous la charpente métallique de la station de pompage, bénéficiant ainsi d'un effet de climatisation de l'air ambiant sous les capteurs[1550]. L'habitabilité et la solarisation de telles infrastructures, destinées aux populations pauvres des régions arides isolées du tiers-monde, ne permettent cependant pas à la SOFRETES de prétendre offrir un produit « habitat solaire » destiné à la France métropolitaine car il ne répond ni aux mêmes besoins, ni aux mêmes contraintes[1551].

Premièrement, les conditions climatiques des régions françaises situées en zone tempérée impliquent une solarisation de l'habitat qui réponde aux besoins d'eau chaude sanitaire et de chauffage des locaux, secondairement à leur climatisation. Cette dernière intéresse plus particulièrement les régions arides des pays industrialisés tels les USA,

[1550] SOFRETES-GIE Prométhée (CEA), *Rapport technique sur l'utilisation de l'énergie solaire*, 1975, pp. 35-48, archives privées de Jean-Pierre Girardier. Ce document présente les différents plans d'aménagement possibles des espaces bâtis libérés sous les capteurs des stations MS 3, 5 et 7. Ils sont réalisés par l'architecte-conseil de la SOFRETES, Georges Alexandroff, qui a confié ses archives personnelles à l'association PHESO, notamment ses plans originaux des projets SOFRETES. Lire également : ALEXANDROFF, George et Jeanne-Marie, *Architectures et climats*, Paris, Berger-Levrault, 1982, pp. 320-324 ; ALEXANDROFF, Georges, « énergie solaire, intégration et développement », *Aménagement et Nature*, 1976, n°3, pp. 63-64.

[1551] ALEXANDROFF, Jeanne-Marie, « L'intégration de l'énergie solaire dans l'habitat tempérée », *Aménagement et Nature*, 1976, n°3, pp. 55-56.

l'Australie ou Israël par exemple (donc un produit à l'export pour l'industrie française). Deuxièmement, l'urbanisme y intègre (et normalise) l'habitat aux réseaux centralisés d'adduction d'eau, d'électricité et de gaz, sans qu'il existe par ailleurs de « droit au soleil »[1552]. Enfin, la volonté politique de favoriser la pénétration de l'électricité dans les foyers passe par des mesures incitatives et réglementaires en faveur du chauffage électrique, surtout à partir de l'accélération du programme électronucléaire national de 1973-1974[1553]. Pour la SOFRETES, qui souhaite développer une offre d'habitat solaire, la sociotechnique à proposer doit donc être différente de celle qu'elle vend aux opérations de coopération à l'étranger si elle veut espérer initier un marché ou plutôt être recevable par les acteurs dominants du marché de la chaleur en 1973-1974[1554].

Il ne peut donc pas être question pour les pouvoirs publics, l'EDF et les pétroliers, de promouvoir une sociotechnique dans l'habitat solaire qui repose sur l'appropriation, l'autonomie gestionnaire et la décentralisation énergétique. C'est pourquoi la SOFRETES et ses partenaires se lancent dès 1974 dans des recherches dont l'objectif est la conception d'un dispositif de chauffage solaire des locaux, de l'eau sanitaire et de

---

[1552] Sur le droit au soleil et sur l'histoire des propositions alternatives pour un habitat déconnecté voir : CAILLE Frédéric, BADJI Mamadou (dir.), *Du soleil pour tous : l'énergie solaire au Sénégal : un droit, des droits, une histoire*, Québec (Québec), Éditions science et bien commun [esbc], Environnement, 2018 ; BAILLEUL, David (dir.), *L'énergie solaire, aspects juridiques*, Chambéry, Université de Savoie, 2010 ; SANCY, Mary, « L'énergie solaire et le droit : analyse de droit comparé, éléments pour l'élaboration d'un système juridique cohérent favorisant le recours à cette forme d'énergie », thèse de doctorat, droit de l'environnement, sous la direction de DE BACKER, Luc, Fondation Universitaire Luxembourgeoise ; 1994 ; LOPEZ, Fanny, *op. cit*., 2014 ; intervention de Patrick CRIQUI dans KAHN, Philippe, *op. cit*., 1979, p. 404 ; SPIRE, Arnaud, « Energie : sens et contresens », *Fondation Gabriel Péri*, *Nouvelles FondationS*, n°6, 2007/2, pp. 40-44 ; FRACHON Olivier, VAKALOULIS Michel, *Le Droit à l'énergie*, Paris, Syllepse, 2002.

[1553] Tout cela est bien connu et la littérature est abondante. Nous avons d'ailleurs déjà mentionné certains travaux récents qui font le point sur l'histoire des politiques publiques en matière d'habitat solaire comme la thèse de Chauvin-Michel. CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op. cit*., 2012.

[1554] Maryse Arditi, physicienne nucléaire et militante écologiste, confirme en entretien que l'objectif de l'EDF est bien en 1973-1974 de s'emparer du marché de la chaleur, notamment dans l'habitat, et ce, au mépris des règles élémentaires de la physique qui délégitiment complètement la conversion d'électricité en chaleur du point de vue du rendement (ce que Jean Syrota dénonce également, *cf. supra* introduction de la partie II). A cela s'ajoute le fait que l'électricité nécessaire au chauffage des locaux ne peut pas être stockée. Ce qui, par la force des choses, rend encore plus absurde le mixte électrique-solaire, puisqu'il s'agit de deux énergies de flux, donc par nature difficilement complémentaires. Pour elle, comme pour de nombreux acteurs de l'époque qui soutiennent un référentiel solaire alternatif, il convient d'abord de légiférer pour créer un urbanisme fondé sur un droit au soleil avant de solariser une architecture qui est en l'état non-adaptée à la récupération de la chaleur naturelle directe et qui n'autorise au final qu'une instrumentation solaire dont le caractère accessoirisé ne permet pas l'exploitation du potentiel à la différence d'une architecture bioclimatique que seul un urbanisme spécifiquement solaire pourrait soutenir. Les époux Alexandroff soutiennent cette thèse tout au long de leur ouvrage séminal, ALEXANDROFF, George et Jeanne-Marie, *Architectures et climats*, Paris, Berger-Levrault, 1982. Lire aussi BARBER, Daniel A., *A House in the Sun : Modern Architecture and Solar Energy in the Cold War*, New York, Oxford University Press, 2016.

climatisation, mais qui intègre également une seconde source d'énergie, l'électricité ou le gaz. L'architecture n'est donc que très partiellement solaire, ce qui traduit et renforce le volet solaire du référentiel de la politique publique de l'Équipement dans le secteur du logement. En effet, toutes les opérations de démonstration d'habitat solaire organisées par les pouvoirs publics, et celles auxquelles la SOFRETES participe, posent comme prémices que l'appoint d'une seconde source est nécessaire et que celle-ci se doit d'être d'abord électrique. Le chauffage solaire est considéré comme incapable de fournir à lui seul la capacité nécessaire en période de pointe lorsque les conditions météorologiques sont mauvaises, notamment en hiver[1555]. Le coût de l'habitat ainsi conçu cumule donc les coûts de fabrication et de fonctionnement de la solarisation et de l'électrification[1556]. Cette double charge, présentée comme inéluctable, permet de disqualifier la solarisation de l'habitat et de soutenir la demande d'électricité et de gaz aux termes d'une analyse coûts/bénéfices simpliste qui repose sur des opérations de démonstration au moyen de maisons prototypiques très controversées car d'abord conçues comme des instruments de mesure et non comme des espaces vécus dans le temps long[1557]. Une attitude des pouvoirs publics et une méthode d'évaluation et de sélection des inventions technologiques

[1555] Michèle d'Ornano, alors ministre de l'Environnement et du Cadre de vie en 1980, rappelle les conditions que doivent réunir les propositions de maisons solaires pour être retenues dans le cadre du concours « 5000 maisons solaires » organisé par le gouvernement : « au moins 30 % de leur consommation énergétique assurée par le solaire ». Préface de l'ouvrage : ministère de l'Environnement et du Cadre de vie, COMES-Plan construction, *Projets pour 1000 maisons solaires*, Éditions du Moniteur, 1981, p. 5. Le concours « 5000 maisons solaires » est organisé par le ministère de l'Environnement et du Cadre de vie, le COMES et le Plan construction. Il est divisé en deux phases, la première sur 1980 est rebaptisée « 1000 maisons ». Parmi les 7 projets lauréats et les 22 agréés par le ministère de l'Urbanisme et du Logement la quasi-totalité des prototypes proposent un chauffage électrique, dont trois maisons du groupe CGE *via* sa filiale d'habitat solaire Noverleg (Dalhlia pp. 49-53, Diogène pp. 55-59, La Phénicie pp. 67-71). Les maisons solaires d'ELF (Plexus p. 156-161) et de la CFP (RMS, pp. 109-113) préfèrent le gaz.

[1556] Un document publié aux États-Unis en 1976 et repris par l'EDF en 1977 fait remarquablement le point sur cet aspect : SPENCER F., Dwain, *L'énergie solaire vue sous l'angle d'une compagnie d'électricité*, Électricité De France, Direction de l'équipement, Information et Communication, J 25, Publié aux États-Unis en 1976, France, Paris, 1977, pp. 8-9.

[1557] BERGER Xavier, SCHNEIDER Michel, « Les recherches en habitat solaire », *in* HERLEA, Alexandre, *op. cit*., 1995, p. 75. Lire surtout la thèse de Chauvin-Michel, notamment au chapitre 3, le compte-rendu de ses recherches sur l'opération de démonstration de l'EDF à Aramon et au Havre (1974-1978). CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op. cit*. 2012, pp. 116-190. L'auteur relève l'avis de George Alexandroff qui dénonce un habitat dénaturé car seulement dévolu aux mesures. Maryse Arditi témoigne dans son courriel du 21 avril 2018 que les prototypes de l'EDF étaient en plus construits avec des matériaux plus chers que nécessaire afin d'en augmenter le prix : « il faut bien comprendre qu'on était en 1975-1980 en pleine période de choc pétrolier (11/73), que l'État venait de décider le lancement d'un programme nucléaire démesuré et que l'EDF avait bien compris qu'elle devait très rapidement se placer sur le marché de la chaleur. Elle expliquait à l'époque que pour chauffer une maison, une maison bien isolée chauffée à l'électricité ne coutait pas plus cher qu'une maison pas isolée chauffée au fuel. Donc EDF était contre (d'ailleurs elle a fait un prototype en prenant tous les produits les plus chers du marché pour démontrer que le résultat était hors de prix). ». Lire également l'intervention de SERRE dans KAHN, Philippe, *op. cit*.,1979, p. 405.

énergétiques que l'économiste Jacques Percebois dénonce avec force dans certains de ces travaux[1558] qu'il publie en 1976 aux côtés des époux Alexandroff, les architectes-conseils de la SOFRETES et précurseurs de l'architecture solaire en France[1559] :

> Le problème de la rentabilité économique de technologies nouvelles, énergétiques en particulier, ne saurait en outre être posé dans l'abstrait à un moment donné, sans tenir compte des stratégies favorables ou défavorables des agents économiques qui directement ou indirectement sont à l'origine de décisions qui font que telle solution apparaît comme la plus rentable parce que correspondant le mieux aux intérêts mis en jeu. L'économie n'est pas un champ d'application de forces équivalentes, c'est un lieu de conflits et dans ce sens la stratégie des États et celle des compagnies énergétiques privées ou publiques ne sauraient être ignorées[1560].

Nonobstant ces considérations qui font plutôt office de forces centrifuges sur les possibles sociotechniques dans l'habitat solaire, la SOFRETES et ses architectes conseils envisagent tout de même, dans ce cas de figure où la solarisation ne préexiste donc pas au bâti, de concevoir une véritable architecture solaire au sens où cet habitat nouveau prévoit l'instrumentation solaire et l'espace bâti comme un tout homogène : « les moyens de captage-stockage et l'espace bâti sont conçus et réalisés simultanément, en symbiose complète, aboutissant à un véritable design homogène incluant la prise en compte de toutes les contraintes et possibilités au niveau du groupement, des éléments architecturaux et de la construction. »[1561]

Plusieurs opérations de démonstration sont menées en France de 1974 à 1981, avec différents partenaires techniques, industriels et commerciaux (voir le tableau des installations p. 346), principalement l'EDF, Gaz de France et la CFP-Total[1562].

[1558] Pour Percebois : « La technologie solaire est une technologie économiquement rentable et socialement désirable dès aujourd'hui pour certaines applications décentralisées (cf. l'habitat) à condition de procéder à une analyse coûts-avantages complète ». PERCEBOIS, Jacques, « Réflexions sur quelques aspects économiques du recours à des technologies énergétiques nouvelles », *Aménagement et Nature*, 1976, n°3, p. 66.

[1559] Pour rappel Georges et Jeanne-Marie Alexandroff sont présents aux côtés de Jean-Pierre Girardier depuis l'opération Chinguetti. C'est Georges Alexandroff qui en conçoit les capteurs *canalétas* (*cf. supra* chapitre 2). Lire le chapitre 2 « Les pionniers de l'architecture solaire en France » de la thèse de Chauvin-Michel sur les Alexandroff (p. 66-73) ainsi que le passage (pp. 205-216) sur leurs travaux de recherches (de 1974 à 1979) financés par le Plan construction du ministère de l'Équipement dont leur ouvrage séminal de 1982 rend compte. ALEXANDROFF, George et Jeanne-Marie, *Architectures et climats*, Paris, Berger-Levrault, 1982. On peut consulter les références des brevets industriels déposés par Georges Alexandroff de 1970 à 1983 dans notre section « sources ».

[1560] PERCEBOIS, Jacques, *op. cit.*, 1976, p. 65.

[1561] ALEXANDROFF, George et Jeanne-Marie, *Architectures et climats*, Paris, Berger-Levrault, 1982, p. 322.

[1562] D'autres opérations de démonstration d'habitat solaire sont menées au sein de la CEE. En 1981, un rapport sur 31 projets de maisons solaires est diligenté par la DG XII de la Commission européenne, la *Conference on the Challenge of Modern Society* de l'OTAN et l'Agence internationale de l'énergie. Les

En janvier 1974, « à l'initiative du Ministère de la Protection de la Nature et de l'Environnement, avec la participation du Ministère du Développement Industriel et Scientifique, une expérimentation de maisons à chauffage solaire est en cours »[1563]. L'EDF s'associe à cette opération et l'ANVAR (qui est actionnaire de SOFRETES) est le maître d'œuvre du projet, accepté par le Comité Interministériel d'Action pour la Nature et l'Environnement du 22 avril 1974[1564].

La SOFRETES et les Alexandroff sont désignés par les pouvoirs publics pour participer à l'équipement des cinq maisons solaires de l'EDF à Aramon dans le Gard[1565]. Les capteurs solaires que la SOFRETES installe sur leurs toits sont les mêmes que ceux utilisés dans les stations de pompages sahéliennes. Ils sont retenus par l'EDF au début de l'année 1975 après des essais menés au laboratoire des Renardières à partir d'octobre 1974 sur une première sélection de propositions de constructeurs (pour le Havre ce sont les capteurs CERCA qui sont choisis)[1566]. Les maisons sont donc solarisées par instrumentation, c'est-à-dire par simple ajout d'un dispositif et non pas conçues comme un bâtiment à l'architecture solaire. Comme nous l'avons écrit précédemment, cette opération de démonstration (Aramon-Le Havre) est particulièrement controversée, notamment en raison d'une seconde opération, menée en parallèle par l'EDF, où l'entreprise publique installe, dans l'enceinte même de la centrale thermique d'Aramon,

opérations françaises initiées par les pouvoirs publics, notamment celles d'Aramon et de Blagnac auxquelles participent la SOFRETES, sont présentées. PALZ W., STEEMERS T.C., *Solar Houses in Europe*, « Reports on 31 projects », Chapter 7, 1981, pp. 80-303.

[1563] Rapport « Historique des expérimentations du Havre et d'Aramon », p. 1., document joint au dossier EDF, Direction des études et recherches, Service applications de l'électricité et environnement, Département applications de l'électricité, Centre des Renardières, Ph. CHOUAR, « Le Havre et Aramon : synthèse d'une année d'exploitation des maisons solaires », 3 janvier 1978, archives privées de Georges Alexandroff.

[1564] *Ibid*. p.1.

[1565] Rapport technique et commercial de la SOFRETES, *L'énergie solaire et la maison individuelle*, 1977, archives privées de Djelal Nerguti ; Catalogue commercial de la SOFRETES, *SOFRETES-MENGIN leader mondial de l'industrie solaire*, 1981 ; Photographies des réalisations d'habitat solaire de la SOFRETES, archives privées fonds BCD (CEA) ; MICHEL H., SIMON M.F., « Deux expériences : Aramon – Le Havre », *Aménagement et Nature*, 1976, N°3, pp.45-47 ; EDF, Direction des études et recherches, Service applications de l'électricité et environnement, Département applications de l'électricité, Centre des Renardières, Ph. CHOUAR, « Le Havre et Aramon : synthèse d'une année d'exploitation des maisons solaires », 3 janvier 1978, archives privées de Georges Alexandroff ; CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op. cit*., 2012, pp. 126-136.

[1566] Rapport « Historique des expérimentations du Havre et d'Aramon », pp. 5-6, document joint au dossier EDF, Direction des études et recherches, Service applications de l'électricité et environnement, Département applications de l'électricité, Centre des Renardières, Ph. CHOUAR, « Le Havre et Aramon : synthèse d'une année d'exploitation des maisons solaires », 3 janvier 1978, archives privées de Georges Alexandroff.

trois maisons, étalons de mesure, à chauffage solaire intégral, sans appoint électrique[1567]. Chauvin-Michel explique que ces opérations sont déclarées être des échecs financiers et techniques mais que les archives sont aujourd'hui peu nombreuses, voire absentes[1568]. Selon elle, une seule campagne de mesure est connue (de janvier à juin 1976, au lieu des deux ans annoncés)[1569]. Nous avons néanmoins retrouvé un rapport de l'EDF daté de janvier 1978 qui fait la synthèse des expériences solaires du Havre et d'Aramon après une année d'exploitation (1976-1977)[1570]. Sans surprise, le rapport disqualifie bien ses expériences en raison de leurs surcoûts, d'une période d'amortissement très long (peut-être 25 ans) et de défaillances techniciennes (fuites, etc.)[1571].

En 1975, les époux Alexandroff[1572] et leur ancien élève Alain Liébard, les architectes-conseils de la SOFRETES et du CEA, conçoivent un capteur à ruissellement et un bloc thermique ventilé pour l'habitat solaire[1573]. Ce nouveau dispositif d'architecture solaire est expérimenté en 1976 dans le cadre d'une opération de démonstration (à la suite du concours Habitat Original par la Thermique – HOT, de 1975) au moyen de pavillons HLM construits avec GDF à Toulouse-Blagnac[1574]. L'objectif de

[1567] CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op. cit*., 2012, pp. 127 et 132-136.
[1568] *Ibid*., pp. 128-129 et 132-136.
[1569] *Ibid*.
[1570] EDF, Direction des études et recherches, Service applications de l'électricité et environnement, Département applications de l'électricité, Centre des Renardières, Ph. CHOUAR, « Le Havre et Aramon : synthèse d'une année d'exploitation des maisons solaires », 3 janvier 1978, archives privées de Georges Alexandroff. Le dossier EDF conservé dans les archives Alexandroff contient également un récapitulatif historique des expérimentations.
[1571] Voir notamment le « Bilan technico-économique », *Ibid*., pp. 41-42.
[1572] Les époux Alexandroff déposent de nombreux brevets d'habitat solaire (voir notre section « sources ») comme en 1975 : brevet de George et Jeanne-Marie Alexandroff, « habitation à chauffage solaire », N°7513001, déposé le 25 avril 1975, le mandataire est l'ANVAR.
[1573] Rapport technique et commercial de la SOFRETES, *L'énergie solaire et la maison individuelle*, 1977, pp. 8-11, archives privées de Djelal Nerguti ; Fiche produit habitat solaire SOFRETES, « Capteur à ruissellement et bloc thermique ventilé, pour le chauffage des bâtiments », 1981 ; Brevet d'Alain Liébard, « Capteur solaire à ruissellement », N°7523930, déposé le 31 juillet 1975 et brevet d'Alain Liébard, « Système de chauffage solaire, notamment pour une habitation », N°7706221, déposé le 3 mars 1977, il semblerait qu'une controverse sur la propriété de ces brevets existe car un rapport du CEA-GDF stipule qu'ils sont une copropriété intellectuelle de SOFRETES, Liébard et Alexandroff. CEA, GDF, *Étude pour un immeuble à chauffage solaire – gaz et à stockage solaire de longue durée*, Rapport de synthèse destiné au ministère de l'Environnement et du Cadre de vie, Plan construction, 6 avril 1977, p. 83. Il est intéressant de faire remarquer que le pétrolier national ELF dépose également un brevet industriel similaire *via* BREVATOME du CEA (Société française pour la gestion des brevets d'application nucléaire) : Brevet d'ELF-UNION, « Capteur solaire à ruissellement », N°7635345, déposé le 24 novembre 1976, mandataire BREVATOME (CEA) et brevet d'ELF-UNION, « Capteur solaire à ruissellement », N°7635345, déposé le 18 novembre 1977, mandataire BREVATOME (CEA).
[1574] Rapport technique et commercial de la SOFRETES, *L'énergie solaire et la maison individuelle*, 1977, p. 26, archives privées de Djelal Nerguti ; CEA, GDF, *Étude pour un immeuble à chauffage solaire – gaz et à stockage solaire de longue durée*, Rapport de synthèse destiné au ministère de l'Environnement et du

GDF est de rechercher les meilleures possibilités d'utilisation du gaz comme énergie complémentaire[1575]. En 1977, GDF mène des travaux additionnels dans son laboratoire solaire de la Direction des études et techniques nouvelles de GDF dans le cadre d'une convention GDF-Totalgaz-SOFRETES[1576]. De 1979 à 1981, la SOFRETES, en collaboration avec des promoteurs immobiliers (SARL Occitane de promotion et Les Maisons Phénix), construit des pavillons équipés de ce dispositif de chauffage avec appoint électrique et un lotissement solaire avec appoint au gaz[1577].

En parallèle, le SEEN du CEA étudie depuis 1976, en collaboration avec les Alexandroff et Liébard, un système de stockage de longue durée de l'énergie solaire appliqué à l'habitat (pour les basses températures, inférieures à 120°C)[1578]. Pour le CEA, cet axe de recherche correspond à une application particulière (la récupération de la chaleur solaire)[1579] dérivée de ses recherches sur la récupération de la chaleur sensible d'origine industrielle et plus précisément celle émise par les réacteurs électronucléaires dont il convient d'évaluer l'impact sur l'économie du chauffage nucléaire, notamment son interdépendance avec les centrales à fuel en période de pointe[1580]. La faisabilité

Cadre de vie, Plan construction, 6 avril 1977, p. 3 ; CHAUVIN-MICHEL, Marion, 2012, *op. cit*., pp. 139-149 et pp. 161-168 ;

[1575] CEA, GDF, *Étude pour un immeuble à chauffage solaire – gaz et à stockage solaire de longue durée*, Rapport de synthèse destiné au ministère de l'Environnement et du Cadre de vie, Plan construction, 6 avril 1977, p. 3.

[1576] Rapport technique et commercial de la SOFRETES, *L'énergie solaire et la maison individuelle*, 1977, pp. 11 et 27, archives privées de Djelal Nerguti.

[1577] Voir tableau des installations SOFRETES p. 346. Les Maisons Phoénix construisent des pavillons dans la région nantaise. Le lotissement de 34 maisons, « La Roubeyrolle », de la SARL Occitane de promotion, est situé à côté de Montpellier à Jacou.

[1578] CEA, *Énergie solaire R&D*, fiche produit, « Stockage d'énergie thermique en chaleur sensible pour systèmes solaires », 1979, archives privées de Georges Alexandroff. Ce document du CEA fait le point sur tous les dispositifs de stockage de la chaleur solaire et leurs domaines d'applications mis au point au CEA. Voir aussi : CEA, GDF, *Étude pour un immeuble à chauffage solaire – gaz et à stockage solaire de longue durée*, Rapport de synthèse destiné au ministère de l'Environnement et du Cadre de vie, Plan construction, 6 avril 1977, p. 3 ; CEA-CEN Saclay-SEEN, « Bassin de stockage de longue durée de l'énergie solaire », communication de TORRENTI aux Journées solaires de Nice du 14 avril 1977 ; Fiche produit habitat solaire SOFRETES, « Capteur à ruissellement et bloc thermique ventilé, pour le chauffage des bâtiments », 1981.

[1579] Le CEA travaille également avec Georges Alexandroff sur un dispositif destiné à l'habitat de captage de la chaleur solaire par semi-concentration. CEA-DTCE-SEEN, « Proposition de recherche relative à l'utilisation des énergies nouvelles dans l'habitat, thème 4, sous thème 1, captation de l'énergie solaire », 1977, archives privées de Georges Alexandroff ; Contrat de travail du 13 juillet 1977 entre le CEA et Georges Alexandroff dont l'objet est : « Étude de l'intégration architecturale d'éléments de toiture utilisés comme concentrateurs », archives privées de Georges Alexandroff.

[1580] A propos de la réflexion engagée par le CEA et ELF sur l'impact du stockage de la chaleur d'origine électronucléaire sur l'économie du chauffage nucléaire, voir : CHARROPIN P., FAUCONNIER J.-C., DESPOIS J., NOUGAREDE F., « Stockage souterrain de chaleur en nappe captive. Aspects techniques. Influence du stockage sur l'économie du chauffage nucléaire », Communication présentée à l'International Total Energy Congress, Copenhague 4-8 octobre 1976, archives privées de Georges Alexandroff.

technique et l'intérêt économique d'un tel dispositif de stockage de longue durée de l'énergie solaire appliqué à l'habitat est établi pour le chauffage solaire de logements groupés grâce à un réservoir enterré de stockage saisonnier[1581]. Une réalisation expérimentale est menée sur le site du CEA Cadarache[1582]. C'est ainsi qu'en 1977, le CEA et GDF, proposent au Plan construction du ministère de l'Environnement et du Cadre de vie une opération de démonstration pour un immeuble collectif d'une vingtaine de logements à Toulouse, équipé du système de capteurs solaires à ruissellement et bloc thermique ventilé (construit et installé par la SOFRETES), d'un appoint au gaz et du système de stockage inter-saisonnier ECOSTOC[1583]. Le brevet du dispositif de chauffage mixte solaire-gaz correspondant à l'opération est déposé par la SOFRETES, Totalgaz et GDF en 1979[1584]. L'immeuble de Toulouse-Blagnac est inauguré en 1981[1585]. Selon Chauvin-Michel et les Alexandroff, le bâtiment est délaissé après quelques mois d'utilisation sans que nous ayons réussi à en identifier clairement les raisons[1586].

[1581] CEA, GDF, *Étude pour un immeuble à chauffage solaire – gaz et à stockage solaire de longue durée*, Rapport de synthèse destiné au ministère de l'Environnement et du Cadre de vie, Plan construction, 6 avril 1977, p. 3. Des différents systèmes conçus par le CEA, deux sont proposés par la SOFRETES en 1981. Le premier concerne le chauffage-stockage d'un immeuble qui intègre le dispositif dans son architecture solaire (opération de Blagnac-immeuble HLM). Le second propose une centrale solaire de chauffe construite indépendamment des bâtiments avec un appoint électrique ou au gaz. Les capteurs plans horizontaux et le volume de stockage enterrés sont disposés à distance des logements. Ce dernier dispositif est plutôt adapté à des pavillons individuels dans un lotissement, qui seraient alors reliés à la centrale par des canalisations. Fiche produit habitat solaire SOFRETES, « Centrales de chauffe pour habitations collectives et ensemble de pavillons individuels », 1981.

[1582] CEA-CEN Saclay-SEEN, *Conception et réalisation d'un réservoir de stockage d'eau chaude sur le site du CEN Cadarache*, document classé en diffusion restreinte, septembre 1978, archives privées de Georges Alexandroff ; CEA, *Énergie solaire R&D*, fiche produit, « Stockage d'énergie thermique en chaleur sensible pour systèmes solaires », 1979, archives privées de Georges Alexandroff.

[1583] Le projet est déposé le 10 février 1977. CEA, GDF, *Étude pour un immeuble à chauffage solaire – gaz et à stockage solaire de longue durée*, Rapport de synthèse destiné au ministère de l'Environnement et du Cadre de vie, Plan construction, 6 avril 1977. ECOSTOC est une association créée entre le CEA et la Société Routière Colas dont l'objet est le développement technique et commercial des dispositifs de stockage de la chaleur solaire conçus au CEA. CEA, *Énergie solaire R&D*, fiche produit, « Stockage d'énergie thermique en chaleur sensible pour systèmes solaires », 1979, archives privées de Georges Alexandroff. Fiche produit habitat solaire SOFRETES, « Capteur à ruissellement et bloc thermique ventilé, pour le chauffage des bâtiments », 1981.

[1584] Brevet de SOFRETES, TOTALGAZ, Gaz De France (GDF), « Procédé perfectionné de chauffage de locaux avec ou sans production d'eau chaude sanitaire, par de l'énergie solaire avec une autre source d'énergie et récupération, et installation comportant application de ce procédé », déposé le 12 mars 1979, N°7906290.

[1585] Voir le reportage au JT régional de Toulouse du 21 mars 1981 https://sites.ina.fr/cop21/carto/!/media/RBC99007979 et lire C.L., « Stockage longue durée pour une HLM solaire », *Le Monde*, 10 octobre 1981, https://www.lemonde.fr/archives/article/1981/10/10/stockage-longue-duree-pour-une-h-l-m-solaire_2708922_1819218.html

[1586] CHAUVIN-MICHEL, Marion, *op. cit*., 2012, p. 166.

La diversification de la SOFRETES dans l'habitat solaire ne concerne pas seulement le chauffage des locaux. Elle se prolonge également dans son programme de R&D (soutenu par la DGRST en 1976) par un volet climatisation, c'est-à-dire de froid-solaire appliqué à l'habitat. C'est l'objectif du partenariat technique engagé entre la CFP-Total (filiales Total Énergies Nouvelles, Total Moyen-Orient et Total Afrique) et la SOFRETES qui vient compléter les expérimentations sur la réfrigération menée avec Technigaz. Le programme de R&D initial précise qu'il ne s'agit pas d'instrumenter, au sens restreint, un logement conventionnel avec un appareillage qui génère du froid, mais bien de définir une architecture solaire du froid avec tous les moyens actifs et passifs disponibles et pas seulement une machine[1587].

La maison individuelle de type familiale d'environ 200 m^2 alors à l'étude est simulée à 20° de latitude Nord (avoisinant le tropique du Cancer), ce qui correspond au Sahel et à la localisation des pays pétroliers du Golfe[1588]. D'ailleurs, en 1975, au moment de la définition du programme de R&D climatisation, la CFP-Total envisage de construire une maison expérimentale à Abu Dhabi aux EAU[1589]. Un choix qui peut s'expliquer par la conjonction de plusieurs facteurs. Premièrement, la zone aride est l'espace dédié aux activités de la SOFRETES en raison des conditions climatiques et sociales favorables à sa proposition sociotechnique. Deuxièmement, la CFP-Total assure dans les Émirats du Golfe l'approvisionnement en brut et en gaz de la France. Troisièmement, la nécessité d'entretenir des relations privilégiées avec les EAU face aux enjeux de la sécurisation des importations d'hydrocarbures peuvent recouvrir les intentions solaires très conjoncturelles (post choc pétrolier/écologie/environnementalisme) de la CFP-Total car sa participation aux affaires de la SOFRETES (actionnaire à 20 % en juin 1975) lui offre un levier commercial intéressant dans ses relations et ses négociations avec les gouvernements des pays exportateurs de brut et de gaz[1590]. C'est vraisemblablement

[1587] SOFRETES, *Rapport d'activité 1976 pour la DGRST*, 15 avril 1977, section II G p.1, archives privées fonds usine Mengin,

[1588] Deux hypothèses sont envisagées : les zones climatiques continentales sèches et leurs pendant côtier humides. Les conditions intérieures recherchées ne correspondent pas aux standards américains, c'est-à-dire à ceux des régions arides riches, qui privilégient des très importants écarts de températures entre l'intérieur et l'extérieur. La maison SOFRETES-TOTAL envisage des écarts thermiques et hygrométriques plus raisonnables (par exemple 25° int./30°C ext. ou 32°/45°C). *Ibid*.

[1589] *Ibid*., section II p. 6.

[1590] Notamment pour contrer les offres de séduction solaires concurrentes comme celles des Japonais alors que la CFP-Total inaugure un terminal GNL à Abu Dhabi en 1973 destiné prioritairement à l'exportation du gaz au Japon où il est brulé dans les centrales thermiques de *Tokyo Electric Power* pour générer de l'électricité. https://wiki.totalenergies.com/fr/pays/emirats-arabes-unis

pourquoi, après avoir offert une serre solaire à Abu Dhabi, une station de pompage intégrée MGS 2-1000 y est installée en 1976. Cette opération solaire semble s'intégrer dans une opération plus vaste de développement agricole lancée en 1971 dans l'émirat[1591]. Enfin, les relations diplomatiques entre la France et les Émirats du Golfe prennent un aspect nouveau au moment de la restructuration des relations politico-énergétiques du début des années 1970. Jusque-là, la CFP-Total assurait le relais des intérêts français auprès des gouvernements, or ce rôle d'intermédiaire se trouve modifié par la création d'ambassades de France, comme celle d'Abu Dhabi en 1974 et la signature d'accords de coopération culturelle et technique le 3 juillet 1975[1592]. Autant d'éléments contextuels favorables à l'instrumentalisation des objets solaires SOFRETES, et donc pourquoi pas à une maison climatisée, surtout si elle privilégie un appoint au gaz.

La conception et la réalisation de la maison prototypique dure trois ans (1976-1978). Le projet initial est modifié. Techniquement, « la solution choisie prévoit l'utilisation d'une machine à absorption de type hermétique produisant de l'eau glacée qui alimente des appareillages standard de climatisation (ventilo-convecteurs) »[1593]. Il s'agit de connecter, en amont, une boucle originale source chaude-source froide à une machine à absorption, sur, en aval, un objet industriel existant sur le marché de la climatisation. Le dispositif prévoit donc des capteurs solaires, deux stockages (eau chaude et eau froide), une tour d'évaporation (le condenseur) et la machine à absorption (ce n'est pas un système thermodynamique à compression). Les capteurs en toiture sont les mêmes que ceux de la centrale de Diré. Il faut préciser que de l'eau chaude sanitaire est prévue. Il ne semble donc pas qu'il soit question au départ de système d'appoint au gaz de pétrole. L'architecture solaire doit être passive autant que le permet le dispositif actif et

[1591] Le centre expérimental agricole est achevé en 1982. https://wiki.totalenergies.com/fr/pays/emirats-arabes-unis

[1592] KLEIN Laurent, KLEIN Brigitte, « Chronologie des faits internationaux d'ordre juridique — 1975 », *Annuaire français de droit international*, Volume 21, 1975, p. 1116 ; WURSTHORN, Kévin, « La France et les enjeux pétroliers dans le Golfe persique de 1974 aux années 1980, *IRICE-Bulletin de l'Institut Pierre Renouvin*, n°35, 2012, p. 1 ; « Le président Giscard d'Estaing propose une nouvelle réunion des pays concernés par le problème de l'énergie », Le Monde, 5 juillet 1975 ; https://www.elysee.fr/valery-giscard-d-estaing/1975/07/03/allocution-de-m-valery-giscard-destaing-a-loccasion-du-diner-offert-en-lhonneur-de-son-altesse-cheikh-zayed-ben-sultan-al-nahayan-president-de-letat-des-emirats-arabes-unis-palais-de-lelysee-jeudi-3-juillet-1975 ; L'émir D'Abu Dhabi, Zayed, est l'artisan de la construction de la fédération des EAU dont la création est soutenue par le Président VGE. Voir per exemple : TAUBE, Michel, *La face cachée des Émirats Arabies Unis*, Paris, Cherche Midi, 2019 ; SAINT-PROT, Charles (dir.), *Géopolitique des Émirats Arabes Unis*, Paris, Karthala, 2019, p. 32 ;

[1593] SOFRETES, *Rapport d'activité 1976 pour la DGRST*, 15 avril 1977, section II G p. 3, archives privées fonds usine Mengin.

inversement. La maison est composée de deux modules triangulaires isolés en béton (logements et bureaux) équipés de deux circuits, ce qui permet de climatiser le logement 24 h sur 24 h et les bureaux sur une période plus courte. Le site d'Abu Dhabi est abandonné au profit de Sophia Antipolis à Nice[1594]. La maison bénéficie ainsi de la visibilité et du crédit scientifique que lui offre cette localisation dans le premier et prestigieux technopôle français. Dans le rapport de 1977 sur les avancées du programme de R&D DGRST (1976-1978), le prototype devient une maison chauffée en plus d'être climatisée, mais il n'est toujours pas mentionné d'appoint au gaz[1595]. La maison est désormais équipée des capteurs sélectifs, ceux mis au point par le CEA pour la nouvelle génération de stations mixtes de force motrice de la SOFRETES. Il faut attendre 1978 pour obtenir un document qui clarifie tous les aspects de la maison CLImatisation SOLaire Total – Sofretes (CLISOTOS). Il s'agit d'une intervention faite à la conférence internationale sur la situation du gaz dans la CEE, organisée par le Comité du gaz de la Commission économique européenne. Ce texte et le contexte de sa présentation, prouvent très clairement que la maison CLISOTOS n'est considérée que très secondairement solaire : « le but de 1'operation est non seulement la réalisation des systèmes de climatisation ayant comme source énergétique prioritaire l'énergie solaire, mais aussi 1'analyse, en détail, des meilleures conditions d'utilisation de l'énergie d'appoint, le gaz dans ce cas particulier. »[1596] L'objet technique est une maison faite de matériaux répondant aux standards occidentaux du temps (armoire de régulation électronique et structure lourde en béton), chauffée et climatisée[1597] avec un appoint au gaz et destinée à n'importe quelle latitude, mais uniquement pour les pays riches :

[1594] Le permis de construire est accepté le 23 août 1977. Les travaux démarrent le 5 décembre 1977. SOFRETES, *Rapport d'activité 1977 pour la DGRST*, 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16, section II G, rapport non paginé.

[1595] *Ibid*.

[1596] LESSIEUR P., FELLOUS J.-R., « Chauffage et climatisation à l'Énergie Solaire avec Appoint Gaz pour la Maison Expérimentale CLISOTOS à Sophia Antipolis (Nice) », *in The Gaz Situation in the ECE Region Around the Year 1990. Proceedings of an International Symposium of the Committee on Gaz of the Economic Commission for Europe, Held in Evian, France, at the invitation of the Governement of France, 2-5 October 1978*, Pergamon Press, 1979, p. 259.

[1597] Le système de génération de froid par absorption choisi par la SOFRETES est ainsi justifié : « en effet, l'utilisation d'une machine à absorption permet d'obtenir les avantages suivants : possibilité d'adapter facilement des machines du commerce disponibles sur le marché ; entretien très simple ou quasi nul ; fonctionnement avec des capteurs à basse température avec possibilité d'améliorer le système en les changeant dès que d'autres capteurs plus performants seront disponibles ; pas de problème de stockage à haute température ; COP (à égalité de température à la source chaude) meilleur que tout autre système (jusqu'à environ 150°C) ; la machine à absorption est une machine statique donc sure et de longue vie ; facilité de réglage de la puissance produite ; coût du système de production de froid très intéressant ;

> La solution choisie devait satisfaire les exigences suivantes :
> - utiliser à l'aval de la production d'énergie thermofrigorifique des équipements de grande série traditionnels ;
> - utiliser le système dans différents climats sans changer les principes de fonctionnement et la technologie des équipements ;
> - gérer convenablement l'énergie par un système de régulation à micro-processeur avec possibilité d'optimisation pour chaque climat ;
> - utiliser des capteurs plans, avec un fluide à une température maximale de 90-95° en été et 30-40° en hiver[1598].

L'argument avancé pour justifier le recourt à l'appoint au gaz dans cette maison qui pourrait n'être que solaire mérite d'être relevé ici car il est très symptomatique des termes de l'évaluation technicoéconomique dominant le référentiel solaire hégémonique dans lequel est enfermée la maison Total-SOFRETES comme d'ailleurs toutes les autres opérations d'habitat solaire en général et celles de la SOFRETES en particulier :

> Au problème purement technique il faut ajouter les contraintes économiques car s'il est possible de chauffer ou refroidir une maison avec un rendement solaire de 100 % il n'est pas logique d'installer une surface de captation telle qu'une grande partie de cette dernière soit utilisée d'une façon marginale, donc sans aucune possibilité d'amortissement. II est judicieux de réduire légèrement la surface de captation et d'utiliser un système d'appoint traditionnel[1599].

La maison CLISOTOS ne sortira d'ailleurs jamais de son enclos de Sophia Antipolis. Elle est la propriété intellectuelle conjointe de Total et de SOFRETES. En vertue de cette dépendance juridique et à l'asymétrie de pouvoir qui fonde la relation multinationale-PME, Total est décisionnaire sur la destinée de CLISOTOS. Jean-Pierre Girardier témoigne ainsi de son incapacité à faire valoir ses décisions : « Total me demande de faire de la climatisation solaire à Sophia-Antipolis. Mais très vite ils ont tout piqué »[1600].

La SOFRETES se positionne donc dans le système technique et dans le système d'acteurs de la chaleur solaire pour l'habitat grâce à sa participation à des opérations de démonstration des pouvoirs publics sur le sol français aux côtés du CEA, de Total, de

machine sans nuisance acoustique ; possibilité de fonctionner en cas d'absence solaire avec de l'eau chaude à basse température (75-90°C) produite par une chaudière murale à gaz. » Ibid., p. 269.

[1598] *Ibid*.

[1599] *Ibid*. p. 267.

[1600] CAILLE Frédéric, GIRARDIER Jean-Pierre, entretien du 7 juillet 2015.

GDF et de l'EDF. Sa contribution à l'objet technique est restreinte, contrainte et éloignée de sa proposition sociotechnique destinée aux pays du tiers-monde. Non seulement elle ne permet pas d'envisager d'appropriation technique, mais elle est réduite à cautionner les impossibles solaires et à soutenir la demande en électricité et en gaz pour le chauffage des locaux. En effet, l'habitat est très secondairement solaire et prioritairement nucléaire et fossile puisqu'il est prédéterminé à partir de ce modèle. La diversification technique de la SOFRETES dans l'habitat répond finalement aux standards périurbains français que les pouvoirs publics contrôlent avec des règles d'urbanisme et d'architecture qui appliquent la politique de l'énergie dans le secteur du logement. Cela en désamorce considérablement les potentiels de politique publique alternative en faveur d'un habitat réellement solaire là où la station solaire mixte de force motrice, avec ses bâtiments sous capteurs, représente, dans les régions arides, pauvres et isolées, un objet bien plus politiquement déraisonnable.

5. Le photovoltaïque

La SOFRETES démarre une diversification de sa gamme de pompes en lançant un volet R&D photovoltaïque dès 1976. Comme nous l'avons précisé précédemment, il s'agit d'une trajectoire technique différente de celle tracée par la proposition sociotechnique thermodynamique basse température de la SOFRETES. L'industrie du silicium photovoltaïque prolonge celle du silicium destiné à l'électronique (donc à l'informatique), ainsi que celle du transfert des applications aérospatiales et militaires au civil terrestre[1601]. Les avantages et les inconvénients de chaque machine ne les opposent pas forcément pour justifier techniquement leur substitution de l'une à l'autre. Elles ne répondent tout simplement pas aux mêmes objectifs sociotechniques. Socialement désirable, économiquement rentable, techniquement faisable, autant d'expressions qui recouvrent un paradigme politique initial. Il est aisé à un chiffre d'en opposer toujours un autre : telle ou telle mesure d'un rendement, tel ou tel poids et encombrement, tel ou tel prix, etc. Il est même possible d'aller jusqu'à invoquer la quantité d'énergie nécessaire en amont à la fabrication d'une cellule photovoltaïque : « je voudrais signaler au sujet des piles photovoltaïques, que, si on parle en énergie et non pas en argent, il faut plus

[1601] CAVARD Denise, CRIQUI Patrick, *op. cit*., 1979, pp. 373-374.

d'énergie pour fabriquer une pile photovoltaïque que ce qu'elle récupèrera dans toute sa vie. »[1602]

Nonobstant, à la SOFRETES, le choix de se diversifier dans le photovoltaïque semble motivé par la complémentarité des services rendus par les deux types de convertisseurs aux populations rurales pauvres et isolées des régions arides des pays du tiers-monde (notamment pour les petites puissances inférieures à 1 kW), même si la transférabilité de la fabrication des cellules photovoltaïques et de leurs modules électroniques de fonctionnement est impossible en Afrique sahélienne. L'exemple de la situation en 1981 à Médina Dakhar au Sénégal en est un bon exemple.

Le bon fonctionnement de la pompe MGS 2-1000, installée dans ce village sénégalais depuis 1976, engendre une forte dynamique de croissance du village qui accentue logiquement la pression démographique sur la ressource. Le débit de la pompe est dorénavant insuffisant pour répondre aux besoins croissants des villageois. Ils sont obligés d'envisager l'utilisation de pompes Diésel, les seules disponibles sur le marché de la vente au détail. Pour remédier à cette insuffisance de capacité par rapport aux besoins des populations, un système d'alimentation en force mécanique supplémentaire est installé sur la pompe de forage sous la forme d'un générateur photovoltaïque qui vient s'ajouter au dispositif thermodynamique. L'intérêt est qu'il permet d'emmagasiner de l'électricité produite en journée dans des batteries qui sont déchargées pour allonger la durée de fonctionnement général du dispositif et accroître ainsi le débit total[1603]. Le second intérêt de ce projet est de comparer le dispositif de stockage sur batterie de la CIPEL (CGE) pendant qu'un système de stockage thermique est expérimenté à l'IPM de Dakar sur le MGS 2-1000 afin d'envisager quelle solution mettre en place pour augmenter les capacités de toutes les autres stations déjà implantées (comme à Niakhène ou à Meouane au Sénégal)[1604]. Les deux sociotechniques se rejoignent ici prouvant leur complémentarité plus que leur concurrence.

[1602] Intervention de L. Varda dans KAHN, Philippe, *op. cit*., 1979, p. 404.
[1603] Ministère des Relations Extérieures (Coopération et Développement), Agence française pour la maîtrise de l'énergie (AFME), SEMA, *Énergies renouvelables au Sahel. Évaluation des projets*, mai 1982, pp. 25-28.
[1604] « Fiche technique station de pompage de Medina Dakhar », Dossier N°139, SOFRETES-Mengin S.A. Stations de pompage pour l'Afrique, Procès-verbal du 20 novembre 1979, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

La démarche industrielle et commerciale alors suivie par la SOFRETES est la même que celle de ses concurrents directs. N'étant pas un fabricant de cellules (comme les Pompes Guinard et les Pompes Briau), l'entreprise, après s'être fournie auprès d'un industriel, doit adapter les panneaux photovoltaïques à ses propres pompes. Elle devient un assembleur. L'activité industrielle réside dans la fabrication de la pompe adéquate et dans le système de connexion (électronique et moteur électrique)[1605]. La dépendance de la SOFRETES à l'égard de ses partenaires en est renforcée : « la SOFRETES développe une R&D photovoltaïque (pompage) en s'appuyant sur des partenariats. Avec la CFP-Total qui possède une filiale américaine, *Photonpower* depuis 1976. Avec la CIPEL (Groupe CGE) et le CNES (contrat DGRST). Avec le COMES, dont le Président, Henry Durand et également administrateur de la SOFRETES. Par son intermédiaire, des contrats de fourniture de cellules photovoltaïques RTC sont établis. »[1606]

Dès 1979, Le Président du COMES, Henry Durand, se montre favorable à la diversification de la SOFRETES dans le photovoltaïque. Il reconnaît que la société installe ses premières pompes photovoltaïques (par exemple à Mont-Rolland au Sénégal) dans des conditions de financement inadéquates puisqu'ils ne reposent que sur des contributions caritatives et personnelles : « le financement de ces opérations est précaire et insuffisant : la Vie Catholique, le Comité Contre la Faim, parfois une modeste contribution des villageois bénéficiaires de la pompe eux-mêmes. M. Girardier, Président de la SOFRETES est aussi, à titre personnel, un généreux donateur. Le Fond Européen de Bruxelles intervient parfois. »[1607] Pour le Président du COMES, la technologie développée par la SOFRETES est originale par rapport à la concurrence, « car il s'agit là de forages profonds, pour lesquels la technologie Guinard (pompes centrifuges) se prête

[1605] Ce sont les pompes manuelles Vergnet qui sont adaptées au dispositif : « Étude et réalisation d'une gamme de pompes photovoltaïques petits débits / grandes profondeurs », Fiche d'action 1979 N°4, Dossier 149 SOFRETES-Mengin S.A. « Pompes photovoltaïques », Procès-verbal du 22 novembre 1979, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16. Les cascades amplificatrices de photons de l'entreprise BRIC permettent d'augmenter les rendements de conversion des cellules par exemple celles de la RTC. Les moteurs électriques linéaires de la société suisse ETEL sont envisagés pour être couplés avec la pompe à pied Vergnet afin de remplacer astucieusement le pied de l'utilisateur et d'éviter d'avoir recourt à une machine tournante. CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010, p. 44.

[1606] DGRST, M.F. Simon, *Expertise sur le rapport d'activité 1977 de la société SOFRETES*, 1978, p. 1, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

[1607] « Note au Comité Financier du COMES, Attributions de panneaux gratuits à la SOFRETES », Dossier N°139, SOFRETES-Mengin S.A. Stations de pompage pour l'Afrique, Procès-verbal du 20 novembre 1979, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

mal. »[1608] Les contacts auprès des gouvernements étrangers de l'entreprises et le rayonnement de ses commandes internationales font également pencher la balance en faveur d'un soutien de la part du COMES, « on note de plus une intervention en Tanzanie, première réalisation française dans ce domaine »[1609]. Ainsi, le COMES finance en 1979 certaines études photovoltaïques menées par la SOFRETES[1610] et des achats groupés de panneaux pour cinq opérations de démonstration en Afrique (*cf. supra* tableau des aides financières du COMES)[1611]. En juillet 1981, la SOFRETES-Mengin dépose un brevet industriel[1612]. Elle est en mesure de proposer deux gammes de pompes solaires photovoltaïques et cinq produits : des pompes d'irrigation Irrisol de 200 We à 15 kWe d'une capacité de 10 à 2 600 m^3/jour ; des pompes de forage Forasol pour l'hydraulique villageoise et pastorale de 250 We à 6000 We, d'une capacité de 5 à 300 m^3/jour et jusqu'à 90 m de profondeur ; des installations frigorifiques pour l'équipement médical ou pour la conservation des denrées ; des installations de dessalement produisant jusqu'à 50 m^3/jour ; des installations électriques autonomes produisant jusqu'à 200 kWh/jour[1613].

Pendant les dernières années de la SOFRETES (1981-1983), alors que l'activité thermodynamique cesse progressivement, l'entreprise, en proie à des difficultés internes qui la paralysent, a bien du mal à imposer ses pompes photovoltaïques sur le marché de l'aide internationale. Là où des installations MGS 2-1000 périclitent, où les derniers projets en cours de stations mixtes de force motrice essuient des retards qui en hypothèquent toutes les chances d'achèvement ou de pérennité, des pompes photovoltaïques viennent parfois remplacer ces projets thermodynamiques. Mais ce sont surtout les concurrents qui se positionnent sur ces marchés d'aide à la maintenance et à

[1608] *Ibid*.
[1609] *Ibid*.
[1610] « Étude et réalisation d'une gamme de pompes photovoltaïques petits débits / grandes profondeurs », Fiche d'action 1979 N°4, Dossier 149 SOFRETES-Mengin S.A. « Pompes photovoltaïques », Procès-verbal du 22 novembre 1979, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16
[1611] Dossier N°139, SOFRETES-Mengin S.A. Stations de pompage pour l'Afrique, Procès-verbal du 20 novembre 1979, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16. Ce dossier contient tous les documents descriptifs des cinq opérations. Ils permettent d'identifier les partenaires de chaque projet (SOS Sahel international, Mali Aqua-Viva, Direction de l'hydraulique du Mali, CCFD, FED, Vie catholique) ainsi que les conditions dans lesquelles l'opération intègre les populations locales notamment en termes de participation à la maintenance future (implication financière des villageois, contrat d'entretien avec la SINAES, la filiale sénégalaise de la SOFRETES par exemple.)
[1612] Brevet industriel SOFRETES-Mengin, « Installation de pompage de l'eau au fond d'un puits utilisant l'énergie solaire », 17 juillet 1981, N°8113963.
[1613] SOFRETES-Mengin, « Données sur SOFRETES-Mengin », 1981, document non-paginé, Archives privées, fonds usine Mengin ; Pompes photovoltaïques, Documents commerciaux de la SOFRETES, Archives privées fonds BCD (CEA).

la réorientation photovoltaïque. C'est notamment Elf (déjà associée aux Pompes Guinard), la CGE et leur filiale Photowatt qui en tirent profit (voir le tableau des installations p. 346)[1614]. En 1981, Serge Bielikoff, alors Directeur de la Direction Industrielle Energies Nouvelles Isolation Chauffage (DIENIC) d'Elf, qui, en 1980, crée la filiale Elf énergie, la holding qui contrôle Photowatt international[1615], écrit à Bernard Devin, le Chef du SAI du COMES, pour lui proposer ses services afin de prendre en charge le suivi des projets photovoltaïques de la SOFRETES au Mali qu'elle ne peut honorer en raison des difficultés internes auxquelles elle doit faire face[1616]. Les raisons invoquées pour cette reprise en main font explicitement référence à l'importance que revêtent ces opérations de politique étrangère de coopération pour les intérêts de la France en Afrique : « comment se fait-il que ce matériel ne soit pas en place et vous ne sachiez pas où en est cette affaire, pourquoi SNEA ne reprend-elle pas le relais de SOFRETES, la France est-elle négligente à ce point de ses deniers, si cette affaire continue à traîner nous allons consulter le Japon qui ne demande que ça…etc… Toutes ces remarques placent SNEA et la France dans une position très délicate et contribuent à affaiblir notre position dans le domaine des énergies nouvelles au profit du Japon et des États-Unis. »[1617]

Les pompes photovoltaïques de la SOFRETES, Forasol et Irrisol, disparaissent avec la société. Un rapport du BRGM de 1983, très favorable à la solution photovoltaïque, les mentionne aux côtés des pompes Guinard après avoir décrédibilisé les pompes thermodynamiques SOFRETES dans un court argumentaire complètement contradictoire dans lequel elles sont à la fois considérées comme étant inadaptées aux régions arides, rurales, pauvres et isolées, en raison de leur fragilité et d'un entretien trop minutieux, alors qu'elles sont dans le même temps décrites comme « ne demandent pratiquement

[1614] Voir la proposition du projet d'équipement photovoltaïque proposée par Elf au ministère de la Coopération en octobre 1980 ainsi que le document récapitulatif des opérations existantes. Association solaire Elf-Mali, *Projet d'équipement et de développement industriel de la République du Mali dans le domaine des énergies nouvelles*, Octobre 1980 et *L'énergie solaire au Mali*, Archives nationales, ministère de la Coopération, 20000231, carton 16.

[1615] CHATAIN, Pierre, « La Compagnie française des pétroles et la société nationale Elf-Aquitaine, comparaison des stratégies, 1974-1982 », thèse de 3e cycle, sous la direction de PERCEBOIS, Jacques, Université des sciences sociales de Grenoble, Institut économique et juridique de l'énergie, Grenoble, 1983, p. 312.

[1616] Lettre de Serge Bielikoff à Bernard Devin (copie à Teboul DG de la SOFRETES) du 13 avril 1981, archives privées de Georges Alexandroff.

[1617] Télexe du Chef de mission solaire au Mali de Elf à l'attention de Serge Bielikoff, Bamako le 8 avril 1981. Document joint à lettre de Serge Bielikoff à Bernard Devin (copie à Teboul DG de la SOFRETES) du 13 avril 1981, archives privées de Georges Alexandroff.

aucun entretien : une seule visite par an est seulement nécessaire »[1618]. En 1986, dans un rapport de l'AFME sur les pompes photovoltaïques diffusé en France en février 1984, seuls les produits *Solar-Force* (firme américaine associée aux pompes françaises Guinard), Photowatt et Grundfos sont présentés comme proposant du matériel sur le marché français[1619]. Dans les produits concurrents, la solution thermodynamique n'est mentionnée nulle part[1620]. La SOFRETES apparaît en annexe XII : « arrêt de l'activité SOFRETES, poursuite des contrats en cours, recherche et développement avec le CEA (moteur à courant continu et moteur alternatif avec onduleur). »[1621]

Conclusion chapitre 4

Les opportunités et les contraintes qui portent l'activité de la SOFRETES dans un temps très court l'obligent à être continuellement dans une dynamique de diversification technique et commerciale. L'invention de l'objet technique et sa fabrication prototypique sont constitutives de l'opération qui les font exister et disparaître.

Tout d'abord, sur le marché de l'aide publique internationale au développement, et en France auprès de ses acteurs institutionnels, elle détient le monopole des convertisseurs thermodynamiques des faibles gradients de températures naturelles et industrielles. Ensuite, son programme de R&D et son offre commerciale s'étoffent rapidement (1973-1979) pour recouvrir un large panel d'applications de la transformation de la chaleur solaire, et géothermique, en force mécanique et en électricité décentralisée pour les pays pauvres. Puis, à cette trajectoire sociotechnique principale, viennent s'ajouter des propositions d'habitat solaire pour les pays riches. Enfin, la SOFRETES se positionne dans la filière photovoltaïque en tant qu'assembleur et fabricant de pompes solaires pour les pays pauvres, dans une logique de complémentarité sociotechnique et non pas de concurrence ou de substitution.

Ces résultats empiriques de notre étude sociohistorique appellent trois remarques.

[1618] Ministère de l'Industrie et de la Recherche, Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), *Les moyens d'exhaure pour puits et forages d'eau*, juin 1983, p. 55.
[1619] AFME, ministère des Relations extérieures, *Le pompage photovoltaïque*, décembre 1986.
[1620] *Ibid*., pp. 42-62.
[1621] *Ibid*., Annexe XII, non-paginée.

Premièrement, la diversification de l'offre technicocommerciale de la SOFRETES aboutit à de nombreuses opérations de démonstration : toutes les générations de prototypes ont l'opportunité d'exister, donc d'être prolongées ou non.

Deuxièmement, toutes les recherches et toutes les machines existent uniquement grâce aux soutiens des pouvoirs publics. La PME est une filiale solaire du CEA qui bénéficie d'aides financières de la DGRST, du ministère de l'Industrie, de son agence d'objectif solaire et de ses partenaires industriels et commerciaux qui sont eux-mêmes des établissements publics. La puissance publique contrôle toutes ses activités de R&D et ses démarches commerciales auprès des gouvernements étrangers. Sa responsabilité est totale. En ce sens la SOFRETES, ses machines, et ses opérations, sont une entreprise d'État.

Troisièmement, au niveau de l'objet technique, le stade préindustriel est atteint mais l'absence de volonté politique ne permet pas de le franchir et les prototypes ne connaissent pas de suite.

Ces conclusions prolongent parfaitement celles du chapitre 3.

Deux évaluations, publiées à deux moments symptomatiques des inflexions de la politique publique solaire française qui impactent l'existence de la SOFRETES, renforcent nos conclusions.

En 1979, Jean Phéline, alors qu'il est conseiller pour les Énergies nouvelles auprès du Délégué à la Diversification industrielle du CEA (après avoir été conseiller technique du Délégué aux Énergies Nouvelles), publie dans le numéro d'avril des *Annales des Mines* un article de synthèse sur l'énergie solaire et la production décentralisée d'électricité.

Il présente les avantages et les inconvénients des différentes filières technologiques de conversion du rayonnement solaire en électricité, entre elles et en comparaison avec les convertisseurs conventionnels fossiles. L'auteur fait également le point sur l'état de leur maîtrise technique par les institutions de recherche et par les industriels, ainsi que sur la situation de l'offre commerciale existante. La SOFRETES et ses machines sont clairement identifiées comme étant les seules à être accessibles et fonctionnelles *in situ*, et à offrir des potentiels sociaux à considérer[1622].

[1622] PHELINE, Jean, « Énergie solaire et production décentralisée d'électricité », *Annales des Mines*, avril 1979, « Les filières technologiques de conversion du rayonnement solaire en électricité », pp. 118-122.

Cependant, c'est précisément en 1979 que le gouvernement arbitre en faveur de la filière photovoltaïque et de la constitution d'un monopole d'État (Photowatt). Or, il est remarquable de noter ici que la SOFRETES est présente dans les deux filières. Elle représente à elle seule la filière thermodynamique basse température alors que dans la filière photovoltaïque elle fait face à une forte concurrence.

En 1982, alors que la restructuration institutionnelle du COMES applique les réorientations de la politique publique solaire, notamment en prolongeant la seconde phase du Plan photovoltaïque national, et que la SOFRETES est en cours de démantèlement, une étude d'évaluation des installations solaires au Sahel est remise au ministère des Relations Extérieurs et à l'AFME[1623].

Tout d'abord, le rapport, qui se base sur des inspections de terrain (1980-1981), établit un bilan très critique de l'état dans lequel se trouve certaines installations SOFRETES MGS 2-1000 mises en route à partir de 1975-1976[1624]. Cependant, il impute l'échec de ces opérations à la précipitation avec laquelle ces prototypes furent installés sur des terrains très difficiles, bien trop loin des capacités de suivi et de maintenance nécessaires aux améliorations à leurs apporter en vue du passage au stade préindustriel.

La défaillance de conception et de fabrication est écartée, la machine n'est pas considérée comme étant incapable de remplir sa fonction sociale *a priori*.

Ensuite, le compte-rendu du fonctionnement de pompes solaires photovoltaïques révèle là aussi des difficultés liées aux conditions de fonctionnement locales[1625]. Les performances observées sont modestes en conditions réelles par rapport aux indicateurs théoriques. Ce qui ne remet pas non plus en cause l'intérêt des dispositifs pour répondre aux besoins des populations.

Enfin, quand il s'agit de porter un regard comparatif entre la solution thermodynamique SOFRETES et les pompes photovoltaïques, puisque c'est la nature de la relation qui est instituée par les pouvoirs publics entre les deux machines (et pas celle de techniques complémentaires), les conclusions de l'étude sont très prudentes : « une comparaison honnête entre les pompes solaires thermodynamiques et photovoltaïques suppose la comparaison de matériels de même ancienneté dans des contextes

[1623] Ministère des Relations extérieures (coopération et développement), Agence française pour la maîtrise de l'énergie (AFME), SEMA, *Énergies renouvelables au Sahel. Évaluation des projets*, mai 1982.
[1624] *Ibid*., pp. 109-111 ; 103-115.
[1625] *Ibid*., pp. 31-64 ; 103-115.

comparables ; à notre avis, ce bilan serait loin d'être entièrement en défaveur de SOFRETES. »[1626]

[1626] *Ibid*., p. 10.

Conclusion de la partie II

Cette seconde partie démontre que des dysfonctionnements d'origine purement technique ne peuvent pas être invoquées, ni à l'époque des faits, ni *a posteriori*, pour expliquer le déclin et la disparition de la SOFRETES et de sa proposition sociotechnique.

En revanche, la conception, la fabrication, l'assemblage et le fonctionnement de la machine, peuvent être en partie responsables de sa disparition des possibles industriels car ils constituent une proposition sociotechnique alternative très désajustante pour l'ordre politico-énergétique dont ils sont, paradoxalement, complètement dépendants.

Il convient donc plutôt d'accorder à l'action publique solaire les effets les plus décisifs sur l'apogée et le déclin de la SOFRETES et de son moteur.

En effet, ils sont uniquement les instruments d'opérations technopoliques de séduction au service du rayonnement de la France et d'intérêts particuliers : des opportunités très contextualisées.

Dans chaque cas (dossier mexicain, saoudien, malien, etc.) nous avons démontré que l'opération solaire porte préjudice à la possible industrialisation des machines SOFRETES car elle n'est ni politiquement, ni institutionnellement, ni juridiquement, ni économiquement, ni matériellement conçue pour faire exister dans le temps long l'installation solaire.

Les contraintes, internes et externes, qui encadrent le fonctionnement de l'entreprise, ses moyens, la réalisation de ses prototypes, les termes de ses contrats, l'attitude des gouvernements clients, les conditions de terrain, les formes de concurrences, limitent considérablement sa capacité d'action en augmentant d'autant sa dépendance à la puissance publique qui, finalement, est omnipotente sur cette question solaire.

Le temps court de l'opération conjoncturelle de séduction disqualifie par la panne technique les potentiels politiques à long terme de l'objet. Quelques années après l'inauguration d'une installation, il n'est plus question de proposition sociotechnique mais d'une simple machine devenue alors dysfonctionnelle. Les dividendes politiques de l'opération pour les uns, les retombées commerciales pour les autres, ayant déjà été capitalisées.

PARTIE III Du soleil au service du rayonnement de la France à l'irrécupérable chaleur solaire

Introduction de la partie III

L'objectif de cette troisième et dernière partie est de caractériser les modalités du processus par lequel la SOFRETES et sa proposition sociotechnique disparaissent, sont ignorées et oubliées.

La partie précédente apporte une première réponse sous la forme des effets néfastes induits par la nature de l'opération technopolitique solaire. Cependant, d'autres déterminants interviennent qui sont à rechercher dans l'évolution du cadre administratif interne à l'entreprise et dans ses relations aux institutions en charge d'appliquer la politique publique solaire du gouvernement. La difficulté à saisir les différentes responsabilités réside aussi dans l'évolution de la situation entre 1973 et 1983.

Notre hypothèse est que les stratégies des différents actionnaires et partenaires de l'entreprise se combinent avec certaines décisions à l'échelon gouvernementale et les modalités de leur mise en application à l'échelon administratif, afin de contrôler la SOFRETES et sa proposition sociotechnique. La configuration d'acteurs très complexe par laquelle la SOFRETES et ses machines existent doit donc être déconstruite pour en faire émerger les rapports de forces et leurs conséquences. Il faut reconstituer dans le temps la séquence de décisions administratives et politiques (en identifiant les intérêts auxquelles elles répondent), à la fois à l'intérieur de la SOFRETES, mais aussi à l'extérieur de celle-ci, pour bien identifier comment des changements dans l'administration de l'entreprise se conjuguent avec l'inflexion de la politique publique solaire nationale en défaveur de la SOFRETES à partir de 1979 et ses modalités d'application qui organisent progressivement la cessation de ses activités et leur oubli.

Nous attirons l'attention sur l'importance que nous accordons à l'acteur individuel dans ce schéma compréhensif par une approche prosopographique, (influence de la micro-histoire, de la microsociologie et des enquêtes ethnographiques[1627]) combinée avec une sociologie critique de l'action publique[1628] : « sa démarche prendra toujours sens pour lui par rapport à ses objectifs et en fonction des opportunités qu'il peut et choisit de saisir. Il est enfin susceptible d'équilibrer saisie des opportunités et maintien de sa capacité

[1627] PAYRE Renaud, POLLET Gilles, *op. cit*., 2013, p. 36.
[1628] PAYRE Renaud, POLLET Gilles, *op. cit*., 2013, « Les principes de l'approche socio-historique de l'action publique », pp. 37-42 ; GROSSMAN, Emiliano, « Acteur », *in* BOUSSAGUET Laurie, JACQUOT Sophie, RAVINET Pauline, *op. cit*., 2014, pp. 31-38 ; CROZIER Michel, FRIEDBERG Erhard, *L'Acteur et le Système. Les contraintes de l'action collective*, Paris, Le Seuil, 1977.

d'agir ».[1629] En effet, la stratégie des institutions engagées dans les dossiers SOFRETES passe par des choix d'agents particuliers ou par leurs transferts entre tel ou tel service administratif ou Conseil d'administration. Les carrières d'agents, y compris ceux de la SOFRETES, nous éclairent parfois sur les orientations plus globales à l'œuvre dans l'élaboration de l'action publique solaire et notamment dans la place qu'occupe la SOFRETES dans ces changements. Certains conflits interpersonnels, ou certaines préférences, peuvent peser sur des évaluations qui sont prises en considération dans l'élaboration de l'action publique vis-à-vis de la SOFRETES, ou simplement directement sur son pilotage et celui de ses dossiers. Notre méthode répond donc à « la volonté de saisir avec précision la complexité des interactions interindividuelles et interinstitutionnelles »[1630]. Si nous sommes parfois tentés d'accorder à l'agent une certaine autonomie, nous tâchons de ne pas trop l'isoler, notamment en mobilisant à la fin de notre analyse le concept de coalition de cause qui nous semble pertinent pour rendre compte de la configuration d'acteurs qui entre en conflit avec la SOFRETES et sa proposition sociotechnique :

> L'Advocacy Coalition Framework (ACF) cherche à expliquer les changements de l'action publique sur des périodes de dix ans ou plus. Elle suppose que le processus de fabrication d'une politique se produit en premier lieu parmi les spécialistes (du domaine de cette politique) qui cherchent régulièrement à influencer la décision en la matière à l'intérieur d'un sous-système de politique publique particulier. Son principe de base est que les acteurs sont regroupés en une ou plusieurs coalitions de cause, dont les membres partagent un ensemble de croyances normatives et de perceptions du monde, et qu'ils agissent de concert afin de traduire leurs croyances en une politique publique[1631].

Les différentes formes que revêt l'intrication de l'État dans les affaires de la SOFRETES complexifie l'identification rigoureuse des acteurs publics et de leurs responsabilités. Il convient d'être attentif à la mise en garde d'Emiliano Grossman : « l'analyse des politiques publiques doit prendre soin de bien définir et de bien délimiter les acteurs qu'elle identifie. Le double écueil serait de laisser de côté des acteurs pourtant centraux ou d'en voir un peu partout »[1632]. En effet, la limite entre les acteurs internes à la SOFRETES et ceux qui agissent depuis l'extérieur est parfois difficile à établir ; il faut

[1629] GROSSMAN, Emiliano, *op. cit*., 2014, p. 31.
[1630] PAYRE Renaud, POLLET Gilles, *op. cit*., 2013, p. 36.
[1631] SABATIER, Paul A., « Advocacy Coalition Framework (ACF) », *in* BOUSSAGUET Laurie, JACQUOT Sophie, RAVINET Pauline, *op. cit*., 2014, p. 49
[1632] GROSSMAN, Emiliano, *op. cit*., 2014, p. 37.

plutôt envisager des actions croisées et possiblement coordonnées. Nous chercherons à capturer cette dichotomie puisque les pouvoirs publics sont à la fois aux commandes à l'intérieur et à l'extérieur de la SOFRETES et « concrètement, ces multiples agents et leurs administrations sont impliqués dans les politiques publiques : l'apparition d'un problème public et le lancement d'une politique gouvernementale s'accompagne toujours d'une redistribution du pouvoir administratif [1633]». A l'intérieur de la PME, par le truchement d'agents détachés au quotidien et des membres du Conseil d'administration (dans lequel siègent leur administration de rattachement et des entreprises publiques ou des entreprises dans lesquelles l'État possède des parts). A l'extérieur de l'entreprise, via l'administration de missions de solaire, ses ministères de tutelle et les ministères mobilisés sur des projets particuliers. Ces derniers pouvant le cas échéant mettre ponctuellement à disposition des agents titulaires ou contractuels. Cette distinction s'applique aussi aux acteurs privés dont certains sont à la fois internes et externes, par le biais de filiales distinctes dans des filières techniques parallèles ou même, dans une certaine mesure, concurrentes. CFP-Total s'assied au tour de table tout en étant impliquée dans l'industrie du photovoltaïque par exemple. *Idem* pour la CGE dont la présence, plus discrète et plus difficile à cerner et à temporaliser, n'en est pas pour autant moins déterminante.

Les changements dans le temps de la présence de ces acteurs, de leur organisation et de leurs poids respectifs complexifient encore davantage la compréhension de leurs actions. Entre la naissance de la SOFRETES et sa disparition, son capital est remanié plusieurs fois entraînant des entrées, des sorties et des basculements de leadership. Dans le même temps, des administrations sont remaniées, d'autres sont créés, des agents deviennent des transfuges et des dossiers sont transférés. Les activités des grandes entreprises actionnaires sont également réorientées en termes de moyens mobilisés et de centres d'intérêts. D'où l'impérieuse nécessité d'envisager ce système d'acteurs de façon dynamique et de rechercher ses permanences et ses mutations. Dans ce mouvement, avec la question du poids relatif des acteurs se pose aussi celle de la hiérarchie des impacts de leurs actions.

Les résultats de notre étude sont présentés en deux temps.

[1633] BEZES, Philippe, « Administration », *in* BOUSSAGUET Laurie, JACQUOT Sophie, RAVINET Pauline, *op. cit*., 2014, p. 41.

Le chapitre 5 reconstitue l'évolution du cadre administratif interne à l'entreprise sur la période. Les forces centripètes et les forces centrifuges à l'œuvre sont analysées. La situation est donc observée, autant que faire se peut, de l'intérieur.

Premièrement, il s'agit de bien comprendre comment la modeste PME devient progressivement une filiale publique et comment elle organise son activité.

Deuxièmement, comment ses actionnaires et ses administrateurs mettent en œuvre leurs stratégies et si celles-ci sont solaires.

Dernièrement, d'identifier les étapes de sa liquidation, les responsabilités et les actions contre-mémorielles.

Le chapitre 6 identifie les temps forts de l'abandon de la SOFRETES par la politique publique solaire française.

Il porte son attention sur les rapports qu'entretient la SOFRETES avec les administrations en charge des dossiers solaires à l'étranger. Or, l'institutionnalisation de la question solaire change durant la période.

La SOFRETES entre progressivement en conflit avec l'administration de mission en charge de la mise en œuvre de la politique publique solaire à partir de 1978. Le COMES (et l'AFME à sa suite) soutient une autre proposition sociotechnique solaire.

Un arbitrage gouvernemental intervient en 1979 en défaveur de la SOFRETES.

Le processus de normalisation des relations entre le COMES et le CEA qui se met alors en place permet de régler les derniers dossiers liés aux opérations SOFRETES et de définitivement l'écarter des instruments de l'action publique solaire à l'étranger (qui se poursuit).

Chapitre 5 Forces centrifuges et forces centripètes

Introduction du chapitre 5

De sa création à l'automne 1973 à sa liquidation au 1er janvier 1984, l'organisation administrative de la SOFRETES est régulièrement modifiée.

Ces changements administratifs traduisent et expliquent en partie les raisons de sa disparition. En effet, les stratégies des actionnaires successifs ne recouvrent pas le projet initial de l'entreprise puisqu'ils instrumentalisent la SOFRETES pour pousser leurs propres intérêts à l'étranger. Selon quelles étapes, quelles modalités et avec quels impacts les pouvoirs publics prennent-ils le contrôle de la SOFRETES ?

L'effervescence commerciale des années de croissance (1973-1979), la diversification de l'offre technique, puis le soudain déclin de la SOFRETES, doivent être maintenant rapprochés des mutations successives du cadre administratif interne à l'entreprise.

L'objectif est d'identifier les forces centrifuges et centripètes au sein de son système d'acteurs gestionnaires qui peuvent traduire et expliquer les difficultés que rencontre la SOFRETES au cours de son existence.

Cela nécessite d'analyser les mouvements au niveau de l'actionnariat de l'entreprise, de sa direction et de son Conseil d'administration, c'est-à-dire, leurs identités, les modalités de leurs entrées et de leurs sorties, leur calendrier et leurs effets.

Une séquence décisionnelle se dessine-t-elle suffisamment clairement dans l'évolution du cadre administratif interne pour identifier des acteurs, des étapes et des raisons à la disparition de la SOFRETES et de sa proposition sociotechnique ? Quel est le schéma mise en œuvre à l'intérieur de la SOFRETES pour contrôler ses activités ?

La lecture de cette section doit s'adosser au tableau ci-dessous qui résume l'évolution de l'organisation administrative de la SOFRETES.

Tableau 12 : évolution de l'organisation administrative de la SOFRETES (1973-1983) filiale des Etablissements Pierre Mengin

Année	Etablissements Pierre Mengin (EPM)	SOFRETES	Direction	Participations et accords commerciaux
1973	- Famille Mengin et particuliers 100 %	- EPM 34 % - ANVAR 24,5 % - SOFINNOVA 24,5 % - J.-P. Girardier 8 % - Masson 8 % - Autres 1 % Capital : 800 000 FF	- J.-P. Girardier	GIE Mengin-Rateau depuis 1971 (secteur hydropompe)
1974		Capital : 1 800 000 FF		Accord commercial des EPM avec Les pompes Guinard (secteur hydropompe)
1975	- Renault Moteurs Développement (RMD) 34 % - Famille Mengin et particuliers 66 %	- EPM 51 % - CEA 20 % - CFP-Total 20 % - Technigaz (Gazocéan) 5 % - ANVAR 2 % - SOFINNOVA 2 %		SOBRETES (filiale brésilienne) GIE Prométhée - CEA 50 % - SOFRETES 50 %
1976				SINAES (filiale sénégalaise) - SOFRETES - SENELEC - CFP-Total Afrique - Régie Renault - Aérowatt - Sofee (Elf) - CCCE
1977		- EPM 51 % - CEA 20 % - CFP-Total 20 % - RMD 5 % - ANVAR 2 % - SOFINNOVA 2 % Capital : 6 800 000 FF		- Rachat d'Aérowatt par EPM sur financement de la Cogema - GIE Géowatt (SOFRETES-BRGM)
1978	Départ de Renault, le CEA reprend ses parts dans EPM		- J.-P. Girardier - DG Roch (Alsthom Atlantique)	Korchid Nirou (Joint-venture iranienne) - SAPEC 56 % - Iran Housing Corporation 20 % - CFP-Total 10 % - SOFRETES 14 %
1979	**Fusion SOFRETES-Mengin**	- EPM (CEA) 45,25 % - CFP-Total 20 % - Alsthom Atlantique (CGE) 20 % - CEA 8,75 %		

		- CIPEL (CGE) 5 % - Armines 1 % Capital : 3 451 000 FF		
1980		- EPM (CEA) 77 % - CFP-Total 10 % - Alsthom Atlantique (CGE) 10 % - Photowatt (CGE) 2,5 % - Armines 0,5 % Capital : 9 662 800 FF	- J.-P. Girardier démissionne - Teboul et Morin le remplacent (SFEC-CEA)	
1981			- Jean Rastoin (CEA)	Reefco (*joint-venture* égyptienne)
1982-1983	**Etablissements Pierre Mengin (EPM)** - CEA	**SOFRETES**	- Jean Rastoin (CEA)	**Société nouvelle des établissements Pierre Mengin (SNEPM)** Usine à Amilly Montargis - CEA
1984	**Etablissements Pierre Mengin (EPM)**	Liquidation de la SOFRETES au 01 janvier 1984		**Société nouvelle des établissements Pierre Mengin (SNEPM)** Usine à Amilly Montargis

Sources : CEA, *Rapport annuel*, 1974, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 12 ; CEA, *Rapport annuel*, 1975, 1979, 1980, 1981, 1983 ; SOFRETES, « IV Renseignements généraux » et « V Renseignements financiers », 1975, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2 ; SOFRETES, PV de l'AG des actionnaires du 21 décembre 1974, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2 ; Mengin, PV de l'AG des actionnaires du 30 juin 1973, du 28 juin 1974 et du 29 juin 1974, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2 ; « Liste des actionnaires SOFRETES », 24 novembre 1977, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; dossier COFACE déposé par SOFRETES-Mengin-Renault Moteurs Développement le 18 mai 1977 pour une demande d'assurance prospection à l'étranger de 1976 à 1982, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010.

1. 1973-1974 : valorisation et diversification

Comme nous l'avons montré au chapitre 2, à sa création à l'automne 1973, la SOFRETES est une PME au capital mixte, filiale d'une PMI familiale, les Etablissements Pierre Mengin (EPM). Pour répondre favorablement à la commande de pompes solaires du gouvernement mexicain, les pouvoirs publics soutiennent sa création au moyen d'instruments de l'aide à l'innovation. L'ANVAR et la SOFINNOVA prennent 49 % des parts et une opération de coopération franco-mexicaine est lancée (FRAMEX) à laquelle est associé le CEA qui apporte son aide technique.

L'année 1974 est celle des premières perspectives commerciales. La commande mexicaine est renforcée d'une station électro-solaire de puissance pour 1975 alors que d'autres sont enregistrées, notamment pour l'Afrique. L'opération gouvernementale d'aide au développement « Énergies Nouvelles pour le Sahel » annoncée est très attendue[1634]. Le contexte est propice à une première restructuration.

Premièrement, l'activité traditionnelle de la maison mère (assainissement, adduction d'eau, etc.), les Etablissements Pierre Mengin, dont l'usine est à Montargis, est consolidée par un accord de représentation commerciale avec un concurrent, Les Pompes Guinard[1635]. Il s'ajoute donc au GIE contracté en 1971 avec Rateau (CGE), un autre concurrent. Or, Rateau et Guinard sont également des concurrents solaires. Comme nous l'avons explicité, Rateau est un fournisseur de la SOFRETES dès 1975 au Mexique sur l'installation de San Luiz de la Paz (elle fournit le turbocompresseur) et Guinard est un assembleur de pompes photovoltaïques en devenir (associé à Elf). Il est remarquable de relever la manière avec laquelle tous deux entrent en contact avec les EPM en choisissant de rapprocher leurs réseaux commerciaux dans le secteur traditionnel des pompes d'assainissement et non pas dans le solaire. Pourtant, cette stratégie pourrait lui être liée. En effet, le choix gestionnaire de Girardier consiste à éponger le déficit solaire avec le bénéfice qu'il tire de son outil industriel familial dans le secteur traditionnel des pompes d'assainissement. La SOFRETES est la filiale solaire des EPM qui sous-traitent la

[1634] Mengin, PV de l'AG des actionnaires du 30 juin 1973, du 28 juin 1974 et du 29 juin 1974, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2. SOFRETES, PV de l'AG des actionnaires du 21 décembre 1974, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

[1635] Mengin, PV de l'AG des actionnaires du 29 juin 1974, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

fabrication à l'usine Mengin. Donc, pour des concurrents ou des intérêts contraires à ceux de la SOFRETES, chercher à impacter l'activité commerciale traditionnelle des EPM en s'y associant est une stratégie possible pour influencer indirectement le bilan comptable du solaire. Ce qui fait la force de cette stratégie de gestion pour Girardier dans les première années d'exercice va, comme nous le verrons, se retourner contre lui.

Deuxièmement, la SOFRETES recherche de grands partenaires industriels susceptibles d'investir dans la PME afin d'envisager une future industrialisation de leurs prototypes solaires. C'est là le rôle de la SOFINNOVA qui cherche à valoriser sa participation dans SOFRETES en vue de la rapide revente de ses parts[1636] et ce sont les attentes initiales de Girardier quand deux agents de Renault sont élus au Conseil d'administration des EPM en 1974, un an avant la prise de participation officielle de l'entreprise publique au capital de la maison mère (et non pas de la SOFRETES)[1637]. Jean-Pierre Girardier met beaucoup d'espoir dans l'aide que la Régie Renault pourrait apporter. Il pense que le savoir-faire du motoriste va permettre de développer une gamme complète de moteur solaire et que le constructeur automobile pourrait en lancer la production industrielle une fois le stade préindustriel atteint[1638]. En effet, en 1974, le gouvernement mexicain et la SOFRETES signent une lettre d'intention pour un programme de 1000 MGS 2-1000 et entre 25 et 100 turbines de 50 kW[1639]. Ce sont les capacités industrielles et non commerciales de Renault qui sont d'abord sollicitées par Girardier (une usine au Mexique est envisagée). C'est pourquoi le motoriste entre au Conseil d'administration des EPM (l'industrie) et non de la filiale solaire commerciale (la SOFRETES).

Troisièmement, la forme que doit prendre la participation du CEA au projet SOFRETES est reconsidérée en fonction de la nouvelle commande mexicaine pour une station mixte de force motrice[1640] qui nécessite un programme de R&D plus sophistiqué

[1636] *Cf*. chapitre 3.

[1637] Mengin, PV de l'AG des actionnaires du 28 juin 1974, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2. Il s'agit de M. Badiche et de M. Pascoli, agents de Renault moteurs développement (RMD), filiale de la Régie Renault.

[1638] Girardier témoigne de sa position vis-à-vis de Renault au début de l'aventure SOFRETES dans tous ses entretiens et ses témoignages écrits que nous citons régulièrement depuis le départ. Christian Marbach nous le confirme également en entretien.

[1639] SOFRETES, PV de l'AG des actionnaires du 21 décembre 1974, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

[1640] Il faut retenir que dès 1974 et les premières commandes de MGS 2-1000, la conception d'une station mixte de moyenne puissance existe déjà puisqu'elle est présentée au Président sénégalais Senghor sous la forme d'une maquette de Georges Alexandroff lors de la première exposition commerciale organisée par la SOFRETES à Dakar. Ce projet est présenté à Senghor en 1974 comme « Projet d'installation solaire de

et un calendrier de réalisation très court[1641]. Du mois d'avril 1974 à la fin de l'année, le CEA planifie et organise son engagement aux côtés de la SOFRETES. Tout d'abord, comme nous l'avons déjà précisé, le contexte interne à l'établissement public est propice puisque depuis 1970 André Giraud (l'Administrateur général) met en œuvre la politique de diversification industrielle non nucléaire du CEA[1642]. Alors que les recherches sur les réacteurs thermoïoniques débutées dans les années 1960 sont arrêtées, des agents de ce programme se retrouvent disponibles pour une nouvelle affectation[1643]. C'est de cette précédente équipe que sont issus les ingénieurs du CEA auxquels sont confiés le nouveau programme solaire et notamment la collaboration avec la SOFRETES[1644]. Le courrier que

50 kW dans un environnement sénégalais ». Mais c'est le Mexique qui l'achète le premier. Le projet fait la couverture de la brochure commerciale « Le soleil au service des hommes », éditée par le CEA en 1975 alors que le GIE Prométhée, qui rapproche le CEA de la SOFRETES pour porter les projets de stations de moyenne puissance, est constitué. Brochure Prométhée – Groupement CEA-SOFRETES, « Utilisation du soleil pour la fourniture en énergie des zones arides (moyennes et grandes puissances) », 1975, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

[1641] SOFRETES, PV de l'AG des actionnaires du 21 décembre 1974, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

[1642] FOASSO, Cyrille, « Histoire de la sûreté de l'énergie nucléaire civile en France (1945-2000). Technique d'ingénieur, processus d'expertise, question de société », thèse de doctorat en histoire, sous la direction de RAMUNNI, Girolamo, Université Lumière Lyon 2, notamment le passage intitulé « La réorganisation du CEA : André Giraud Administrateur Général », 2003, pp. 292-294. En 1973, c'est Patrick Nollet qui est Délégué à la Mission de Coopération industrielle non nucléaire. Lire : NOLLET, Patrick, « La coopération industrielle non nucléaire du CEA », *Annales des Mines*, mai 1973, pp. 25-28. Lire également les rapports annuels du CEA des premières années de mise en œuvre de la politique de diversification industrielle : CEA, *Rapports annuels*, 1971-1974, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 12.

[1643] La conversion thermoïonique désigne la conversion directe de la chaleur en électricité. De tels convertisseurs sont envisagés pour des petites puissances (surtout à l'échelle W). Cette technique permettrait donc la conversion d'une très faible quantité de chaleur d'origine solaire par exemple (ou d'une autre origine) en électricité. Pierre Aigrain, dont nous avons parlé à plusieurs reprises aux chapitres 1 et 2, eut égard aux responsabilités qui furent les siennes dans l'administration de la Recherche nationale, est un spécialiste français de la thermoélectricité solaire. Le CEA envisage dans les années 1960 d'affecter cette technique à la conversion de la chaleur émise par des produits fissiles comme l'uranium. Il s'agit donc de construire de très petits réacteurs nucléaires qui auraient l'avantage d'être également autonome (sans entretien pour plusieurs années). Ils sont pensés comme source d'énergie pour l'exploration-exploitation des espaces isolés difficiles d'accès tels l'espace et les grands fonds marins. Jean Bliaux travaille à ce programme sous la direction de Bernard Devin (Chef du SEEN, futur Chef du projet solaire du CEA et Chef du SAI du COMES-AFME en 1980) avant d'être transféré aux activités solaires du CEA. Ses archives personnelles ont été confiées à l'association PHESO. Elles conservent des documents relatifs aux recherches sur les réacteurs thermoïoniques menées au CEA. BLIAUX Jean, LINET François-Luc, « La conversion thermoïonique », *Clefs CEA*, N°36, été 1997, pp. 11-23, Archives privées fonds BCD (CEA) ; Correspondance avec Bernard Devin, août-septembre 2018. André Giraud annonce sa décision d'abandonner le Programme de réacteur thermoélectronique dans une lettre qu'il adresse aux différents services du CEA concernés le 12 avril 1974 : CEA, lettre de l'Administrateur générale André Giraud, note n° SAAG/3287, 12 avril 1974, archives privées fonds BCD (CEA).

[1644] Il s'agit principalement de Bernard Devin, Jean Bliaux, Max Clémot, Jean-Paul Durand. CLEMOT Max, DEVIN Bernard, DURAND Jean-Paul, « Générateurs thermoïonique isotopique », Rapport CEA R 3418, décembre 1967 ; BLIAUX Jean, DURAND Jean-Paul, LAZARE-CHOPARD Gilbert, « Dispositif d'expérimentation en pile des convertisseurs thermoïoniques SIRENE », Rapport CEA R 3867, août 1969 ;

leur adresse André Giraud le 12 avril 1974 se termine par ces mots : « les nouvelles tâches nécessitées par la crise de l'énergie étant plutôt surabondantes, je peux vous assurer que la reconversion de vos équipes ne doit pas poser de problèmes »[1645]. En effet, la conversion de la chaleur solaire est une application non nucléaire possible des développements des études thermiques nucléaires menées au CEA qui sont présentées en 1971 par Henri Mondin (Chef du DTCE du CEA) lors d'un congrès international qui leur sont dédiées à Rome[1646]. Elle est conforme aux objectifs de coopération industrielle non nucléaire qui sont confiés par André Giraud à Schneider-Maunoury, le Délégué à la Diversification du CEA (1974-1979)[1647]. Henri Mondin et André Schneider-Maunoury soutiennent donc le rapprochement entre le CEA et la SOFRETES alors que celle-ci fait au départ « l'objet d'une campagne de dénigrement au sein du CEA »[1648]. Ils en seront d'ailleurs actionnaires à titre individuel, comme Deflandre de l'ANVAR et Allerat de SOFINNOVA[1649]. A partir du printemps 1974, un projet de GIE ou une prise de participation est à l'étude afin que le CEA puisse apporter à la SOFRETES (qui conserve pleinement l'activité commerciale) sa collaboration dans le programme de R&D des stations mixtes de force motrice (moyenne puissance)[1650]. Girardier, Schneider Maunoury et la SOFINNOVA se mettent d'accord sur le fait que le meilleur cadre de collaboration est à la fois un GIE 50-50% sans capital et une prise de participation du CEA dans SOFRETES[1651]. Les résultats des négociations sont présentés à l'automne par Schneider-Maunoury à l'Administrateur général du CEA, André Giraud, pour lui demander son

Entretiens et correspondances avec Bernard Devin, Jean Bliaux, Max Clémot, Jean-Paul Durand, *op. cit*., 2015-2019.

[1645] CEA, lettre de l'Administrateur Général André Giraud, note n° SAAG/3287, 12 avril 1974, archives privées fonds BCD (CEA).

[1646] MONDIN, Henri, « Les études thermiques nucléaires en France et leurs applications non nucléaires », 16 International nuclear congress, 25-26 mars 1971, Rome.

[1647] Un programme d'études solaires est initié en 1972 sous l'impulsion du délégué à la mission Programmes d'intérêt Général du CEA. CEA, *Rapport annuel 1975*, p. 70. Sur Henri Mondin voir : https://www.whoswho.fr/decede/biographie-andre-schneider-maunoury_20293

[1648] MM. Clémot et Durand, lettre à M. Mondin/Chef du DTCE, note du SEEN n° SEEN-ST-74-105, 30 avril 1974, archives privées fonds BCD (CEA).

[1649] « Liste des actionnaires SOFRETES », 24 novembre 1977, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

[1650] « Avant-projet de collaboration entre le CEA et la SOFRETES dans le domaine des moteurs solaires », 2 mai 1974, archives privées fonds BCD (CEA) ; MM. Clémot et Durand, lettre à M. Cabane, Assistant du Délégué CINN, note du SEEN n° SEEN-ST-74-124, 15 mai 1974, archives privées fonds BCD (CEA).

[1651] Lettre de Schneider-Maunoury à Girardier, DGCINN 74/1186, 9 juillet 1974, archives privées fonds BCD (CEA) ; Lettre de Schneider-Maunoury à M. le Chef du Bureau technique, DGCINN 74/1326, 31 juillet 1974, archives privées fonds BCD (CEA).

autorisation de signer le protocole d'accord[1652]. L'option choisie est d'abord la création d'un GIE, doublée d'un accord de principe sur une possible prise de participation. En effet, la valorisation de la SOFRETES par la SOFINNOVA se monte à 40 MF et Schneider-Maunoury considère pour le moment que le prix à payer pour entrer est trop cher[1653]. André Giraud et le 360ème Comité de l'énergie atomique[1654] donnent leurs accords, le GIE Prométhée entre en fonction le 28 février 1975 pour une durée de 5 ans (il sera dissout le 29 mars 1978)[1655]. Son objet n'est pas uniquement solaire mais bien, en conformité avec la proposition sociotechnique de la SOFRETES, de développer des convertisseurs thermodynamiques de faibles gradients de températures naturelles ou industrielles[1656].

En une année d'existence, la SOFRETES, nouvel instrument de politique étrangère, est valorisée par la politique de l'aide à l'innovation et intégrée à la politique de diversification du CEA.

2. 1975-1977 : filialisation et mirage industriel

De la création du GIE Prométhée au début de l'année 1975 à la fin de l'année 1977, les pouvoirs publics prennent définitivement le contrôle de la SOFRETES et utilisent ses capacités de séduction politique pour pousser leurs intérêts. Pour cela, en juin 1975, la SOFINNOVA et l'ANVAR revendent leurs parts au CEA, à CFP-Total, à Technigaz, alors que la Régie Renault monte au capital des EPM.

[1652] Lettre de Schneider-Maunoury à André Giraud, DGCINN 1825-74, 25 octobre 1974, archives privées fonds BCD (CEA). Ce document présente l'historique du projet d'entreprise de Girardier, les commandes mexicaines (montant du futur marché de 100-150 MF) et sénégalaises, les détails des apports respectifs du CEA et de la SOFRETES dans le GIE Prométhée et le projet d'entrée au capital orchestré par la SOFINNOVA.

[1653] *Ibid*.

[1654] « Note confidentielle CEA pour le Comité, Prise de participation dans la SOFRETES », CEA 362, 6 mai 1975, Dossier CEA/Comité de l'énergie atomique/362ème réunion du 6 mai 1975, Archives nationales, ministère de la Recherche, répertoire 19910783, carton 1.

[1655] Nous possédons une grande partie de la documentation juridique et comptable du GIE Prométhée grâce aux archives privées du fonds usine Mengin. Voir par exemple : Contrat constitutif du GIE Prométhée, 28 février 1975 ; Extrait du registre du commerce, GIE Prométhée, N°75C1, Greffe du Tribunal de commerce de Montargis, 29 mai 1978 ; PV de l'AG du 29 mars 1978. Archives privées fonds usine Mengin.

[1656] Contrat constitutif du GIE Prométhée, 28 février 1975, archives privées fonds usine Mengin.

Parmi les grands partenaires industriels qui filialisent la PME, le CEA est dominant. Il est à la fois le premier, celui qui reste jusqu'au bout, le seul à intervenir réellement sur la machine solaire et à détacher à la SOFRETES des agents qui occupent des fonctions clefs (à la fois techniques et commerciales), alors que le pétrolier et le constructeur automobile agissent uniquement dans le cadre de l'activité commerciale à l'étranger en accompagnant de l'extérieur les actions de prospections de la PME. Concrètement, l'équipe SOFRETES-CEA travaille à la technique et à la vente. Sur le terrain, au contact des gouvernements et des administrations étrangères, les agents SOFRETES et CEA sont accompagnés de ceux de Renault et de CFP-Total en fonction des opportunités qui se présentent et des disponibilités de leurs réseaux commerciaux en fonction de l'aire géographique concernée.

Alors que de nombreux groupes industriels (comme PUK, Rhône-Poulenc, Elf) affluent vers la SOFRETES, le CEA décide, lors de la 362ème réunion du Comité de l'énergie atomique du 6 mai 1975, de la filialiser et d'autoriser la CFP-Total à entrer au capital[1657]. C'est la plus haute instance décisionnelle du CEA qui prend cette décision, celle qui précise les directives du gouvernement[1658]. La note confidentielle du CEA rédigée à cette occasion établit une synthèse et une évaluation positive de la situation et des perspectives sociotechniques et commerciales de la SOFRETES et de ses moteurs[1659]. Le rôle de Renault dans les EPM est clairement défini, elle « apporte son réseau commercial à l'étranger et ses conseils dans le domaine des fabrications industrielles »[1660]. L'action du CEA est justifiée par le développement rapide du secteur (le terme est employé), de la concurrence étrangère et des perspectives importantes

[1657] Lettre du Délégué à la Coopération industrielle non-nucléaire du CEA au PDG de SOFRETES, DGCINN 75/701, 21 mai 1975, archives privées fonds BCD (CEA) ; Lettre du GIE Prométhée à Schneider-Maunoury, 10 juin 1975, archives privées fonds BCD (CEA).
[1658] FOASSO, Cyrille, *op. cit*. 2003, p. 293 ; « Le Comité de l'énergie atomique est la plus ancienne instance qui pilote le CEA pour le nucléaire civil et militaire en France. Il arrête le programme de recherche, de fabrication et de travaux de l'organisme et examine toutes questions relatives au CEA, à la demande du Conseil d'administration, de l'Administrateur général ou du Haut-commissaire à l'énergie atomique. Le Comité des engagements lui rend compte de son activité. Il peut être saisi par les ministres de tutelle de tous les projets d'actes législatifs et réglementaires intéressant la mission ou l'organisation du CEA. Il se réunit sous la présidence du Premier ministre pour débattre des activités civiles et du ministre de la Défense pour traiter des activités de défense », CEA, *Rapport annuel 2016*, « La gouvernance du CEA », p. 3 ; CEA, *Rapport annuel 1973,* p. 4 et *1975*, p. 3. On peut suivre l'évolution de la composition du Comité à la lecture de chaque rapport annuel.
[1659] « Note confidentielle CEA pour le Comité, Prise de participation dans la SOFRETES », CEA 362, 6 mai 1975, Dossier CEA/Comité de l'énergie atomique/362ème réunion du 6 mai 1975, Archives nationales, ministère de la Recherche, répertoire 19910783, carton 1.
[1660] *Ibid*.

d'exportations industrielles. L'existence de la petite PME est donc contrôlée et suivie par le sommet de l'État[1661]. D'ailleurs, le Rapport annuel du CEA pour l'année 1975 précise que les actions conjointes avec la SOFRETES s'insèrent dans des études plus larges menées au titre des Programmes d'intérêt général du CEA et que la participation du CEA au Comité à l'énergie solaire[1662] lui permet d'orienter ses actions en fonction des lignes de développement retenues par le Délégué aux Énergies Nouvelles (DEN), Jean-Claude Colli[1663]. En d'autres termes, le projet d'entreprise de la SOFRETES s'intègre bien à la fois dans les critères qui définissent la politique de diversification du CEA et dans la politique de promotion et de démonstration des applications de l'énergie solaire décidée par le Président de la République et mise en œuvre par la DEN au début 1975, notamment à l'étranger[1664]. Cependant, la posture du CEA dans la SOFRETES s'explique également par son activité internationale.

Si, en 1975, la diversification industrielle du CEA pousse à la création de filiales dans des secteurs non-nucléaires actives à l'étranger, la volonté de développer la chaîne de l'uranium, le combustible nucléaire, essentiel à l'approvisionnement du programme nucléaire civil national, et celle d'exporter ses technologies (réacteurs), pousse également la Mission Matière nucléaire et la Mission des Applications industrielles nucléaires, à la création de filiales, minières et industrielles, actives à l'étranger, telles la SOFRATOME et la COGEMA dont nous avons déjà parlé[1665]. Le Rapport annuel du CEA de 1975 précise qu'il s'agit « d'accroître ses moyens de pénétration sur les marchés extérieurs, notamment en promouvant ses filiales »[1666]. Pouponneau explique que « pour comprendre les activités extérieures tous azimuts du CEA, il faut l'appréhender comme une entreprise commerciale en compétition pour des parts de marché. La préoccupation

[1661] La signature du frère du Président de la République, Jacques Giscard d'Estaing, apparaît sur des documents comptables du GIE Prométhée puisque ce dernier est le Directeur financier du CEA. Voir par exemple : Direction financière, Département du Budget, Le Directeur Financier, Jacques Giscard d'Estaing, à M. le Chef du Service de la Trésorerie, Note 76-376 DF/DBg, 16 décembre 1976, archives privées, documentation comptable du GIE Prométhée, fonds usine Mengin.
[1662] Premier ministre, Délégation aux Énergies Nouvelles (DEN), *L'énergie solaire*, n°110, Service d'information et de diffusion, Paris, Mars 1976, p. 9.
[1663] CEA, *Rapport annuel 1975*, pp. 68-71
[1664] Premier ministre, Délégation aux Énergies Nouvelles (DEN), *L'énergie solaire*, n°110, Service d'information et de diffusion, Paris, Mars 1976, p. 7-10 (« Actions internationales engagées », p. 10).
[1665] CEA, *Rapport annuel 1975*, « structure opérationnelle du CEA et ses principales filiales et participations industrielles », p. 18 ; « La Mission Matière nucléaire », pp. 21-27 ; « Les relations internationales », pp. 79-81 ; sur la création de la COGEMA, voir p. 106 le rappel des textes officiels.
[1666] CEA, *Rapport annuel 1975*, « Les relations internationales », p. 79.

de sa direction des relations internationales, qui fait siens les intérêts de ses filiales industrielles, est de saisir l'opportunité économique que représente un marché international du nucléaire civil en plein développement et dominé par l'industrie américaine. »[1667] C'est pourquoi les intérêts de ses filiales, bien qu'elles soient sectorisées, se recouvrent dans sa stratégie à l'international. Si le solaire peut faciliter l'accès à l'uranium et à la promotion de la technologie nucléaire civile française en raison de ses capacités de séduction politique, c'est tant mieux et d'autant plus pour le rayonnement de la France : « ne murmure-t-on pas qu'au Niger l'introduction du solaire peut permettre, parallèlement, la recherche d'uranium »[1668] ? Ainsi, on observe dès 1975 un parallèle entre la géographie des opérations de démonstration solaire et de la prospection commerciale SOFRETES avec celle des activités de la Mission Matières nucléaires. Les accords intergouvernementaux sur le nucléaire civil iranien et irakien (et d'autres pays du Golfe), des accords industriels et commerciaux avec le Brésil pour un réacteur expérimental et sur la prospection d'uranium naturel, la poursuite de l'exploration et de l'exploitation des gisements autour d'Arlit au Niger (mais aussi en Mauritanie), sont autant d'activités à l'international qui peuvent recouper celles de la SOFRETES. A titre d'exemple, en 1975-1976, la prospection commerciale de Max Clémot, l'agent CEA rapporteur d'affaires de la SOFRETES, passe par Téhéran (prélude au contrat de 1978 pour un programme solaire iranien), au Brésil où la SOFRETES crée une filiale commerciale, la SOBRETES, au Vénézuela et bien entendu régulièrement au Mexique, premier grand client solaire de la SOFRETES[1669]. Or, d'après le Rapport annuel du CEA de 1975, ces deux derniers pays sont en pleine « réorientation du programme d'équipement énergétique » et font connaître leur « regain d'intérêt pour le nucléaire », une ouverture « d'intéressantes perspectives de coopération tant avec le Commissariat qu'avec certaines de ses filiales », que la présence de la SOFRETES illustre et favorise[1670].

[1667] POUPONNEAU, Florent, *op. cit*., 2013, p. 102.
[1668] « Le Commissariat à l'énergie atomique devient le principal actionnaire de la SOFRETES », article de presse du 9 mars 1978, coupure archivée par le ministère de l'Industrie dans un dossier de presse consacré à la SOFRETES, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.
[1669] Frais de déplacement, Dossier de Max Clémot, Documents comptables du GIE Prométhée, archives privées fonds usine Mengin ; Lettre à Paulo Texeira, SOBRETES (Rio de Janeiro), 3 novembre 1975, Documents comptables de la SOFRETES, archives privées fonds usine Mengin.
[1670] CEA, *Rapport annuel 1975*, « Les relations internationales », p. 81.

A partir de 1975, cette concordance des intérêts, des temps et des lieux entre les activités Matières nucléaires et Diversification solaire du CEA se prolonge, s'intensifie, se complexifie et prend différentes formes tout au long de l'existence de la SOFRETES : opérations de démonstration mises en œuvre avec des gouvernements signataires d'accords de coopération nucléaire ou sur des sites du CEA liés à l'extraction de l'uranium[1671] ; organisation de missions de prospection solaire dans des pays où des actions d'exploration minière et des projets de coopération nucléaire sont en cours[1672] ; décision de placer certains agents du CEA à certains postes stratégiques dans l'institutionnalisation du solaire[1673] ; mise en place d'un instrument particulier de

[1671] C'est le cas de l'Iran (Dossier de l'opération SOFRETES en Iran, archives privées fonds BCD (CEA)) et du Mexique où comme nous l'avons dit au chapitre 3 le gouvernement français tente de remporter le contrat de fourniture du combustible pour l'unique centrale nucléaire de Laguna Verde. Une installation de démonstration SOFRETES est installée à Arlit, la ville nouvelle érigée pour l'exploitation des gisements d'uranium du Niger. Les câbles diplomatiques du Département d'État à Washington, rendus publics par Wikileaks, puis déclassifiés par l'administration américaine, permettent par exemple de suivre les relations franco-mexicaines au sujet de la fourniture du combustible uranium ou de la mise exploitation des gisements du Niger (ou encore de l'exploration en Bolivie). A titre d'exemple pour le Mexique voir : « French cooperation with Mexico in enrichment, power generation equipment », câble diplomatique de l'Ambassade des États-Unis à Mexico au Département d'État à Washington, 12 décembre 1978, « http://wikileaks.org/plusd/cables/1978MEXICO20482_d.html.

[1672] En Bolivie, par exemple, un projet de coopération solaire est suggéré au CEA par l'Attaché nucléaire pour l'Amérique latine alors que se met en place en parallèle un autre projet de coopération d'utilisation des énergies conventionnelles. L'Institut national de l'électrification rurale bolivien, qui est intéressé par ces perspectives (notamment l'offre géothermique de la SOFRETES, en plus des stations solaires), en profite pour demander au CEA que soient faites des propositions pour l'usage des énergies conventionnelles. L'Administrateur général du CEA, dans une lettre adressée à l'Institut, suggère de traiter à l'avenir des deux sujets dans deux correspondances séparées. Le compte-rendu d'une mission de prospection propose d'organiser une opération de démonstration de séduction politique en associant le chauffage solaire aux locaux du futur centre d'études nucléaires franco-bolivien de Viacha ainsi qu'une autre « très spectaculaire » dans une station de ski. Copie de ce document est notamment adressée à un agent de la COGEMA, administrateur de la SOFRETES à cette date. Lettre de l'Administrateur général du CEA au Directeur de l'Institut national de l'électrification rurale bolivien, 23 octobre 1978, Archives nationale, AFME, répertoire 19940249, carton 245 ; Délégué à la Diversification, Compte-rendu de mission au Brésil et en Bolivie du 17 juillet au 2 septembre 1978, 14 septembre 1978. Sur la prospection de l'uranium en Bolivie à l'époque voir par exemple : BARRETTO, M. C. Paulo, « La prospection de l'uranium dans les pays en développement – situation et tendances », *Bulletin de l'A.I.E.A.*, Vol. 21, N°2/3, 1978, pp. 18-28 ; MULLER-KAHLE, Eberhard, « Situation du marché de l'uranium et ses répercussions sur les tendances de la prospection de l'uranium et du développement des ressources », *Bulletin de l'A.I.E.A.*, 3/1990, pp. 29-33 ; Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE), *Uranium : ressources, production et demande*, 1977, p. 19, pp. 64-66 ; USA Department of the Interior, Bureau of Mines, *Minerals Yearbook, 1978-79, Volume III, Area reports : International*, 1981, pp. 149-159 ; « French to prospect for uranium », câble diplomatique de l'Ambassade des États-Unis en Bolivie au Département d'État à Washington, 2 mars 1979,
http://wikileaks.org/plusd/cables/1979LAPAZ01798_e.html.

[1673] Jean Phéline, ingénieur au CEA, devient le Conseiller technique énergie solaire du Délégué aux Énergies Nouvelles, Jean Claude Colli, en 1975. Avant d'occuper ce poste il est conseiller aux ambassades de France au Brésil et en Argentine où son rôle consiste à essayer de vendre des centrales nucléaires françaises aux gouvernements. Cette précision est intéressante dans la mesure où Phéline est envoyé plusieurs fois au Brésil (entre 1975 et 1979) par le CEA, alors actionnaire de la SOFRETES, pour négocier

financement uranium-solaire au Niger où « un fond spécial uranium avait été créé spécifiquement pour le financement de réalisations solaires »[1674] ; rôle d'intermédiaire commercial privilégié pour les projets solaires dans les pays où sont présents des attachés nucléaires ou des filiales du CEA[1675]. Pour l'heure, ce qui illustre parfaitement cette stratégie c'est la manière avec laquelle le CEA se positionne à l'intérieur du Conseil d'administration de la SOFRETES.

En effet, de 1975 à 1978, les deux administrateurs qui représentent ses intérêts croisés sont Henri Mondin et Pierre Jacquard. Le premier, en tant que Chef du DTCE, représente la Diversification solaire (dans ses aspects techniques), alors que le second, en tant que Délégué aux Matières nucléaires, représente les intérêts liés à l'uranium. Ce choix est d'autant plus symptomatique de la dynamique de gouvernance à l'œuvre dans la SOFRETES qu'avec le temps, les filiales du combustible uranium entrent de plus en plus dans la filiale solaire, à la fois par leurs agents mais aussi financièrement. En 1977, la COGEMA achète AEROWATT à la SOFINNOVA par l'intermédiaire des EPM[1676]. Dit autrement, la participation du CEA dans les EPM est détenue par la COGEMA. Le CEA filialise la PME éolienne en passant par la maison mère de sa filiale solaire sur financement de sa filiale uranium. D'autres redistributions des rôles à venir iront dans le même sens.

---

avec le gouvernement brésilien des opérations solaires. C'est également lui qui se rend en mission en Bolivie et qui rédige le compte-rendu mentionné dans la note précédente. D'après un document manuscrit de Girardier de 1981, Phéline est en poste à la direction générale (tripartite) de la SOFRETES en 1981-1982 (Archives privées de Jean-Pierre Girardier). PALZ, Wolfgang, *op. cit*., 2011, p. 33 ; Le transfert de Bernard Devin est aussi très symptomatique : Chef du projet solaire CEA, il est détaché de la Mission DINN au SAI du COMES fin 1980 pour 3 ans tout en restant conseiller du Délégué à la Diversification au CEA. « Protocole d'accord CEA-COMES », 12 décembre 1980, p. 2., Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245.

[1674] J.M. Servant, « Bilan et perspectives d'un développement des énergies renouvelables au Niger », Annexe IV, septembre 1982, *Contrat AFME-CEA, Programme 1983*, avril 1983, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245.

[1675] Voir par exemple : CEA, « Compte-rendu de la réunion COMES-CEA tenue rue de la Fédération le 30 janvier 1981 », 25 février 1981, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245. Autre exemple : à l'automne 1978, en Arabie Saoudite, la filiale du CEA Technicatome est en pourparlers avec les autorités saoudiennes pour la construction d'un centre de recherche solaire alors que la SOFRETES est en train de soumettre son projet de station mixte de force motrice aux autorités (le contrat entre Electricity Corporation et la SOFRETES est signé le 5 avril 1978). Lettre de l'Ambassadeur de France en Arabie Saoudite au Président du COMES du 28 octobre 1978, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245. Un accord gouvernemental « de coopération économique avec mention de l'énergie nucléaire » lie la France au Royaume saoudien depuis le 24 juillet 1975. CEA, *Rapport annuel 1975*, p. 80.

[1676] DGRST, M.F. Simon, *Expertise sur le rapport d'activité 1977 de la société SOFRETES*, 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; Direction Générale des Impôts, « Accord pour apport partiel d'actif », 20 juin 1979, Dossier « Fusion 1979 », Documentation comptable et juridique des Etablissements Pierre Mengin, archives privées fonds usine Mengin.

La CFP-Total[1677] est également engagée dans une politique de redéploiement industriel qui vient s'ajouter à sa stratégie de sécurisation de ses approvisionnements[1678]. Lorsqu'elle entre au capital de la SOFRETES en juin 1975, c'est officiellement pour lui apporter une aide financière et commerciale[1679]. D'abord en soutenant le volet climatisation de son programme de R&D (*cf. supra* le projet de maison solaire CLISOTOS) et secondement en lui faisant bénéficier de son réseau commercial à l'étranger, notamment au Moyen-Orient et en Afrique de l'Est.

Certaines de ses activités de diversification industrielle recoupent celles du CEA puisque le pétrolier s'engage dans l'exploration et l'exploitation de l'uranium ainsi que dans le solaire thermique (achat de Giordano), thermodynamique et photovoltaïque (achat de *Photon Power* aux USA)[1680]. La SOFRETES lui sert d'instrument de séduction politique auprès des gouvernements étrangers pour pousser ses intérêts miniers. C'est une posture qui est parfaitement identifiée à l'époque, que ce soit au sein de l'équipe

[1677] Nous associons l'entrée de Technigaz à celle de la CFP. La filiale de Gazocéan transporte des gaz de pétrole et du gaz naturel liquéfiés. Son activité appartient au même secteur. Le frigoriste entre comme la CFP par le volet froid du programme de R&D de la SOFRETES, nous en avons déjà parlé précédemment. Technigaz est le fournisseur du Butane commercial que la SOFRETES utilise dans les MGS 2-1000. Il faut également faire remarquer les préoccupations communes qui rapprochent Marbach de la SOFINNOVA et Boudet, le PDG de Gazocéan, qui est également Président de la Fondation pour l'innovation. MARBACH Christian, LINDE Pierre, *op. cit*., 1973, p. 318. https://www.whoswho.fr/decede/biographie-rene-boudet_17055. En 1978, Technigaz quitte le conseil d'administration de la SOFRETES quand Gazocéan cède son contrôle à AMREP, *Agefi*, 3 août 1978, p. 4, dossier de presse SOFRETES archivé par le ministère de l'Industrie, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2. Voir également le dossier déposé par Technigaz à la DGRST en 1975 pour appuyer la demande d'aide au développement au programme de R&D de la SOFRETES que nous avons présenté précédemment, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2. Enfin, nous renvoyons à notre article dans *Les Cahiers d'histoire du Cnam* dans lequel nous mettons en perspective l'intervention de Technigaz dans l'histoire des expérimentations du froid-solaire, CAILLE Frédéric, MOUTHON Alexandre, *op. cit*., 2020.

[1678] Voir le dossier CFP-Total que François Fiatte, le responsable de la Diversification, dépose à la DGRST en 1975 pour appuyer la demande d'aide au développement au programme de R&D de la SOFRETES que nous avons présenté précédemment. Les documents de ce dossier présentent la politique de diversification officielle de la CFP-Total comme le discours de Granier de Lilliac à l'Assemblée Générale des actionnaires le 26 juin 1975, quelques jours après la prise de participation dans la SOFRETES. « Allocution de M. Granier de Lilliac à l'Assemblée Générale du 27 juin 1975 », Rapport du Conseil d'administration de CFP-Total, Exercice 1974, Dossier CFP – V. Renseignements financiers, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

[1679] C'est l'Omnium financier de Paris (OFP) qui détient les parts de la CFP-Total. « Liste des actionnaires SOFRETES », 24 novembre 1977, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; « Organigramme du Groupe Total », Dossier CFP – V. Renseignements financiers, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

[1680] CFP-Total, *Rapports annuels 1973 et 1974*, Dossier CFP – V. Renseignements financiers, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2 ; Rapport du Conseil d'administration de CFP-Total, Exercice 1974, Dossier CFP – V. Renseignements financiers, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2 ; GRANIER DE LILLIAC, René, « La crise du pétrole : une compagnie nationale : la CFP », *La Nouvelle Revue des Deux Mondes*, Février 1980, pp. 270-281 ; CEA, *Rapport annuel de 1975*, p. 12 ; LUCAS, N.J.D, *op. cit*. 1979, pp. 36-37.

SOFRETES, dans la presse économique, dans l'administration et par des analyses académiques.

A la SOFRETES[1681], la CFP-Total organise avec Max Clémot, l'agent du CEA rapporteur d'affaires de la SOFRETES, des voyages de promotion commerciale dans le Golfe (Irak, Iran, Pakistan, Émirats, Koweït). En Arabie Saoudite, sur le projet de station mixte de force motrice de Ryad, une filiale de Total est désignée pour assurer le suivi du chantier et c'est le pétrolier qui joue les intermédiaires solaires avec les autorités saoudiennes[1682]. Aux Émirats Arabes Unis, elle initie la commande d'un MGS 2-1000 en installant une serre solaire de démonstration (*cf. supra* l'habitat solaire CLISOTOS), méthode qu'elle réitère en Iran avec un chauffe-eau solaire dans le poste de garde du palais impérial. La CFP-Total vient ainsi renforcer le projet solaire du CEA en Iran et en bénéficier pour ses propres intérêts. Au Soudan, CFP-Total qui cherche à obtenir des permis, va faciliter la réalisation de l'opération de démonstration SOFRETES que finance le MAE grâce à la présence sur place de sa filiale de distribution *Nil Import Trading Oil Compagny* (NITOC) qui prend en charge l'ingénieur SOFRETES. Elle participe également au déplacement d'une mission au Cameroun. Au Kenya, c'est auprès du VSNA, mis à la disposition de la SOFRETES par le MAE, que Total apporte son aide logistique lors de son séjour. Autant d'exemples issus de l'expérience du terrain qui confirment que l'action de la CFP-Total en faveur de la SOFRETES se limite exclusivement à une stratégie d'accompagnement commercial parfaitement énoncée dans la presse économique : « la CFP, qui est largement présente dans le domaine de l'exploration pétrolière et dans la distribution de produit Total (carburants et lubrifiants), devient le principal agent de la SOFRETES dans les pays du Sahel, l'Est Africain, la péninsule Arabique, le Pakistan et l'Inde. »[1683] Cette position lui permet de consolider ses relations avec des gouvernements aux intérêts pétroliers tout en maintenant l'activité de la SOFRETES dépendante de ses relations institutionnelles. Ses actions ne promeuvent pas le solaire comme une solution sociotechnique pour laquelle un marché doit être initié,

[1681] Les exemples qui suivent sont tirés de : CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER Jean-Pierre, *op. cit*., 2010 ; Entretiens avec CLEMOT Max, DURAND Jean-Paul, GIRARDIER, Jean-Pierre, HURTEAU Félix, *op cit* ; « frais de déplacement », dossiers personnels de Clémot, Losada, Archenbroich, Méhu, documentation comptable de la SOFRETES, archives privées fonds usine Mengin.
[1682] Lettre du Président Directeur Général de la SOFRETES à la DIMME, ministère de l'Industrie, 9 septembre 1981, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1683] *Les Échos*, 8 mars 1978, p. 12, Dossier de presse SOFRETES archivé par le ministère de l'Industrie, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2.

bien au contraire, elles soutiennent uniquement des opérations de démonstration au fort potentiel politique pour maintenir le système des relations polico-énergétiques en place.

Le politiste américain Lucas interprète la prise de participation et les actions de CFP-Total dans la SOFRETES de la même manière que nous : « *the CFP has an overseas network capable of arranging distribution ; It also beleives that the ability to offer solar energy technology will help in its negociations with developing countries over licences for exploration for oil and uranium.* »[1684] Au ministère de l'Industrie, la DIMME, qui suit les affaires de la SOFRETES, reconnaît parfaitement que « (pour la CFP) le solaire reste une vitrine qui présente un certain attrait notamment sur les marchés du Moyen-Orient »[1685].

La stratégie des firmes pétrolières en matière de diversification énergétique pose donc la question de savoir si elles cherchent à conserver leur domination en devenant des énergéticiens (élargir leur monopole aux autres sources d'énergie et créer un marché solaire) ou en restant des pétroliers (en menant des actions attentistes). Dans les deux cas de figure elles doivent maintenir leur monopole sur la source d'énergie principale et s'engager pour le contrôle des autres afin de suivre l'orientation de la politique publique.

Une première stratégie suggère que les pétroliers prennent le contrôle des secteurs énergétiques émergents tels le nucléaire (par l'activité minière) et le solaire (en rachetant des PME) en calquant leurs acquisitions sur les choix de la politique publique de l'énergie. Lorsque l'État favorise le nucléaire, elles investissent dans l'uranium afin de bénéficier des retombées de ce nouveau marché. Pour le solaire l'idée est la même, il faut prendre des parts au cas où. Comme elles suivent les décisions étatiques et que l'État ne crée pas de marché solaire, leur prise de contrôle des PME solaires participe donc à l'écarter des possibles car « le rétablissement du monopole énergétique, non plus au niveau pétrolier mais à celui du nucléaire, nécessite en effet que l'exploitation d'autres sources, peut-être plus rentables du point de vue de l'intérêt général c'est-à-dire

[1684] « La CFP dispose d'un réseau à l'étranger capable d'organiser la distribution ; Elle estime également que la capacité d'offrir la technologie de l'énergie solaire l'aidera dans ses négociations avec les pays en développement sur les licences d'exploration du pétrole et de l'uranium ». LUCAS, N. J. D., *op. cit*., 1979, p. 91.

[1685] DIMME, « Note sur la SOFRETES », 1er janvier 1978, p. 3, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

socialement mieux acceptables, ne soit pas entreprise afin que la rentabilité monétaire à court terme du nucléaire reste assurée »[1686]. C'est une forme de sabotage :

> Comme on le voit, le contrôle des nouvelles sources d'énergie s'accompagne d'une stratégie attentiste au niveau de l'exploitation : il s'agit de s'assurer le contrôle de l'ensemble des sources susceptibles d'être rentables à court terme et de développer systématiquement celle pour laquelle l'État pratiquera une politique d'aide, puisque c'est celle-là qui assurera les taux de profit les plus élevés (celle-là si l'État optait pour une politique réelle de diversification énergétique). La monopolisation de la source d'énergie dominante mise en exploitation passe toutefois par la prise de contrôle de l'ensemble des sources d'énergie susceptibles d'être dominantes, du moins selon les estimations du secteur privé. Comme l'horizon temporel retenu par lui est relativement court, le solaire n'y est pas inclus. »[1687]

Une seconde stratégie vient compléter la première. Puisque les pétroliers ont des intérêts dans des PME solaires autant les utiliser pour rester des pétroliers. C'est là qu'intervient la capacité de séduction politique de la machine solaire qui est alors mis à profit par une politique commerciale purement pétrolière. La première interprétation de la place du solaire dans la stratégie des pétroliers est proposée en 1975 par Jacques Percebois, puis complétée en 1984 par Perrin[1688]. Cependant, pour ce dernier, les pétroliers se diversifieraient dans le solaire avec la volonté de devenir des énergéticiens plutôt qu'avec l'objectif de l'instrumentaliser à des fins uniquement pétrolières[1689]. Notre

---

[1686] PERCEBOIS, Jacques, *op. cit*., 1975, p. 144.
[1687] *Ibid*. p. 146.
[1688] PERRIN, Francis, *op. cit.,* 1984.
[1689] Sur cette controverse Perrin prend clairement position contre l'idée que la diversification solaire des pétroliers répondrait à des objectifs de relations publiques et d'entrave au développement de l'énergie solaire (pp. 135-138). Nous sommes donc en désaccord avec son analyse. Il détaille les différentes orientations sectorielles des prises de participation de CFP aux pp. 192-217. C'est surtout dans la troisième partie de son mémoire qu'il présente son interprétation des raisons à la diversification solaire et de ses conséquences sur les PME solaires : « Risques de suppression de l'innovation dans l'énergie solaire par les compagnies pétrolières » (pp. 461-483). L'auteur rappelle également que ce débat est vif aux USA dans la seconde moitié des années 1970. Il est notamment animé par un entrepreneur solaire qui publie un pamphlet pour accuser les pétroliers d'avoir torpillé son entreprise. Le sujet est repris au Sénat où un projet de loi anti-trust est proposé en janvier 1975 pour empêcher les électriciens et les pétroliers de racheter les PME solaires et la controverse est étudiée par un comité. Lire les pages 437 et 461. Le livre coup de poing est celui de KEYES, John, *The Solar Conspiracy*, Morgan & Morgan, New York, 1975. Perrin rapporte également le cas de la SOFEE qu'Elf rachète en 1975 à Marbach de la SOFINNOVA après avoir tenté de monter au capital de la SOFRETES. Les deux PME ont des points communs notamment le fait qu'elle sont issues du secteur traditionnel de l'assainissement et qu'elles mettent au point des capteurs plans thermiques. Leur seconde similitude est de se voir refuser les augmentations de capital nécessaire à leur développement solaire par leurs administrateurs pétroliers après que ceux-ci les ont encouragés à accepter des commandes en s'endettant pour « ensuite prétexter des pertes trop importantes » (p. 281). Un état de fait que le PDG de la SOFEE dénonce en accusant la stratégie d'ELF, ce sur quoi le rejoint Girardier. Pour Timothy Mitchell aussi, les pétroliers ne chercheraient pas à devenir des énergéticiens mais seulement à consolider leur activité traditionnelle au détriment des autres secteurs (nucléaire et renouvelable). MITCHELL, Timothy, *op. cit*., 2013, 2017.

étude démontre l'inverse en ajoutant cette dimension d'instrument de séduction politique à la stratégie d'un monopole suiveur de la décision étatique caractérisée par Percebois pour qui « l'État peut ainsi lancer le solaire comme il a lancé le nucléaire… Seul l'État, garant de l'intérêt général, est en fait en mesure de créer actuellement les conditions d'émergences à grande échelle du solaire »[1690].

Percebois met en avant un dernier argument en défaveur des convertisseurs solaires dans la stratégie des pétroliers et ce plutôt en faveur du photovoltaïque que du thermodynamique. Il s'agit de leurs caractéristiques économiques industrielles qui les rend difficilement monopolisables, « il s'agirait, rappelons-le, d'une industrie à rendements d'échelle constants et à rendements marginaux probablement très faiblement croissants »[1691]. Ces déterminants s'ajoutent donc à leurs caractéristiques politiques pour les rendre bien peu désirables aux yeux des pétroliers qui par défaut choisiront plutôt l'industrie photovoltaïque en raison d'une concentration industrielle plus aisée de la production des cellules en silicium (haute technologie) et *in fine* de sa monopolisation. La sophistication industrielle nécessaire à la fabrication des cellules et son intégration à la filière du silicium électronique interdisent tout transfert de procédé de fabrication aux pays du tiers-monde.

La participation de la Régie Renault est semblable et complémentaire à celle de la CFP. Il faut comprendre que globalement leurs intérêts convergent. Ils œuvrent conjointement à s'introduire à l'étranger pour sécuriser leurs approvisionnements et pénétrer des marchés. Les actions commerciales de l'un peuvent induire l'obtention de contrats pour l'autre. Pouponneau explique en prenant le cas du Pakistan que des accords de coopération dans le nucléaire civil obtenus par le CEA peuvent introduire l'achat d'autres technologies françaises[1692]. D'ailleurs, la CFP-Total organise avec Max Clémot, l'agent du CEA rapporteur d'affaires de la SOFRETES, un voyage de promotion commercial dans le Golfe auquel participe le représentant de Renault (Irak, Iran, Pakistan, Émirats). Dans cette configuration, leurs intérêts réciproques dans leur filiale solaire commune ne peuvent que servir leurs stratégies sectorielles (automobile, uranium-nucléaire civil, pétrole et gaz). Comme en témoigne Félix Hurteau, l'agent commercial

[1690] PERCEBOIS, Jacques, *op. cit*., 1975, p. 145.
[1691] *Ibid*.
[1692] POUPONNEAU, Florent, *op. cit*., 2013, p. 102.

que Renault affecte aux affaires de la SOFRETES, « nous avions une sorte de GIE informel avec la CFP et le CEA », les tournées de prospection étaient le plus souvent tripartites[1693].

La prise de participation de la Régie Renault dans les EPM en 1975 s'inscrit d'abord dans une politique de diversification industrielle du groupe débutée sous la présidence de Pierre Dreyfus (1955-1975) et poursuivie sous celle de Vernier-Palliez (1976-1981) qui organise l'entreprise publique en quatre secteurs : l'automobile, le poids lourd, les activités industrielles de diversification et la finance (souvenons-nous de la mission de Clémot auprès de Somoza orchestrée par Renault Finance)[1694].

De 1974 à 1977, le groupe Renault tente de s'implanter dans les pays exportateurs de matières premières avec l'espoir que ces revenus permettent le développement d'un marché automobile, surtout dans les pays pétroliers (Vénézuela, Algérie, Iran, Mexique, etc.)[1695]. Dans le même temps, la diversification est considérée comme un instrument pour « compenser les pertes conjoncturelles de l'automobile »[1696]. Cette double stratégie trouve dans la SOFRETES un véhicule commercial très adapté au contexte (choc pétrolier et écologie politique), et aux objectifs que se fixe le constructeur à l'étranger. Une autre raison est souvent invoquée pour expliquer la diversification industrielle de la Régie Renault. Le gouvernement se sert du constructeur pour intervenir auprès d'entreprises en difficultés et les racheter afin de maintenir leurs activités[1697].

[1693] Entretien avec Félix Hurteau du 27 novembre 2018.

[1694] L'association Renault Histoire gère les fonds d'archives historiques de l'entreprise Renault. Elle publie une revue d'histoire de l'entreprise. Nous nous sommes mis en relation avec cette structure pour obtenir des informations sur la diversification solaire de la Régie Renault dans les années 1970. Nous avons adhéré à cette association. Le site web de Renault Histoire met à disposition du public ou des abonnés de nombreux articles à vocation historique.
https://www.sites.google.com/site/histoiregrouperenault/un-peu-d-histoire/chronique-renault/c-la-rnur-de-pierre-dreyfus-1955---1975 ; https://www.sites.google.com/site/histoiregrouperenault/un-peu-d-histoire/chronique-renault/d-iv-la-transition-b-vernier-paillez-et-b-hanon-1976---1984
; TACET Daniel, ZENONI Gérard, *Renault, secret d'État*, Paris, Albin Michel, 1986 ; FREYSSENET, M., "Renault, une stratégie d'innovation et flexibilité à confirmer", *in* FREYSSENET M., MAIR A., SHIMIZU K., VOLPATO G. (dir.), *Quel modèle productif ? Trajectoires et modèles industriels des constructeurs automobiles mondiaux*, Paris, La Découverte, 2000, pp 405-440.

[1695] FREYSSENET M., FRIDENSON P., POINTET JM (dir.), « Les données économiques et sociales de Renault. Les années 70 et 80 », Paris, GERPISA, 1995 ; FREYSSENET, Michel, « L'internationalisation de la production de Renault : 1898-1979 », Communication au Colloque "Economic Crisis and Urban Austerity", New-York, Columbia University, 27-30 mai 1980, session "New International Patterns of the Division of Labour", « 1966-1974. La formation de la multinationale Renault », pp. 20-23 et « 1975-1978. Poursuite de la croissance par l'exportation », pp. 23-25 ; FREYSSENET, M., *op. cit*., 2000, p. 423.

[1696] *Ibid*., p. 423.

[1697] *Ibid*., p. 414.

A la Direction Générale de la Régie Renault c'est le centralien René Meesemaecker qui dirige la branche des activités diversifiées en développant les loisirs (acquisition des cycles Gitane en 1974 par exemple), et en élargissant la gamme des moteurs vers le bas. Pour lui, « créée en 1974, (RMD) est l'expérience la plus caractéristique de la diversification »[1698]. Maurice Badiche, qui est un des représentants de RMD au Conseil d'administration de la SOFRETES, précise que pour diversifier sa production, sans s'éloigner de son activité de motoriste, la Régie Renault met en place une veille moteur afin d'identifier les secteurs et les entreprises susceptibles d'être intégrés. RMD est en fait une filiale holding qui sert d'instrument pour regrouper différentes entreprises fabricantes de moteurs industriels ou de loisirs (bateau, jardinage, deux roues, solaires). La diversification solaire est dès le départ considérée comme un vecteur « pour le réseau commercial de la Régie Renault, cela pouvait aussi valoriser son image de marque »[1699]. Ainsi, en février 1975, RMD devient « l'agent général exclusif pour la vente » des produits SOFRETES[1700]. Deux agents de prospection commerciale sont diligentés aux affaires de la SOFRETES par l'intermédiaire d'un département de RMD, la Renault Moteurs International (RMI), c'est elle qui en fait s'occupe exclusivement de la relation commerciale de la SOFRETES et de ses futurs clients[1701].

Le témoignage de Félix Hurteau est sans ambiguïté sur l'instrumentalisation de la SOFRETES et de son moteur par Renault qui utilise son potentiel de séduction politique auprès des gouvernements des pays où le constructeur automobile souhaite s'implanter. Pour Hurteau, aucune de ses missions ne sont vraiment solaires, toutes sont automobiles. L'opération solaire « de prestige » est clairement un « cadeau » fait à la Présidence pour vendre autre chose :

[1698] MEESEMAECKER, René, « Renault et la diversification 1965/1980 », Renault-Histoire, n°17, août 2005, pp. 83-96 (p. 91 pour la citation).
[1699] BADICHE, Maurice, « Quand Renault s'intéressait au soleil », *Renault-Histoire*, n°18, juillet 2006, pp. 143-148 (p. 144 pour la citation).
[1700] *Ibid*.
[1701] RMD (80 000 000 FF de capital) est une société holding à participations dans le domaine des moteurs et des loisirs. Son activité est la gestion de filiales. RMI est un de ses départements. Dossier COFACE déposé par SOFRETES-Mengin-Renault Moteurs Développement le 18 mai 1977 pour une demande d'assurance prospection à l'étranger de 1976 à 1982, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16. MM. Joseph Galané et Félix Hurteau sont les deux agents qui prennent en charge sur le terrain les relations de prospection commerciale RMD-SOFRETES. M. Galané est décédé, nous nous sommes entretenus avec sa veuve qui nous a mis en contact avec Félix Hurteau. Ce dernier nous a accordé un entretien le 27 novembre 2018 dans lequel il explicite très clairement la stratégie mise en œuvre par Renault avec sa prise de participation dans la SOFRETES.

> A l'époque c'était un peu notre Concorde… Ça donne une image de marque à l'entreprise… Ça fait vaisseau-amiral… On ne faisait pas seulement des moteurs polluants, on faisait aussi des moteurs… renouvelables… D'ailleurs, on nous prenait au sérieux et on était reçu directement par le ministre, venant de chez Renault… Si j'avais été le représentant de Mengin, j'aurais pu attendre 10 ans avant d'être reçu par le ministre de l'Énergie … Je profitais du solaire pour rapprocher des industriels. Au Brésil, pour un projet d'usine de vélo Gitane. C'était notre manière de pénétrer certains pays en disant « on commence une coopération avec l'énergie solaire et on en profite pour toutes nos industries traditionnelles ». Vous avez une très bonne déduction, c'est exactement ça. Renault c'était une manière de faire « des bonnes œuvres et du commerce » quoi… A partir du moment où on avait un contact grâce à l'énergie solaire, moi j'avais tout mon Bazard Renault avec moi, à savoir les moteurs traditionnels Diesel, les groupes électrogènes, les moteurs de voitures qu'on vendait déjà à l'époque à d'autres constructeurs [1702].

Au Mexique et au Brésil, Hurteau est le plus souvent l'intermédiaire direct entre la SOFRETES et le gouvernement, alors qu'en Iran, Renault ne participe pas aux négociations solaires mais sert simplement d'agent logistique pour faciliter les séjours de Clémot (CEA-SOFRETES) sur place[1703]. La relation SOFRETES-Iran est plutôt le fait du CEA et de la CFP. La différence tient à la position de Renault dans ces pays. En Iran, Renault est bien implanté en 1975 alors qu'au Mexique et au Brésil, dans les années 1960-1970, sa présence est difficile à maintenir[1704]. L'exemple Brésilien est symptomatique. Le plan Alcool brésilien, qui prévoit la production de biocarburant à partir de canne à sucre, encourage le développement du secteur automobile qui met en concurrence Renault avec Fiat et VW alors que ces derniers sont à l'origine d'un intense *lobbying* en faveur de ce plan[1705]. Dans le même temps, la politique de diversification de Renault l'engage également dans l'exportation de machinisme agricole au Brésil[1706]. Hurteau confirme que Renault cherche alors par tous les moyens à se créer des opportunités de contacts favorables auprès du gouvernement pour rester dans la course. En 1975, Hurteau,

[1702] Entretien avec Félix Hurteau du 27 novembre 2018.
[1703] Hurteau nous mentionne d'autres missions de prospection en Afrique pendant lesquelles il est reçu directement par la Présidence notamment au Congo quelques temps avant l'assassinat du Président Marien Ngouabi (1969-1977).
[1704] Renault rencontre des difficultés à rester au Brésil : elle part en 1967 et tente d'y revenir à partir de 1973 où le marché est dominé par VW et GM-Ford. Mais elle n'y parvient pas. Fiat entre en 1976. https://www.sites.google.com/site/histoiregrouperenault/un-peu-d-histoire/histoire-des-sites-renault/bresil-sao-bernardo-et-curitiba.
Au Mexique voir https://sites.google.com/site/histoiregrouperenault/un-peu-d-histoire/histoire-des-sites-renault/mexique-page-en-construction ; Renault-Histoire, Spécial Renault Amérique latine, n°34, octobre 2015 ; COMBE, Lucien, « Renault, 25 ans en Amérique latine », Renault-Histoire, n°5, juin 1993, pp. 69-108 ; Renault-Histoire, Spécial Renault en Asie-Pacifique, avril 2014 (Iran et Moyen-Orient) ; CORVIOLE, J., « Histoire de la SAIPA Iran de 1974 à 1979 », Renault-Histoire, n°18, juin 2006, pp. 77-96 ; CORVIOLE J., REYNIER JP, « Renault en Iran », Renault-Histoire, n°20, juillet 2008, pp. 41-58.
[1705] Intervention de M. La Rovere, KAHN, Philippe, *op. cit*., 1979, pp. 487-488.
[1706] MEESEMAECKER, René, *op. cit*., 2005, pp. 88-89.

qui représente la SOBRETES, filiale brésilienne de la SOFRETES, est à l'initiative d'une rencontre avec le ministre de l'Industrie brésilien lors d'une mission dans le Nordeste avec Girardier et Clémot du CEA pour proposer un projet de centrale solaire. Les conclusions de l'évaluation de cette mission par la DIMME nous confirment l'attrait qu'exerce la SOFRETES et son moteur solaire sur le gouvernement brésilien, la crédibilité de sa proposition sociotechnique et la pertinence de la stratégie commerciale solaire de Renault. La note de la DIMME affirme que : « la technique Sofretes (pompe et turbine solaire) est au point et qu'elle est la seule au monde à pouvoir justifier cette assertion… Les Brésiliens proposent de réaliser une adduction d'eau dans la région du Nord Est qui nécessite un groupe de 200 KW… Aucune réalisation de ce genre n'existe dans le monde… Le succès de cette opération peut avoir un retentissement commercial extraordinaire »[1707]. Elle insiste sur le fait que :

> Le solaire est certes cher mais il est adapté pour une mise en valeur du territoire basé sur des aménagements avec peu de maintenance et peu de dépense de fonctionnement, qui doit donc être autonome une fois lancée. {…} En produisant de l'électricité ce projet peut servir à mettre en place des communautés rurales autosuffisantes en énergie. {…} Les Brésiliens sont tellement motivés qu'ils ne demandent aucune garantie technique, ce qui est assez exceptionnel. {…} Ils demandent un crédit de 8 ans pour un contrat de 14 MF. {…} En raison de l'intérêt de cette affaire, ET souhaite qu'elle soit très rigoureusement défendue auprès de la DREE [1708].

Pour la Régie Renault, sa stratégie de contrôle des activités commerciales de la SOFRETES lui permet donc d'avoir recourt aux instruments étatiques de soutien au commerce extérieur. C'est par exemple le cas quand Félix Hurteau rédige pour RMD le dossier de demande d'assurance-prospection COFACE pour un budget de 2 600 000 FF du 1.03.1977 au 28.02.1982 afin de couvrir les frais de déplacement, les salaires des agents délégués, les frais de publicité, etc.

Dans l'argumentaire qui motive cette demande, Hurteau insiste sur le soutien que les pouvoirs publics français accordent déjà à leur action commerciale auprès des gouvernements étrangers et sur l'importante retombée de ces opérations solaires pour le rayonnement de la France dans le monde : « des programmes de coopération et d'implantation de stations solaires sont en cours avec 17 pays (61 stations et centrales

[1707] Note « Projet de vente Sofretes au Brésil », DGI, 27 novembre 1975, Dossier SOFRETES 1977-1984, Archives nationale, ministère de l'Industrie, répertoire 19910397, carton 48, reproductions interdites.
[1708] *Ibid*.

solaires) grâce en particulier à l'aide apportée - par la Délégation aux énergies nouvelles (dépendant du Ministère de l'Industrie), le Ministère de la Coopération (programme Sahel Énergies Nouvelles) et le Ministère des Affaires étrangères qui nous appuient dans toutes nos démarches commerciales - qui permet de conforter l'image de la France, en tant que pays spécialiste de l'énergie solaire »[1709]. Les termes de ce document permettent également de mesurer toute l'étendue de la zone géographique à prospecter pour RMD qui cherche à faire bénéficier les activités automobiles de cette assurance-prospection pour le solaire :

> Pays objet de l'assurance prospection au 31 mars 1977 :
> Afrique : Maroc, Tunisie, Lybie, Soudan, Kenya, Éthiopie, Somalis, Tanzanie, Zambie, Yémen, Angola, S.O. Africain (Namibie, Lesotho, Swaziland), Afrique du sud, Ile Maurice, Nigeria, Cameroun, Zaïre, Congo, Togo, Dahomey.
> Asie : Turquie, Irak, Afghanistan, Koweït, Pakistan, Ceylan, Indonésie, Chine, Australie, Jordanie, Syrie, Liban.
> Amériques : U.S.A., Cuba, Venezuela, Colombie, Argentine, Nicaragua, Chili, Pérou, Bolivie, Paraguay, Uruguay, Guyanes, toutes iles des Caraïbes (sauf Haïti).
> Europe : Portugal, Espagne[1710].

La structure générale de l'organisation de la vente à l'étranger est ensuite présentée. Elle repose prioritairement sur le réseau Renault-CFP existant. Au Sénégal, Renault (avec CFP et le CEA) participe à la SINAES A. Daguerre (*cf. supra* tableau 12), la filiale que la SOFRETES crée avec le gouvernement sénégalais en 1976 pour assurer son service après-vente en Afrique de l'Ouest et initier un transfert de technologie (fabrication des capteurs, de chauffe-eau et procédés de montage des stations)[1711]. Elle est présidée par le Président de la République du Sénégal, Léopold

[1709] Dossier COFACE déposé par SOFRETES-Mengin-Renault Moteurs Développement le 18 mai 1977 pour une demande d'assurance prospection à l'étranger de 1976 à 1982, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1710] *Ibid*.
[1711] Entretiens avec Marc Frager des 12 et 13 décembre 2018. La Société industrielle des applications de l'énergie solaire ou SINAES A. Daguerre est ainsi dénommée en l'honneur d'Albert Daguerre qui est représentant du Sénégal à l'ONUDI à Vienne auprès de laquelle Senghor insiste pour qu'il occupe des fonctions importantes afin d'œuvrer à l'industrialisation du Sénégal. C'est donc un choix très symbolique que d'associer son nom au projet de transfert de technologie solaire dont la SINAES est porteuse. Cela confirme une fois de plus l'instrumentalisation du solaire en général et de la SOFRETES en particulier par le sommet des hiérarchies politiques et administratives pour pousser divers intérêts. Lettre du Président Senghor au Secrétaire Général des Nations Unies, Kurt Waldheim, du 16 février 1974, N°317/PR/S. P., UN Secretariat, Items-in-Heads of States – Senegal, S-0907-0008 : Correspondence with heads-of-state 1965-1981. Afin de mesurer l'implication de la SINAES dans les opérations solaires mises en œuvre par le ministère de la Coopération, dans des projets d'équipement thermodynamiques et photovoltaïques, on peut consulter les « fiches projets du Programme d'implantation terminé en cours d'exécution ou prochainement

Sédar Senghor. En Iran, un projet de *joint-venture* est en cours de réalisation (*cf. supra* tableau 12). Dans le cas des pays où Renault n'est pas encore implanté il lui faut trouver des relais auprès d'autres industriels :

> Représentation commerciale et service après-vente confiés à des importateurs en fonction de leur bonne connaissance du marché local et de leur potentiel (réseau Renault et CFP-Total choisis en priorité). Dans certains pays, en fonction des exigences locales, création de sociétés à capitaux mixtes étrangers et nationaux (ex. Sénégal, Iran). Dans la zone à prospecter, avons déjà des importateurs avec contrat de représentation qui prospectent le marché (ex : Maroc, Tunisie, Soudan, Kenya, Nigéria, Éthiopie, Ile Maurice, Cameroun, Zaïre, Congo, Togo, Bénin, où les contrats de représentation sont déjà formalisés). Dans les autres pays de la zone considérée, nous avons des correspondants auxquels nous ne sommes pas encore liés par contrat[1712].

Le tableau ci-dessous présente les moyens de prospection envisagés pour les pays prioritaires en 1977-1978.

Tableau 13 : moyens de prospection envisagés pour les pays prioritaires en 1977-1978

PAYS	SITUATION	PROJET	REPRESENTATION
Soudan	Don de 2 MGS 2-1000 par le MAE	Profiter de cette vitrine pour susciter un programme d'irrigation d'envergure avec des financements arabes	Total NITOC à Khartoum
Cameroun	Station en fonction à Makary (lac Tchad)	Périmètres d'irrigation au nord-Cameroun	Renault Afrique à Douala
Turquie	Demande du ministère de l'Énergie turc qui crée un Institut d'énergie solaire à Marmaris		Recherche d'un groupe industriel pour collaborer
Venezuela	2 missions déjà effectuées. Exposition Francia à Caracas pour établir des contacts.	Suivi des contacts	Renault Venezuela
Chine	Gouvernement chinois choisit l'énergie solaire comme domaine de coopération avec Renault	Mission dans le courant de l'année	En pourparlers avec Brambilla
USA	Avons de très nombreux contacts avec des sociétés		Recherchons le meilleur partenaire pour diffuser nos équipements, tant sur

réalisé en mai 1979 » dans le dossier « Sénégal 1976-1981 », Archives nationales, COMES répertoire 20010454, carton 41.

[1712] *Ibid*.

	spécialisées dans l'énergie solaire qui sont très intéressées par notre expérience sur le terrain		le marché US que sur des pays tiers sélectionnés
Maroc			Renault Maroc Casablanca
Tunisie			Ets Bro Nec Tunis
Kenya	Pompe de Wajir offerte par le MAE	La présence du siège de l'UNEP à Nairobi devrait susciter un programme financé par les Nations Unies	Renault et Total Nairobi

Source : Dossier COFACE déposé par SOFRETES-Mengin-Renault Moteurs Développement le 18 mai 1977 pour une demande d'assurance prospection à l'étranger de 1976 à 1982, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

Le cas de la Chine est particulièrement révélateur du recourt à la SOFRETES et des solutions recherchées par Renault pour trouver un revendeur de solution solaire à visée automobile. Girardier est embarqué pour une mission Renault-Berliet (vente de camions) avec le soutien des pouvoirs publics qui mobilisent différents intérêts industriels autour d'un événement solaire par l'intermédiaire d'une compagnie de commerce international introduite en Chine. Brambilla Cogros est une des rares maisons de commerce qui a ses entrées en Chine dans cette période de transition entre la fin du maoïsme (1971-1976) et l'ouverture économique aux investissements étrangers de Deng Xiaoping à partir de 1978-1979[1713]. Nous avons retrouvé un des agents commerciaux de Brambilla, Claude Cessot, qui nous confirme en entretien que cette compagnie d'import-export jouait le rôle d'intermédiaire entre les grands industriels français, qui voulaient pénétrer l'immense marché en devenir chinois, et les autorités[1714]. Les négociations avaient lieu dans des chambres d'hôtel à Hong-Kong. Parmi ses clients se trouvaient bien Renault et des filiales du CEA comme Intercontrole. Les premiers contacts avec les Chinois sont établis lors du colloque mondial sur l'électricité solaire de Toulouse en mars 1976. RMD sollicite alors

[1713] Brambilla, aujourd'hui AEC, est fondé par André Dassori (ancien FFI) et Félix Brambilla. CHIENG André, CHONGYANG Chang, *Les Nouvelles routes de la soie : l'art de commercer avec la Chine*, préf. d'André DASSORI, Economica, 1987, https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k3336204b/f26.image.texteImage ; ABEILLON, Jean-Claude, *Les grandes figures de la riche histoire des Sociétés de Commerce Extérieur françaises*, OSCI Les entrepreneurs de l'international, 2016 ; http://www.aec-china.com/fr/history.htm.

[1714] Entretien avec Claude Cessot du 9 novembre 2018.

Brambilla Cogros pour représenter ses intérêts en Chine. L'affaire est suivie par la DEN, et l'ACTIM rassemble différents acteurs intéressés par une future mission énergie nouvelle en Chine. Bernard Bailly du Bois (polytechnicien, conseiller scientifique de de Gaulle, en poste successivement à la DGRST et à la DG de l'Énergie, membre du comité de l'Énergie solaire, du conseil scientifique du CEA et du COMES) est recommandé par le DEN à l'ACTIM pour préparer la mission. Elle a finalement lieu en juin 1978 à l'occasion d'un colloque sur les énergies nouvelles[1715].

Par sa courte présence au capital des EPM (1975-1978), par son siège au Conseil d'administration de la SOFRETES, par son rôle d'agent commercial exclusif des produits solaires de la petite PME de Montargis, la Régie Renault ne cherche donc pas à développer le solaire. Sa filiale RMD doit d'ailleurs faire face à des actions solaires d'une autre filiale du constructeur automobile, contraires à ses intérêts. La SERI Renault, une filiale d'ingénierie du bâtiment industriel, participe aux côtés du CNRS et de l'EDF au projet de centrale solaire à tour Thémis (hautes températures par concentration). Les deux filiales de l'entreprise publique, RMD et SERI, se retrouvent indirectement en concurrence, *via* leurs partenaires respectifs, le CEA et le CNRS, pour obtenir les subventions de l'État nécessaires aux deux programmes de R&D. A tel point que « la Régie Renault s'était engagée avec SOFRETES dans une lettre de P. Dreyfus de mars 1975 à ne pas concurrencer cette dernière (la SERI) pour des puissances allant jusqu'à 500 kW »[1716]. Une situation similaire se retrouve dans le photovoltaïque. En effet, la Régie Renault reçoit de la DEN une subvention de 2 MF en 1976 pour participer au programme Énergies Nouvelles pour le Sahel, non pas avec la SOFRETES, dont elle est actionnaire avec sa filiale RMD, mais pour organiser l'appel d'offres de pompes photovoltaïques *via* son autre filiale, la SERI. Or la SOFRETES répond à cette d'offre. Cependant, la SERI Renault écarte sa proposition au profit de ses concurrents, les pompes Briau et Guinard[1717]. Au sein même du groupe Renault, les actions de ses propres filiales créent les conditions propices à des actions contre-commerciales.

[1715] Dossier « Chine 1976-1981 », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 32.
[1716] BADICHE, Maurice, *op. cit*., 2006, p. 146.
[1717] Dossier « Programme 1976, SERI Renault, Appel d'offre », Archives Nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 6.

Le solaire ne semble donc pas être un objectif industriel pour Renault. Cependant, aussi marginal soit-il au regard des sommes allouées et des quelques dizaines de réalisations sur le terrain, il est remarquable de noter, une fois de plus, que la présence de l'entreprise publique au sein du Conseil d'administration de la petite PME est confiée à une modeste filiale dont le PDG est pourtant un agent de l'élite politique et administrative, François Doubin (1933-2019), futur ministre[1718]. Ce choix ne fait que renforcer le contraste qui caractérise l'existence politique de la SOFRETES et de sa machine : une très forte capacité de séduction politique mobilisée par le sommet de l'État pour pousser des intérêts éloignés du solaire tout en le contrôlant, alors que très concrètement, dans les ateliers de l'usine Mengin, s'affairent quelques dizaines d'ouvriers sur des machines rudimentaires qui fabriquent quelques dizaines de robustes moteurs solaires qui sont installés par un ou deux hommes à des milliers de kilomètres dans une zone aride et pauvre. Toutes les conditions pour industrialiser cette proposition sociotechnique sont là en 1978. Il ne manque que la volonté de le faire : « A.M. : Mais est-ce que ce passage au stade industriel a été proposé à Renault, plus haut dans la hiérarchie ? F.H. : Oui tout à fait. Mais Renault, en 1978, a dit : on arrête le match »[1719].

[1718] François Doubin (1933-2019) : « Chargé de mission (1957-59) au cabinet de Félix Houphouët-Boigny (ministre d'État puis ministre de la Santé publique et de la Population puis à nouveau ministre d'État), Élève à l'École nationale d'administration (Ena) (promotion Saint-Just, 1961-63), Administrateur civil au ministère de l'Industrie (1963-65), Assistant du président-directeur général (1965) puis Directeur commercial adjoint (1966-68) de la Saviem, Directeur, Chargé de mission à la direction commerciale (1968) puis Directeur de la grande exportation (1970-72) de la Régie nationale des usines Renault, Président-directeur général (1972-75) du groupe moteurs de la Régie Renault (division Renault moteurs, Renault Marine Couach, Bernard Moteurs) puis Président-directeur général (1975-77) de Renault Moteurs Développement SA, de Bernard Moteurs et de Renault Marine Couach, Directeur des projets spéciaux (1977-78), Directeur central de l'information et des relations publiques puis Directeur central de la Communication (1981) et Secrétaire général (1984-85) de la Régie Renault, Secrétaire national (1978-85), Président (1985-88) du Mouvement des Radicaux de Gauche (MRG), Ministre délégué auprès du ministre de l'Industrie, du Commerce extérieur et de l'Aménagement du territoire, chargé du Commerce, de l'Artisanat et du Tourisme (mai-juin 1988), Ministre délégué auprès du ministre de l'Industrie et de l'Aménagement du territoire, chargé du Commerce et de l'Artisanat (1988-91), Ministre délégué au Commerce et à l'Artisanat (1991), Ministre délégué à l'Artisanat, au Commerce et à la Consommation (1991-92), Président-directeur général du Centre français du commerce extérieur (CFCE) (1992-96), Président du Groupement européen pour la promotion du commerce international (1992-96), Maire d'Argentan (1989-2001), Conseiller général de l'Orne (1992-98), Président de l'association Ville et métiers d'art (depuis 1995), Vice-président de la Confédération française des métiers d'art (depuis 1997), Président de l'Institut de formation commerciale permanente (Ifocop) (depuis 1997), Conseiller régional de Basse-Normandie (1998-2004). » https://www.whoswho.fr/decede/biographie-francois-doubin_15446

[1719] Entretien avec Félix Hurteau du 27 novembre 2018.

La posture de la CFP et de Renault vis-à-vis du développement du solaire, entre intégration et attentisme, explique qu'au final les modalités de leur présence entretiennent le mirage industriel de la proposition sociotechnique de la SOFRETES. Pourtant, cette position qui peut apparaître ambiguë est en partie déjà analysée en 1979 par le juriste Éric Loquin qui s'intéresse aux structures juridiques de la coopération privée dans les énergies renouvelables[1720].

L'auteur identifie les types de contrats passés entre les grands groupes industriels et les PME solaires afin de comprendre la nature réelle de leurs actions, leurs objectifs et leurs volontés. Or c'est justement l'exemple de la SOFRETES et de ses relations avec la CFP et RMD qui est choisi pour illustrer ces situations contractuelles et leurs limites. Le constat relève l'existence de deux instruments juridiques qui réglementent leurs relations et limitent *de facto* la liberté d'agir de la PME et les possibilités d'industrialisation de la proposition sociotechnique. En d'autres termes, la relation contractuelle entre la SOFRETES et RMD-CFP, crée les conditions propices pour ralentir, voire pour empêcher l'industrialisation des machines solaires de la SOFRETES.

Le premier instrument encadre le partenariat en termes de R&D. Il associe l'existence d'une société commune (une filiale commune aux capitaux mixtes en l'occurrence) et une copropriété des brevets qui englobe les inventions réalisées ensemble (le capteur type Diré par exemple) mais également celles qui la précèdent et qui sont exploitées en commun lors de la vente et de l'installation d'une station. Cette configuration permet au leader sectoriel de contrôler l'usage d'une invention en se l'appropriant complétement puisque la SOFRETES devient incapable de les exploiter (en raison de ses difficultés gestionnaires). C'est ce que fait par exemple la CFP avec la maison CLISOTOS qui n'est jamais commercialisée.

Le second instrument prend la suite du premier en établissant les conditions de commercialisation de la machine (l'exploitation des résultats de R&D). La CFP et RMD sont les agents commerciaux exclusifs de la SOFRETES qui est dépendante de leur réseau à l'étranger, non seulement pour les démarches commerciales, mais également pour le service après-vente. En échange, la SOFRETES « s'interdit de négocier par l'intermédiaire d'un autre mandataire ou directement »[1721]. Elle accepte ainsi la

[1720] LOQUIN, Éric, « L'organisation juridique du nouvel espace énergétique international », *in* KAHN, P., *op. cit*., 1979, pp. 443-482. Notamment la deuxième partie « la coopération privée », pp. 470-482.
[1721] *Ibid*., p. 476.

monopolisation de la décision par le pétrolier et le motoriste quant à l'avenir de « sa » machine solaire. Si une telle coopération commerciale peut intégrer la proposition sociotechnique solaire au catalogue de CFP-RMD, dans le même temps, pour Loquin, elle maintient la concurrence à l'intérieur du partenariat et favorise des actions contraires aux intérêts solaires :

> Plus étrange est le maintien de la concurrence à l'intérieur d'une structure de coopération commerciale. Certains accords le stipulent pourtant expressément. Ainsi plusieurs grandes entreprises ont-elles négocié la constitution d'une société commune capable de commercialiser en Afrique de l'Ouest des technologies solaires basse température (la SOFRETES). Compte-tenu de la présence au sein de la société de deux partenaires ayant des technologies concurrentes, le mécanisme suivant a été élaboré : le directeur général demandera des offres précises à chacun des deux partenaires et les proposera à la clientèle[1722].

La position de Girardier, alors PDG de la SOFRETES, est donc très délicate et sa marge de manœuvre restreinte. La nomination d'un DG de chez Alsthom en juin 1978 au départ de Renault est révélatrice des forces centrifuges alors à l'œuvre au sein de l'organisation administrative de la SOFRETES[1723].

Si l'on ajoute à tout cela le fait que les transactions se font dans un marché d'aides entre gouvernements (international ou bilatéral), et que les leaders sectoriels des industries traditionnelles dont il est question sont des entreprises dans lesquelles l'État est décideur, on comprend mieux qu'il ne reste en 1978 à la SOFRETES que le nom de PME car son PDG ne contrôle absolument plus rien de ses objectifs. Le petit moteur solaire thermodynamique n'existe plus que par la puissance publique.

3. 1978-1979 : le verrouillage administratif

Les années 1978-1979 sont celles des dernières grandes commandes (Iran, Arabie Saoudite, Diakhao, géothermie, etc. *cf. supra* tableau des installations). L'entreprise a besoin de capitaux pour y répondre. Cependant, d'octobre 1977 à février 1978, le retrait de Renault s'organise et suspend les chances d'industrialisation du moteur solaire MGS 2-1000 et de celle d'un compresseur à vis spécifiquement conçu pour les stations mixtes de force motrice alors en cours d'installation (type Diré par exemple). Les discussions

[1722] *Ibid*., pp. 476-477.
[1723] PV du CA de la SOFRETES du 1er juin 1978, archives privées fonds BCD (CEA).

concernant la reprise des parts de Renault permettent de cerner les positions de la Direction (de Girardier), de la DIMME (DGI du MI) et du CEA sur l'avenir à donner aux activités de la SOFRETES et sur la configuration administrative adéquate. A la demande du Délégué aux Énergies Nouvelles (DEN), le CEA devient momentanément ultra-majoritaire. Les sièges sont redistribués au Conseil d'administration où le CEA fait entrer le COMES, l'administration de mission solaire du gouvernement nouvellement créée. Puis, une fusion entre les EPM et de sa filiale solaire est mise en œuvre avec l'entrée d'Alsthom-Atlantique en juin 1979. Ces décisions écartent progressivement son fondateur et Président Directeur Général du contrôle de son entreprise.

Alors que Renault abandonne ses intérêts dans la SOFRETES, Girardier soumet au ministère de l'Industrie un Plan de développement sur 5 ans (1978-1982) pour soutenir la réorganisation commerciale à l'étranger de la SOFRETES et supporter un équipement industriel supplémentaire[1724]. Le constat est que la SOFRETES n'a pas les moyens financiers et industriels nécessaires pour répondre à ses commandes et poursuivre son programme de R&D. Les pertes proviennent de l'amortissement des frais de R&D, de l'animation commerciale, du transport et des retards occasionnés par les difficultés liées au terrain[1725]. En revanche, la marge atteinte sur les installations thermodynamiques basse température est déjà de 31-32 % alors que le seuil de rentabilité est à 25 %[1726]. L'augmentation de capital est estimée à environ 30 MF. De novembre 1977 à février 1978, la situation de la SOFRETES est discutée à la DIMME.

Le bilan de la situation dressé par la DIMME fin novembre 1977 relève que les perspectives d'activité de la SOFRETES sont très bonnes mais qu'elles nécessitent en effet d'injecter du capital d'autant plus que les concurrents américains et allemands « guettent une défaillance… ils se sont manifestés épisodiquement »[1727]. Selon elle, l'aide

[1724] « Plan de développement de la SOFRETES à 5 ans (1978-1982) », deux versions (l'une fin 1977 alors que RMD est toujours actionnaire et l'autre en date du 9 juin 1978), Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1725] « Analyse du projet de développement de SOFRETES », DGI, 1977, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1726] *Ibid*.
[1727] « Malgré les prix de vente que l'on dit trop élevés elle a réussi une percée spectaculaire dans les pays sahéliens et subtropicaux en devenant le fournisseur exclusif pour un nombre important d'installations avec deux projets majeurs au Mexique et au Mali », « Les perspectives restent prometteuses au niveau de la demande qui semble s'orienter vers des installations plus importantes pouvant atteindre 500 KW et répondant à des besoins plus diversifiés comme la fourniture de courant ou d'énergie pour les travaux d'irrigation », « un réseau commercial adapté à ces matériels et implanté dans tous les pays clients »,

devrait être apportée par RMD mais ce dernier refuse car « dans la hiérarchie des préoccupations, les actions pour le solaire sont dépassées par des priorités plus importantes ; le marché exigera des efforts constants que RMD n'est pas en mesure de fournir ». Pour la DIMME, la meilleure solution serait une prise de participation d'IRRIFRANCE. Elle conclut sur l'importance de soutenir cette restructuration et la poursuite de la réussite de la SOFRETES.

Le PDG d'IRRIFRANCE, M. Baudot, vient alors discuter à la DIMME de la possibilité d'entrer dans la SOFRETES. IRRIFRANCE appartient à PUK, Vallourec et Rhône-Poulenc. Son activité est grosse consommatrice de tuyaux pour l'irrigation à l'export. Elle cherche des systèmes de mise en pression et de distribution à connecter avec ses réseaux. Sur le marché africain les besoins des dispositifs d'irrigation sont évalués autour des 100-150 kW. Pour IRRIFRANCE, la proposition technique que la société Bertin réalise dans le cadre du projet de centrale corse de Vignola entre en concurrence avec celle de la SOFRETES. La DIMME conclut que la solution technique SOFRETES qui pourrait intéresser IRRIFRANCE n'est donc pas encore parfaitement établie (la station mixte de force motrice de Diré n'est pas encore entrée en fonction à cette époque). Nonobstant, « pour les Pouvoirs Publics l'intérêt suscité ne faiblit pas »[1728].

Girardier est reçu à la DIMME pour présenter sa vision de l'avenir après avoir discuté avec le PDG d'IRRIFRANCE. Un accord de principe semble passé avec IRRIFRANCE : SOFRETES fournirait des centrales de 100-120 kW et s'engage à commercialiser les systèmes de type Bertin pour répondre à des besoins faisant appel à des puissances supérieures. La fabrication locale des capteurs serait privilégiée ou alors par SOVIREL, la filiale de St-Gobain. IRRIFRANCE apporterait un allègement des frais occasionnés par la commercialisation et la maintenance : à la différence de RMD et de CFP, IRRIFRANCE serait actionnaire d'une entreprise dont elle utiliserait les machines

« obligation de maintenir au plan international un réseau de service après-vente particulièrement étoffé afin de garantir le fonctionnement d'installations nouvelles qui sont en cours de mise au point permanente », « Dans cette perspective le CA de la société à l'horizon 82 serait de 100 MF dont 80% à l'exportation ; avec les structures actuelles elle ne serait en mesure d'atteindre qu'un chiffre d'affaire de 15 à 20 MF (…) », « Il manque 30 MF sur 5 ans pour suivre l'accroissement du marché (elle perd 2 MF/an) ». « Note de la DIMME sur les besoins financiers liés au développement de la SOFRETES », 24 novembre 1977, Dossier SOFRETES (1977-1984), Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910397, carton 48, reproductions interdites.

[1728] Note de la DIMME, « Affaire SOFRETES – Position d'IRRIFRANCE », 5 décembre 1977, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

pour ses propres installations d'irrigation à l'étranger. Ce partenariat apparaît plus cohérent. Girardier fait une proposition. Il met en garde contre l'entrée possible d'un grand groupe et souhaite conserver ses parts. Aussi suggère-t-il la création d'une société holding dans laquelle entrerait l'IDI (son concurrent le plus direct, le PDG de Leroy-Somer - Pompes Guinard, Georges Chavannes, est administrateur de l'IDI) qui chapoterait trois autres sociétés : la SOFRETES en charge de la R&D, l'usine Mengin pour la fabrication et une société de commercialisation. Il veut « éviter la participation d'un groupe puissant de l'industrie d'équipement … car dans ce cas il sent bien que la SOFRETES lui échappera à terme »[1729]. L'avis de la DIMME est plutôt favorable :

> Pour les pouvoirs publics et la DIMME en particulier il s'agit de bien apprécier si un montage qui exclut un groupe industriel important est viable et présente les garanties suffisantes pour permettre à la SOFRETES de réussir sa croissance. La solution proposée par M. Girardier a l'avantage de conserver à cette société son dynamisme et sa motivation, éléments qui ne sont pas à négliger dans un tel dossier. La DIMME pourrait proposer l'inscription de ce dossier à l'ordre du jour de la prochaine réunion des « trois » : DGI, Trésor, IDI[1730].

En janvier, alors que le dossier n'a toujours pas trouvé de solution, la DIMME commence à nuancer sa position. Elle affirme dans une note que la candidature d'IRRIFRANCE est la meilleure au regard de la complémentarité des activités. Une première version de la note conclut que les pouvoirs publics doivent accompagner IRRIFRANCE dans cette restructuration si elle décide de donner une suite favorable mais le paragraphe est barré pour être remplacé par une formule qui impliquerait moins directement les pouvoirs publics[1731].

Les deux problèmes majeurs auxquels fait face la SOFRETES sont clairement relayés par la DIMME : l'activité commerciale et le service après-vente, les besoins de capitaux. La solution au premier problème est la « participation souhaitée et encouragée » d'IRRIFRANCE mais aucune solution évidente ne semble apportée pour le second car « il semble que M. Girardier attende que les Pouvoirs Publics lui apportent une source de financement ». Si la note concède que la demande de 30 MF de JPG n'est qu'une estimation, elle voit dans l'importance du contrat avec Ryad une marque de crédibilité en

[1729] Note de la DIMME, « Affaire SOFRETES – IRRIFRANCE », 6 décembre 1977, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1730] *Ibid*.
[1731] Note de la DIMME, « Note sur les besoins financiers liés au développement de la SOFRETES », 11 janvier 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

faveur de ce plan de développement très hypothétique : « il semble cependant que les prévisions industrielles de M. Girardier soient en bonne voie de se réaliser, car il vient de décrocher à Ryad un contrat de plus de 5 MF qui peut s'avérer une excellente opération publicitaire. »[1732]

Fin janvier 1978, à la suite d'une nouvelle rencontre avec Girardier, la DIMME arrête une position plus franche, favorable à une prise en charge par les pouvoirs publics :

> Un geste fort des Pouvoirs Publics qui se chargeraient d'assurer le financement en tout ou partie, indiquerait clairement une volonté d'aider la SOFRETES à poursuivre son expansion. Cette attitude de l'administration devrait inciter aussi les principaux actionnaires de la société, le CEA et la CFP à accompagner la SOFRETES en acceptant d'éponger les pertes prévues au minimum pour les trois premiers exercices. {…} On ne peut être que favorable au dossier défendu par M. Girardier. {…} Il y a là une chance que les Pouvoirs Publics ne doivent pas laisser passer. {…} Toutefois, il semble que le schéma proposé ne s'appuie pas avec assez de force sur un actionnariat par ailleurs puissant mais peut-être pas assez près des réalités industrielles.[1733]

Cependant, la DIMME soumet l'obtention d'une nouvelle Aide au développement à la future entrée d'un industriel puissant, une orientation contre laquelle Girardier a justement mis en garde[1734]. L'administration transmet ses conclusions au DEN début février dans lesquelles il n'est plus question d'IRRIFRANCE (nous ne sommes pas en mesure d'expliquer ce retournement qui pourtant scelle un avenir possible de la SOFRETES) :

> L'entrée d'un partenaire mécanicien nous apparaît souhaitable pour conserver à ce secteur des équipements solaires à la fois son caractère d'innovation et sa marque industrielle en évitant de lui donner une orientation trop marquée vers la recherche. J'aurais souhaité que nous puissions examiner en concertation, l'ensemble des problèmes qui se posent à cette société et notamment sur la recherche d'un partenaire éventuel parmi lesquels Vallourec, Creusot-Loire, Spie-Batignolles, Les Construction Métalliques de Provence pourraient être sollicités[1735].

[1732] Note de la DIMME « pour Monsieur le Directeur – Affaire SOFRETES », 13 janvier 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ;
[1733] Note de la DIMME « note sur la SOFRETES », 18 janvier 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16
[1734] *Ibid*.
[1735] Note de la DIMME « note pour Monsieur le Délégué aux énergies nouvelles – Avenir de la SOFRETES », 7 février 1978, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

Par la voix du DEN, le ministre de l'Industrie demande alors au CEA de reprendre les parts de RMD dans l'attente d'une autre solution[1736]. Cette porte ouverte par la DIMME sera mise à profit un an plus tard par la CGE. Mais avant d'en examiner les modalités, il convient d'analyser la réorganisation de l'entreprise par le CEA et les modifications apportées au sein du Conseil d'administration de la SOFRETES.

Dès les premiers mois de l'année 1978, la position du CEA et de ses agents dans la SOFRETES est donc repensée. Le GIE Prométhée est dissout et les agents du CEA détachés sont administrativement intégrés à la SOFRETES[1737]. Des négociations sont menées avec le CNRS et Bertin pour que la SOFRETES participe à la commercialisation de leurs propositions techniques à l'étranger quand cela est possible[1738]. Il s'agit de normaliser des relations par bien des aspects concurrentielles. C'est la même volonté qui pousse par exemple à contractualiser un GIE au Sénégal avec les pompes Briau (filiale de Vallourec) en vue de la fabrication de capteurs sur place[1739]. La fusion prochaine de la SOFRETES avec sa maison mère les EPM est annoncée[1740]. De nouveaux administrateurs font leur apparition.

Pierre Jacquard remplace André Schneider-Monoury. Jacquard passe du poste de Délégué aux matières nucléaires du CEA à celui de Délégué à la Diversification (en 1979 la dénomination change pour celle de Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles)[1741]. Il devient administrateur des EPM. Il faut rappeler que la SOFINNOVA est toujours présente au capital et que Marbach devient administrateur du COMES à sa création le 9 mars 1978 alors que Jean-Claude Colli, le DEN, y est nommé commissaire

[1736] « Le Commissariat à l'énergie atomique devient le principal actionnaire de la SOFRETES », article de presse du 9 mars 1978, coupure archivée par le ministère de l'Industrie dans un dossier de presse consacré à la SOFRETES, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2 ; « Note pour le comité – Évolution de la société SOFRETES-MENGIN », CEA 433, question n°6, 10 décembre 1981, Dossier CEA/Comité de l'énergie atomique/433ème réunion du 10 décembre 1981, Archives nationales, ministère de la Recherche, répertoire 19910783, carton 1.,

[1737] Compte-rendu du Comité de Direction Prométhée du 5 janvier 1978, archives privées fonds BCD (CEA).

[1738] PV du CA SOFRETES du 23 mars 1978, archives privées fonds BCD (CEA). Au Sénégal, terre historique des activités de la SOFRETES, la concurrence solaire française n'en demeure pas moins féroce en 1978 comme l'atteste justement la mission du PIRDES CNRS. « Énergies nouvelles, relations avec le Sénégal », DEN, 17 mai 1978, Archives nationales, COMES, Dossier coopération par pays, Dossier Sénégal 1976-1981, répertoire 20010454, carton 41.

[1739] *Ibid*.

[1740] PV du CA SOFRETES du 23 mars 1978, archives privées fonds BCD (CEA).

[1741] *Ibid*. ; *Rapport annuel du CEA 1979*, p. 84.

du gouvernement. Le photovoltaïcien du LEP de Phillips, Henry Durand, alors Président du COMES, est soudain coopté en tant qu'administrateur de la SOFRETES par Jacquard qui lui siège au Conseil scientifique du COMES[1742]. Jacquard fait également entrer deux agents de la Cogema au Conseil d'administration, Viard[1743] et Geoffroy, ainsi que le PDG d'AEROWATT M. Noël[1744]. Geoffroy est administrateur de la Compagnie minière d'Akouta au Niger (COMINAK), une des compagnies minières filiales de la Cogema qui exploite l'uranium nigérien[1745]. En effet, la participation du CEA dans les EPM et dans la SOFRETES passe par la Cogema et certaines de ses filiales telles la Société générale pour les techniques nouvelles (SGN)[1746] ou la Société d'Études et de Recherches d'Uranium (SERU)[1747]. Rappelons d'ailleurs qu'AEROWATT est rachetée en partie à la SOFINNOVA par la Cogema *via* les EPM en 1977. En 1978, alors qu'André Giraud termine sa mission d'Administrateur général du CEA, il est nommé ministre de l'Industrie et George Besse est PDG de la Cogema. Nous avons déjà mentionné le commentaire de Marbach au sujet de sa vente d'AEROWATT directement à Besse. Voilà son témoignage, complémentaire, sur le rapport de Giraud à la SOFRETES qui nous éclaire encore davantage sur le référentiel solaire du ministre de l'Industrie :

> Je sais que pour l'opération de vente et de l'entrée du CEA, j'ai eu des conversations avec Giraud ! Enfin bon ! Pour des affaires qui valaient 1, 2 ou 3 millions de Francs, on allait au sommet hein ! C'était complètement dingue. C'est par ce qu'on en était venu… en termes… là on est en plein dans la politique, et dans la communication politique, et de ce côté-là vous avez raison de parler de politique… On était venu à un moment donné, à la fin des années 1970, où tout le monde mettait l'énergie solaire en avant, avec une grande hypocrisie, et souvent une grande sottise, comme les gens qui vous disaient : Avec trois éoliennes vous n'avez plus besoin d'essence, etc, … Et vous n'avez pas besoin de nucléaire non-plus … Donc à ce moment-là toutes les grandes boîtes, un peu sous la pression de

[1742] *Ibid.* ; « Décret portant nomination de membres du Conseil d'administration du commissariat à l'énergie solaire », *Revue juridique de l'Environnement*, 4, 1979, p. 355 ; « Conseil scientifique du commissariat à l'énergie solaire », *Revue juridique de l'Environnement*, 4, 1979, p. 354.
[1743] VIARD, J.J., « Les activité de la Cogema », *Travaux*, n°518, avril 1978, 35 p ; « La Cogema et le cycle du combustible », *Techniques de l'Énergie*, n°17, (1978 ?), pp. 4-7.
[1744] PV du CA SOFRETES du 23 mars 1978, archives privées fonds BCD (CEA).
[1745] Son Président est Pierre Taranger que Jacquard a remplacé au CEA comme Délégué aux Matières nucléaires. Le frère du Président de la République et Directeur financier du CEA, Jacques Giscard d'Estaing, en est aussi l'administrateur aux côtés de Geoffroy. *COMINAK*, brochure de présentation de 1978 ; *Rapport annuel du CEA 1975*, p. 18 ; *Rapport annuel du CEA 1979*, p. 100.
[1746] Document manuscrit (probablement début 1978 après reprise par le CEA des parts de RMD) sur les difficultés de la SOFRETES, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire19910399, carton 6 ; SGN, *Rapport annuel du CEA* 1979, p. 100.
[1747] « Sa part directe dans le capital de SOFRETES-MENGIN décroît, celle de SERU Société d'Études et de Recherches d'Uranium, dans EPM augmente », *Rapport annuel du CEA 1979*, p. 98. SERU est une filiale de la Cogema en 1975 (*Rapport annuel du CEA 1975*, p. 18). En 1979 elle devient une filiale du CEA de « gestion et services » (Rapport annuel du CEA 1979, p. 99).

> l'État, mais un peu aussi pour être bien vis-à-vis d'une certaine opinion politique, ont dit : Mais le solaire, on en a du solaire ! … Giraud voulait faire du solaire parce que cela lui permettait de dire : attention, je ne suis pas seulement atomique, c'était quand il était patron du CEA, je ne suis pas seulement nucléaire, je suis aussi solaire, renouvelable.[1748]

Un mémo manuscrit archivé par la DIMME fait le point sur ce remaniement administratif provisoire du CEA et sur les solutions alors à l'étude courant 1978 concernant l'avenir de la SOFRETES. La note nous apprend l'existence d'une proposition de la COGEMA, plutôt radicale puisqu'elle envisage de faire disparaître la SOFRETES : « Besse est prêt à mettre l'argent… à prendre Mengin et à supprimer SOFRETES… Solution COGEMA : Besse supprime Montargis, installe à Pierrelatte, supprime le soleil »[1749]. La position de la CFP semble très en retrait par rapport au pouvoir décisionnel du CEA : « CFP est prêt à suivre le CEA »[1750]. L'alternative de « trouver un autre opérateur » est mentionnée[1751]. Le mémo rappelle que La Direction Générale de la SOFRETES est confiée à un agent d'Alsthom, M. Roch (Girardier se retrouve donc seulement Président) [1752]: « problème de Girardier : chercheur et thermodynamique basse température »[1753].

Nous observons donc que les signes de désajustements par rapport au projet d'entreprise initial se multiplient. Les forces centrifuges deviennent dominantes. Girardier perd de plus en plus le contrôle de sa société. L'équipe commence d'ailleurs à perdre confiance. L'ingénieur centralien Dominique Mercier démissionne. Le Directeur commercial, Marc Vergnet, est nommé par Henry Durand, le Président du COMES et administrateur de la SOFRETES, au Comité technique du COMES en parallèle à son activité principale[1754]. Ce qui est perçu de l'intérieur de la SOFRETES comme une marque supplémentaire des conflits d'intérêts à l'œuvre qui déstabilisent l'entreprise. Par exemple, le COMES refuse une demande d'aide R&D que la SOFRETES dépose pour la mise au point d'un dispositif de pompe photovoltaïque qui envisage d'équiper une pompe Vergnet par un moteur linéaire de l'entreprise suisse ETHEL. Or, Girardier découvre que

[1748] Entretien avec Christian Marbach du 12 octobre 2018.
[1749] Document manuscrit de 1978 (vraisemblablement après juin 1978), Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 6.
[1750] *Ibid*.
[1751] *Ibid*.
[1752] *Ibid.* ; PV du CA SOFRETES, 1er juin 1978, archives privées fonds BCD (CEA) ; organigramme SOFRETES, 28 août 1978, archives privées fonds BCD (CEA).
[1753] Document manuscrit de 1978 (vraisemblablement après juin 1978), Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 6.
[1754] Lettre de Jean-Paul Durand à Jacquard du 9 février 1979, archives privées fonds BCD (CEA).

l'expert dépêché par le COMES pour l'évaluation du dossier est un agent de son concurrent Leroy-Somer[1755]. Les relations entre la SOFRETES et le COMES se dégradent très vite.

Cette réorganisation administrative, ordonnée par le ministre de l'Industrie, affirme donc la place prépondérante du CEA dans le contrôle de la SOFRETES, notamment par l'intérêt de la filière du combustible uranium. Cependant, la PME solaire filialisée se trouve également investie par l'administration de mission solaire du gouvernement (le COMES), alors qu'Alsthom se rapproche en accédant à la Direction Générale.

Les préconisations pour l'avenir de la SOFRETES que le service du Délégué à la diversification du CEA adresse au ministre de l'Industrie au début de l'année 1979 rendent compte des insuffisances dont souffre l'entreprise mais également de sa position vis-à-vis des actions du COMES et d'Alsthom-Atlantique (AA).

Premièrement, les lacunes du CEA et de ses filiales SOFRETES et AEROWATT sont identifiées. Le manque de moyens financiers disponibles au CEA pour soutenir des opérations de démonstration à l'étranger hypothèque les chances d'industrialisation des dispositifs car « celles-ci sont pourtant l'étape indispensable entre le modèle probatoire aboutissement des études et le lancement d'une série industrielle »[1756]. Les transferts de technologies prévus par cette proposition sociotechnique dans les laboratoires solaires « du Sénégal, du Niger, d'Égypte, d'Irak, du Mexique » sont impossibles car les ingénieurs disponibles pour ces missions de longues durées font défaut et les VSNA du MAE ne peuvent y pallier[1757].

Deuxièmement, trois obstacles aux exportations de la SOFRETES sont mentionnés. D'abord les concurrences américaines et allemandes, mieux subventionnées. Ensuite, la politique du COMES est jugée comme n'étant « pas orientée franchement vers l'aide à l'exportation, car ses crédits seront pour plusieurs années absorbés en grande partie par Thémis et la participation à la centrale solaire européenne », c'est-à-dire « des

[1755] Lettre de Jean-Pierre Girardier à Jean-Paul Durand (copie à Jacquard, Devin et Roch) du 29 mai 1979, archives privées fonds BCD (CEA).
[1756] « Politique industrielle du CEA dans le secteur des énergies nouvelles », CEA Diversification, 12 janvier 1979, Dossier « Conseil des ministres du 26 juin 1979 », p.4, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19880199, carton 5.
[1757] *Ibid*.

réalisations de prestige » sans retombée industrielle[1758]. Enfin, les gouvernements étrangers clients attendent « des cadeaux solaires parce qu'ils sont courtisés par nos concurrents plus riches »[1759]. La meilleure solution commerciale pour la SOFRETES est alors la plus-value du transfert de technologie qui doit les accompagner grâce à la création de filiales et de *joint-venture* en coopération avec des laboratoires locaux comme elle essaye de le faire.

Troisièmement, une « alliance » doit-être contractée afin d'augmenter le capital nécessaire au maintien de la R&D, à l'industrialisation pour faire baisser les coûts de production afin d'être compétitif sur le marché des aides nationales et internationales, au financement des besoins liés à l'augmentation du chiffre d'affaires et à la croissance du chiffre d'affaires en tant que tel[1760]. Pour ce faire, il faut privilégier un actionnaire qui apporte un marché, « par exemple : Irrifrance » et surtout pas Alsthom-Atlantique ou Jeumont-Schneider[1761].

L'avis de la Diversification du CEA semble donc assez différent de la proposition de Besse à la Cogema et rejoint plutôt ceux de la DIMME et de Girardier tout en dénonçant l'absence de soutien du COMES à l'export, c'est-à-dire de la politique publique solaire du gouvernement. Plus intéressant encore est sa mise en garde contre l'entrée d'un grand groupe équipementier électromécanicien comme Alsthom-Atlantique qui risque au contraire d'entraver l'activité, en imposant par exemple des contraintes d'approvisionnement (*cf. supra* chapitre 4 le cas de l'opération géothermique en Thaïlande)[1762]. C'est justement ce qui va se passer.

En juin 1979, les EPM et la SOFRETES fusionnent en une nouvelle entité administrative, la SOFRETES-Mengin (SM). La CGE en devient actionnaire[1763] avec ses filiales Alsthom-Atlantique (AA) et la Cipel, présentées dans le rapport annuel du CEA

[1758] *Ibid*., p. 5.
[1759] *Ibid*.
[1760] *Ibid*.
[1761] *Ibid*.
[1762] *Ibid*.
[1763] Armines entre également au capital à hauteur de 1%. Il s'agit d'une entreprise qui s'appuie sur les laboratoires de recherches des Écoles des Mines pour en valoriser les résultats dans l'industrie. Cette présence dans la SOFRETES assure la continuité de son suivi par des acteurs de l'innovation en étroite liaison avec le Corps des Mines alors que Christian Marbach prend la tête de l'ANVAR et que la SOFINNOVA se retire définitivement de la SOFRETES. https://www.armines.net/fr ; https://www.imt.fr/imt/labels-et-partenaires/armines/

comme des partenaires industriels et techniques « dans deux domaines clés, les moteurs et les photopiles »[1764]. Pourtant, la CGE n'apporte pas son aide technique et industrielle. Pour comprendre les objectifs, les modalités et les effets de son action dans l'administration de la SOFRETES et sur ses activités à l'export, il convient de reconstituer l'historique de leurs relations et de ses propres activités solaires.

Nous avons précédemment mentionné la contractualisation d'un partenariat entre Rateau (CGE) et les EPM au sein d'un GIE en 1971 dont l'objet est de développer une activité commerciale commune dans le secteur des pompes d'assainissement et de l'adduction d'eau potable. L'activité historique de Rateau dans les expérimentations de convertisseurs de l'énergie thermique des mers, ainsi que la place qu'elle occupe dans le secteur du pompage et des turbocompresseurs (acteur industriel du programme d'équipement nucléaire national et de la chaîne d'enrichissement de l'uranium), a aussi été rappelée. En 1975, Rateau fournit à la SOFRETES le turbocompresseur dont elle a besoin pour équiper la centrale mixe de force motrice mexicaine de San Luiz de la Paz. Dit autrement, la SOFRETES achète à la CGE le moteur solaire qu'elle n'a pas. Ce qui signifie que, premièrement, la CGE développe une activité de R&D solaire semblable à celle de la SOFRETES mais qui est déjà suffisamment opérationnelle pour fournir un moteur solaire de 30 kW qui génère de l'électricité ; et secondement que la SOFRETES est dépendante de la CGE pour l'approvisionnement de l'élément central à son dispositif, le segment moteur.

En effet, la CGE mène des activités de R&D solaires dans les domaines thermodynamiques (turboalternateur Rateau et moteur à vis CIT-Alcatel) et photovoltaïque (Piles CIPEL). Le ministère de l'Industrie en est bien informé car la CGE participe à la table ronde « Journée sur les énergies non-traditionnelles » au Salon international de l'innovation, INOVA 1975, au cours de laquelle elle présente sa R&D solaire[1765]. L'INOVA est organisé tous les deux ans à partir de 1973 par le service Technologie de la DITEIM du ministère de l'Industrie[1766]. Celui de 1975 se déroule

[1764] *Rapport annuel du CEA 1979*, p. 65.
[1765] STERU, Ingénieur en Chef à la Direction Générale de la CGE, « Évolution prévisibles des techniques et des applications de l'énergie solaire », Dossier CGE « réunion d'information du 20 juin 1975 : la CGE et l'énergie solaire », archives privées de Jean-Pierre Girardier ; Bulletin Enerpresse, N°1347, 24 juin 1975, Dossier CGE « réunion d'information du 20 juin 1975 : la CGE et l'énergie solaire », archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1766] ZEITING Liu, *op. cit*., 2011, p. 131.

justement au moment où la centrale de San Luiz de la Paz est en cours d'installation et où la SOFINNOVA revend ses parts de la SOFRETES au CEA, à la CFP et à RMD. D'ailleurs, c'est le CEA qui communique à Girardier le dossier complet de la CGE « Réunion d'information du 20 juin 1975 : la CGE et l'énergie solaire »[1767]. Ce dossier regroupe une série d'interventions qui font l'état des lieux de la maîtrise des techniques de conversion de l'énergie solaire par différentes filiales de la CGE dont Alsthom-Atlantique, Rateau et la CIPEL.

Steru, Ingénieur en Chef à la Direction Générale de la CGE, présente tous les domaines de R&D solaire dans lesquels la CGE est impliquée. Ils recouvrent ceux de la SOFRETES et plus (hautes températures, énergie thermomarine, conversion photovoltaïque, stockage électrique)[1768].

Jacques Chaboseau, Directeur commercial chez Rateau, présente les caractéristiques d'une station mixte de force motrice au fréon (électricité, dessalement, pompage) fonctionnant avec un turboalternateur Rateau de puissance comprise entre 25 et 100 kW (comme San Luiz de la Paz). Il insiste sur les contraintes d'utilisation (géo-socio-économiques) liées aux sites isolés auxquelles la machine doit répondre. Il s'agit de la même proposition sociotechnique que celle de la SOFRETES[1769].

Alfred HIRTZ, Directeur de la Division des Compresseurs chez Rateau, décrit la turbine Rateau conçue pour la SOFRETES et San Luiz de la Paz à partir de leurs compresseurs destinés à l'industrie nucléaire. Il rappelle l'ancienneté et la grande fiabilité de cette technologie : « développée dans les années 1956 à 1958, pour application à nos moto compresseurs, cette technique a été industrialisée vers 1960 et plus de 1200 machines, dont la puissance s'échelonne de 10 à 250 kW, sont actuellement en service ; elles cumulent plusieurs dizaines de millions d'heures de marche et dépassent couramment 50 000 heures par appareil, sans entretien ni intervention d'aucune sorte. »[1770] Cela confirme la faisabilité en 1975 d'une centrale solaire qui intègre ce

[1767] Le document est accompagné d'une note manuscrite du CEA à l'attention de Girardier. Archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1768] STERU, *op. cit*., 1975.
[1769] CHABOSEAU, Jacques, Directeur commercial chez Rateau, « Exemple de constitution de petites centrales solaires : problèmes posés par les contraintes d'exploitation sur les sites isolés », Dossier CGE « réunion d'information du 20 juin 1975 : la CGE et l'énergie solaire », archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1770] HIRTZ, Alfred, Directeur de la Division des Compresseurs chez Rateau, « Turbogénérateur pour centrale d'énergie solaire », Dossier CGE « réunion d'information du 20 juin 1975 : la CGE et l'énergie solaire », archives privées de Jean-Pierre Girardier.

dispositif robuste. S'il est au demeurant trop sophistiqué et trop cher pour le produit que cherche à diffuser la SOFRETES (nous l'avons explicité précédemment), les interventions de Hirtz et de Chaboseau confirment que la CGE maîtrise parfaitement la technologie nécessaire à la fabrication de stations solaires mixtes de forces motrices en 1975.

Jean-Marie Merignoux, Département Physique et mécanique de CIT-Alcatel à la Division Graffenstaden, fait le point sur les applications aux centrales solaires des moteurs à vis CIT-Alcatel compatibles. Deux types de moteurs sont adaptés à deux cycles de Rankine, le premier à basse température (75 °C) et l'autre à moyenne température (120°C) : « c'est dire que, dans le domaine de puissance où le bilan économique leur est favorable, les moteurs à vis qui bénéficient d'une technique de base largement éprouvée tant dans le domaine des compresseurs que dans celui des machines frigorifiques, ont par leur simplicité de construction et leur fiabilité, les qualités requises pour entrer, comme composants, dans les petites centrales solaires »[1771]. Comme nous l'avons explicité plus haut, le CEA et la SOFRETES choisissent justement les compresseurs CIT-Alcatel pour équiper leurs stations solaires à partir de celle de Diré. Ce choix est fait par défaut en attendant d'être en mesure de construire son propre moteur à vis avec l'aide d'un motoriste comme Renault. La SOFRETES se place donc dans une relation de dépendance à la CGE pour son approvisionnement.

Bohdan Broniewski, Directeur des Recherches (DRE) chez Alsthom, présente ses échangeurs adaptés au transfert des basses températures issues de la récupération à plat de la chaleur solaire. Un élément de la boucle thermodynamique que le CEA et la SOFRETES tentent d'améliorer de leur côté.

Jean Rappeneau, Chef des Services Commerciaux du Groupe Techniques et Moyens « Électronique de Puissance », CGEE Alsthom, fait état des dispositifs de stockage de l'électricité envisagés. Le choix se porte donc sur l'aval du convertisseur et non sur l'amont comme le fait la SOFRETES en stockant plutôt la chaleur et son potentiel

[1771] MERIGNOUX, Jean-Marie, Département Physique et mécanique de CIT-Alcatel à la Division Graffenstaden, « compresseur à vis – moteurs à vis », 28 mai 1975, Dossier CGE « réunion d'information du 20 juin 1975 : la CGE et l'énergie solaire », archives privées de Jean-Pierre Girardier. Voir également MERIGNOUX J.M., POCCARD M.P., « Solar power units with screw expanders », *in* VERIZOGLU, Nejat T., *Solar Energy : International Progress*, Pergamon, 1980, pp. 1293-1317.

de travail[1772]. Enfin, R. L. Vic, de chez CIPEL, rappelle que les accumulateurs HYDRA sont parfaitement adaptés aux photopiles : « éprouvés en service avec des cellules depuis 1967. Ils ont été testés au CENT avec succès »[1773].

En 1975, la position de la CGE par rapport à la SOFRETES apparaît ambigüe. D'un côté elle est partenaire commercial dans le secteur traditionnelle des pompes d'assainissement avec le GIE Rateau-Mengin et de l'autre elle est à la fois fournisseur et concurrente dans le secteur solaire. La SOFRETES achète des moteurs à vis CIT-Alcatel (après le turbocompresseur Rateau de San Luiz de la Paz) alors que la CGE est en mesure de proposer elle-même des stations solaires mixtes de force motrice, ce qu'elle ne fait pas. Le rapport de la DGRST d'évaluation de la demande d'Aide au développement déposée par la SOFRETES confirme clairement cette position de la CGE dès 1975 et la déplore :

> Il est toutefois étrange que la Société Rateau ne soit pas associée à ce développement et on doit savoir que la CGE compte dans ce domaine concurrencer SOFRETES [1774]. {…} Si comme est son intention, le groupe CGE avec sa filiale Rateau se lance dans les turbines solaires de puissance comprise entre 50 kW et 100 kW, le groupe SOFRETES trouvera certainement un concurrent à considérer [1775]. {…} Il serait regrettable vis-à-vis de la concurrence étrangère que sur les marchés existant hors métropole, la société CGE se présente comme un concurrent de la société SOFRETES [1776].

La CGE est en mesure d'apporter une aide technique, industrielle et commerciale à la SOFRETES dès 1975, mais elle ne le fait pas. Elle ne diffuse pas non plus les résultats de ses expérimentations sur le terrain des opérations de démonstration en dehors de ses rapports marchands avec la SOFRETES dans le cadre de projets de coopération[1777].

[1772] RAPPENEAU, Jean, Chef des Services Commerciaux du Groupe Techniques et Moyens « Électronique de Puissance », CGEE Alsthom, « Chaîne de stockage et restitution de l'énergie produite par l'alternateur d'une centrale solaire », Dossier CGE « réunion d'information du 20 juin 1975 : la CGE et l'énergie solaire », archives privées de Jean-Pierre Girardier.

[1773] R. L. VIC, Directeur de la DPI chez CIPEL, « alimentation par cellules solaires », Dossier CGE « réunion d'information du 20 juin 1975 : la CGE et l'énergie solaire », archives privées de Jean-Pierre Girardier.

[1774] Rapport d'évaluation confidentiel de M. SIMON pour la DGRST, « demande d'aide présentée par la SOFRETES concernant des pompes solaires », novembre 1975, p. 2, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

[1775] *Ibid*., p. 4.

[1776] *Ibid*., p. 7.

[1777] Au Niger par exemple, les moteurs à vis CIT-Alcatel équipent les stations à basse température de Karma et Tabalak de l'opération de coopération financée par le FED en 1978 et mise en œuvre par la SOFRETES et l'ONERSOL. Dans le même temps, le FAC propose de financer un projet de Rateau d'équiper avec un CIT-Alcatel une station solaire de moyennes températures obtenues grâce aux capteurs à concentration cylindro-paraboliques de l'ONERSOL de Niamey. Ministère de la Coopération, Comité Directeur du Fonds d'aide et de coopération (FAC), séance d'avril 1977, « Utilisation des énergies nouvelles au Sahel »,

Pourtant, au colloque international sur l'électricité solaire de Toulouse en 1976, Rateau confirme que le programme de R&D solaire de la CGE envisage les applications de l'énergie solaire pour les pays pauvres au moyen d'une « base de vie solaire étudiée dans un cadre pluridisciplinaire par la CGE et ses filiales », c'est-à-dire une station mixte de force motrice inductrice de peuplement en zone aride : la même solution sociotechnique que la SOFRETES[1778].

Quand elle entre au capital de la SOFRETES-Mengin (SM) en juin 1979, l'objectif de la CGE n'est pas de soutenir son développement industriel et commercial, pas plus qu'il ne l'était quatre ans auparavant. Le communiqué commun, édité par le CEA, la CFP, la CIPEL et Alsthom-Atlantique (AA), à l'occasion de la fusion SM, laisse entendre que des accords industriels et commerciaux favorables à l'activité solaire sont passés[1779]. Nonobstant ces bonnes dispositions de principes, qui font plutôt office d'effet d'annonce, les termes contractuels du nouveau partenariat semblent plutôt offrir les conditions propices à des actions de sabotage de l'activité solaire (contre-industrielles et contre-commerciales, attentistes en somme)[1780].

La convention de partenariat entre AA et SM rappelle bien que chacune des deux parties a « développé séparément, et chacun pour son propre compte, une activité d'utilisation de l'énergie solaire », que « les blocs à vis sont utilisés par SM pour la construction des moteurs à vis utilisé dans les installations solaires » et qu'AA a repris l'activité compresseurs à vis de CIT-Alcatel et absorbé Rateau.

Les termes de l'accord sont beaucoup plus favorables à AA qu'à SM et sont particulièrement défavorables à son activité solaire. Ils prévoient en fait qu'AA diffuse et

---

Annexe 7, « Pompe solaire à moteur à vis et à capteurs semi-cylindriques à concentration – Installation dans le cadre de l'ONERSOL (Niger) », pp. 50-52, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 19840224, carton 8 ; WRIGHT, Albert-Michel, « Bilan, préservation et avenir de l'ONERSOL de Niamey », *in* CAILLE, Frédéric, 2020, *op. cit*., pp. 131-140 ; MOUMOUNI A., WRIGHT A., « Le capteurs ONERSOL et ses performances », *in* CNES-CNRS, *Électricité solaire*, Colloque international de Toulouse, 1-5 mars 1976, pp. 413-428. Sur Karma et Tabalak : « Plan Minéral de la République du Niger – 1982 », p. 181, Dossier NIGER, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000137, carton 50 et « Fiche ONERSOL », Fichier industriel de l'Afrique noire, 15 décembre 1978, Dossier NIGER, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000137, carton 50.

[1778] POCARD, M.P. (Rateau), « Turbines et turbogénérateurs pour centrales solaires à cycles thermodynamiques, *in* CNES-CNRS, *Électricité solaire*, Colloque international de Toulouse, 1-5 mars 1976, pp. 635-638.

[1779] « Communiqué commun d'Alsthom-Atlantique, CEA, CIPEL et TOTAL », Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

[1780] Projet de convention du 11 mai 1979 entre Les Société SOFRETES et EPM et AA, archives privées fonds BCD (CEA) ; Dossier « Fusion 1979 », Documentation juridique et comptable de la SOFRETES et des usines Mengin, archives privée fonds usine Mengin.

fabrique ses propres produits, en France et à l'étranger, par et chez SM, et qu'elle n'intervient pas dans la commercialisation des produits solaires SM.

Dans le domaine de l'assainissement, AA est le représentant commercial des pompes et installations de pompage SM en France et à l'étranger. Le développement technique du matériel SM est effectué par le Service technique de l'Établissement de la Courneuve (Rateau) et non plus par SM elle-même qui se contente de fabriquer. Cependant, l'activité de production de SM doit intégrer la sous-traitance des produits AA qui accapare également le service après-vente. En d'autres termes, l'activité traditionnelle la plus rentable des EPM, qui renfloue depuis 1973 le déficit solaire de la SOFRETES, est désormais complètement contrôlée par AA pour son propre compte. Il lui suffit de ne pas vendre les produits Mengin, de ne pas les développer et d'occuper ses ateliers avec des fabrications d'autres produits AA. D'autant plus que pour la production d'eau douce, AA place les technologies de sa filiale ACB.

Dans le domaine solaire, SM doit promouvoir les moteurs à vis ou à turbine du groupe CGE. AA consent à la fourniture de ces moteurs à un prix préférentiel et avec une priorité de livraison à SM. Pour les capteurs SOFRETES-CEA, AA demande, en cas de production en série, à être le fabricant et souhaite que SM intègre ses propres capteurs. Pour les autres composants nécessaires aux stations solaires SM, AA dispose d'un droit de priorité pour l'utilisation de ses propres composants comme les échangeurs. C'est la SM qui doit assurer l'étude et la prospection commerciale de ses produits solaires et pas AA qui met simplement à sa disposition son réseau commercial à l'étranger de façon occasionnelle : « AA pourra se substituer à la nouvelle Société SM – et ce d'un commun accord - chaque fois que cela sera jugé préférable pour des raisons politiques ou d'implantation commerciale et/ou industrielle locale. »[1781] Dans une clause d'anti-concurrence, AA s'engage à ne pas développer des produits solaires concurrents à ceux de SM. Autrement dit, l'effort solaire repose entièrement sur la SM qui est en plus dépendant du bon vouloir d'AA pour la fourniture du moteur. Et si, par le plus grand des hasards, une production en série est nécessaire, seule AA pourra s'en charger. Ce contrat ressemble fort au marché de dupe d'un géant qui avale une PME.

Dans le domaine de la climatisation et du frigorifique, le département frigorifique d'AA (Thermat) « se charge des études et réalisation de la partie froid de telles

[1781] *Ibid*., p. 12.

installations »[1782]. Il n'est donc plus question de dispositifs SOFRETES et la SM perd le contrôle d'un secteur supplémentaire.

Enfin, AA doit être associée au GIE GEOWATT pour toutes les réalisations géothermiques. Nous avons vu précédemment les conséquences de cette disposition en Thaïlande : AA ne fournit jamais le moteur à vis CIT-Alcatel attendu.

Dans le domaine photovoltaïque, alors que la CIPEL entre également dans la SM sur son volet PV (le stockage), la CGE s'engage aux côtés des pouvoirs publics avec Elf et RTC dans la création du champion national du PV à l'export, Photowatt, qui entre en concurrence directe avec les produits SM, à la fois auprès du COMES sur le marché de l'aide public et auprès des gouvernements étrangers[1783]. En 1980, Photowatt entre au capital de la SM.

Ces éléments empiriques confirment le témoignage que donne Girardier de la prise de contrôle de son entreprise par des intérêts qui ne souhaitent pas le développement de sa proposition sociotechnique :

> Les gens de mon Conseil d'administration sont venus autour de ma table non pas pour m'aider mais pour savoir ce que c'était que cette histoire de solaire… Au bout d'un certain temps, j'avais autour de moi non plus des partenaires, ils se sont fait une idée du solaire à leur niveau, qui n'était pas le même que le mien, je croyais toujours à ce que je faisais alors qu'eux n'y croyaient plus tellement. Ils voyaient bien qu'il y avait un marché considérable qu'ils comptaient se mettre sous la dent… Le photovoltaïque est arrivé, il a été lancé par la CGE, la CGE s'est aperçue très vite que je les embêtais plus qu'autre chose, surtout quand on a voulu se lancer dans l'électricité avec San Luis de La Paz au Mexique, c'était la première centrale électrique solaire… Les électriciens, quand ils ont vu que je faisais une turbine solaire… Je me souviens être reçu, on croit que c'est un roman policier mais non c'est bien réel… je suis reçu par le Président de la CGE. Un grand couloir, un peu l'Enfer de Dante, une grande table avec 6 ou 7 personnes autour du grand patron et un huissier avec une chaine en or… Comme ils étaient administrateurs de la SOFRETES, j'obéis, je réponds à leurs questions : « l'électricité ce n'est pas votre domaine, vous n'avez pas le droit de faire de l'électricité ». Je lui dis : « Monsieur le Président, si j'ai envie de faire de l'électricité, j'en ferai. ». Sa réponse a été la suivante : « et bien nous allons vous casser ». Et ils l'ont fait… Quand j'ai vu que mon Conseil d'administration ne me suivait pas, j'ai eu un entretien avec le Président du COMES, Henri DURAND. Je suis tombé sur un mur. Il était visiblement complètement entre les mains de la CGE et autres. Il ne nous a pas aidé du tout. C'est ce que je lui ai écrit. Vous êtes un organisme d'État. Vous n'êtes pas payé par un secteur industriel ou un industriel… dans la bande de charognards, le CEA a été très correct.

[1782] *Ibid*., p. 13.

[1783] Elf se positionne dans le secteur du pompage photovoltaïque dans les pays pétroliers dés 1976-1977 notamment grâce à un GIE SNEA-Piles Wonder-Pompes Guinard de Leroy-Somer. En 1979, alors que Photowatt est lancé, Elf se dote de la Direction industrielle énergies nouvelles isolation chauffage (DIENIC) qui crée, en août 1980, la filiale de gestion Elf Énergies lui permettant de participer au holding qui contrôle Photowatt international avec la CGE et RTC de Philips. CHATAIN, Pierre, *op. cit*., 1983, p. 312.

4. 1980-1983 : la liquidation

A la fin de l'année 1979, les administrateurs de la SOFRETES-Mengin refusent de suivre les orientations proposées par Jean-Pierre Girardier qui, en tant que simple Président, n'a plus de pouvoir décisionnel. Il souhaite que des capitaux soient réinjectés afin de soutenir la R&D dans l'objectif de perfectionner les futurs prototypes et d'apporter des solutions aux imperfections des installations déjà en place. Des moyens supplémentaires doivent également être alloués à la prospection commerciale et au suivi et à la maintenance du parc opérationnel. Les capacités de production doivent aussi être augmentées. En bref, les besoins sont les mêmes qu'au moment du retrait de Renault en 1978, puisque la fusion de juin 1979 est plutôt symptomatique des forces centrifuges alors à l'œuvre. Seulement, l'entreprise est endettée, le déficit d'exploitation est important et aucune nouvelle commande d'ampleur n'est enregistrée alors que les contrats en cours rencontrent des retards et des frais supplémentaires, notamment la centrale de Ryad. Si aucune mesure n'est prise rapidement, les moyens vont manquer pour assurer la continuité de l'activité. Les administrateurs poussent Girardier à la démission afin de mener des restructurations successives en 1980, 1981 et 1982. Les difficultés auxquelles est confrontée la SOFRETES-Mengin sont identifiées comme étant d'abord financières et leur origine surtout gestionnaire. Aussi, les actions engagées sont-elles d'ordre gestionnaire. Si les pertes financières sont incontestables, il n'y a pas forcément consensus entre tous les acteurs impliqués sur leurs véritables causes, ni sur les remèdes à appliquer. Encore moins sur leur rôle à déterminer l'avenir d'une solution sociotechnique. En effet, la SOFRETES-Mengin n'existe que dans un marché d'aides publiques à des machines prototypiques intégrées à des opérations de politiques étrangères. Comme nous l'avons démontré précédemment (*cf. supra* chapitres 3 et 4), les difficultés rencontrées ne sont pas inhérentes à la technique, mais sont dues aux contraintes déjà évoquées : surcoûts imprévisibles des réalisations prototypiques, conditions de terrain difficiles, absence d'exploitation et de maintenance par les gouvernements clients, actions contre-commerciales et contre-industrielles des partenaires et absence d'aide des pouvoirs publics à l'industrialisation. Rappelons-nous que les dernières aides octroyées par le COMES sont destinées à quelques projets photovoltaïques et à accompagner l'existant à court terme, non à soutenir l'activité commerciale et proto-industrielle. Aucun second grand programme de R&D ne prolonge

le premier (1976-1978). Par conséquent, l'activité de la filiale du CEA ne répond à aucune logique de rentabilité immédiate, ni de rationalité marchande, mais uniquement à une volonté politique de la faire exister dans le cadre restreint d'opérations de prestige de démonstration de prototypes. La considérer comme une simple PME (ce qu'elle n'est pas) qui tente vainement de vendre un produit industriel (ce qu'il n'est justement pas) légitime en quelque sorte sa réorganisation administrative, l'arrêt des secteurs d'activités les plus déficitaires, son démantèlement, puis sa liquidation. Finalement, sa disparition juridique, qui entraîne *de facto* l'abandon de ses installations techniques, s'accompagne de celle de sa proposition sociotechnique. Ce processus est mis en œuvre en trois étapes.

Au début de l'année 1980, quelques mois seulement après la fusion SOFRETES-Mengin et l'entrée de la CGE au capital, une nouvelle restructuration de l'entreprise est enclenchée. Un conflit social éclate car elle prévoit des licenciements et l'abandon de la filière du solaire thermodynamique basse température. La mobilisation des employés et des syndicats, les démissions en chaîne dont celle, médiatisée, de Girardier, qui y voit la décision de liquider l'entreprise et sa proposition sociotechnique, alertent l'opinion publique et interpellent le gouvernement. Le CEA devient l'actionnaire ultra majoritaire en charge des restructurations.

En janvier 1980, Girardier insiste auprès du Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles du CEA pour qu'il soutienne sa politique d'investissement et que les licenciements soient limités, sinon il annonce son intention de démissionner[1784]. Au même moment, un diagnostic des fonctions commerciales et de production de la SOFRETES-Mengin est établi par un cabinet d'audit indépendant[1785].

D'après le rapport, le système administratif de la SOFRETES-Mengin est peu formel et mal centralisé, ce qui conduit à une dispersion des informations souvent non concordantes. Il émet un doute sur les chiffres d'affaires et les prix de revient annoncés, mais aucun élément factuel ne peut le prouver car il n'y a pas d'audit comptable disponible. Globalement, la gestion manque de rigueur. Dans le secteur de

[1784] Lettre de Jean-Pierre Girardier à Pierre Jacquard du 30 janvier 1980, documentation personnelle de Jean-Pierre Girardier (CV, contrat de travail, correspondance), archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1785] M. Parent et Y. Polivka, « Diagnostic des fonctions commerciales et production de la SOFRETES-Mengin », janvier-février 1980, archives privées fonds BCD (CEA).

l'assainissement l'activité commerciale est moribonde. Les produits nouveaux font défaut. Le bilan est favorable à une reprise complète de l'activité par Alsthom-Atlantique[1786]. En ce qui concerne le solaire thermodynamique basse température, « ce marché est partiellement artificiel et est davantage le résultat d'opérations de recherche et de prestige que de considération économique »[1787]. Il affirme que l'avenir est à la filière photovoltaïque pour la gamme de puissance 1-10kW. Les pompes Vergnet sont encore trop chères et les contrats sont mal configurés, notamment pour le service après-vente. Des améliorations techniques sont à apporter afin d'assurer une meilleure résistance. Cependant, ce produit a un potentiel de rentabilité même si la concurrence internationale est extrêmement vive. C'est paradoxalement le secteur le plus menacé[1788]. Le rapport démontre que les prix de revient des cinq modèles de stations mixtes de force motrice (Parer, Nadje, Tonatiuh, Rà et Prométhée) sont bien plus élevés que leurs coûts globaux en raison de l'absence dans le contrat des responsabilités de maintenance, notamment celle des gouvernements clients (l'exemple Mexicain est cité)[1789]. Les installations périclitent donc car la SOFRETES-Mengin ne peut plus intervenir contractuellement. Enfin, l'activité photovoltaïque est considérée comme étant trop récente pour pouvoir être évaluée correctement. Trois solutions sont envisagées pour améliorer la situation[1790].

La fermeture de l'usine. Elle est difficile à décider car elle coûterait trop cher au CEA, provoquerait les licenciements de cent cinquante personnes dans une région peu industrialisée et porterait atteinte à l'image de marque internationale des groupes actionnaires. Il n'est donc pas question d'arguments en faveur ou en défaveur de la sociotechnique solaire. Seule sa fonction d'instrument de séduction au service des actionnaires est considérée. Deuxièmement, le dépôt de bilan n'est pas possible car il faudrait un nouveau partenaire et des comptes précis et bénéficiaires pour obtenir les autorisations de poursuites de l'activité. Il ne reste donc que le redressement sous conditions. Premièrement, la séparation des activités assainissement (distribution d'un produit à faible valeur ajoutée) et solaires (ingénierie) avec des licenciements. Deuxièmement, l'activité solaire thermodynamique basse température doit être

[1786] *Ibid*., p. 4-5.
[1787] *Ibid*., p. 10.
[1788] *Ibid*., p. 30.
[1789] *Ibid*., p. 12.
[1790] *Ibid*., pp. 25-30.

abandonnée au profit des moyennes et hautes températures et du photovoltaïque. Enfin, la question se pose de la position de Mengin par rapport à Alsthom-Atlantique. Soit l'absorber totalement, puisqu'elle est devenue un sous-traitant. Ou qu'elle soit complétement reprise par une nouvelle entité Mengin.

En février, dans l'optique d'une séparation de la société en deux nouvelles entités juridiques indépendantes (la fusion n'a que huit mois), les discussions au CEA envisagent le transfert d'une partie des activités de fabrication des dispositifs solaires à une autre de ses filiales, la SFEC[1791]. La Société de Fabrication d'Éléments Catalytiques (SFEC) est une filiale du CEA qui dépend de la Délégation aux Matières nucléaires active dans la filière combustible sur le segment de l'enrichissement de l'uranium. Elle fabrique et assemble des barrières de diffusion gazeuse pour l'Usine d'Eurodif. La SFEC, en entrant au capital de la nouvelle SOFRETES, pourrait fabriquer les matériels nécessaires aux boucles thermodynamiques et ainsi se diversifier à un moment où son activité initiale diminue. Dans le même temps, l'activité géothermique deviendrait prioritaire car elle permettrait de diminuer les coûts (pas de stockage, pas de collecteur, fonctionnement naturel 24 h sur 24 h). Les différents postes de coûts sur les installations de Bondie Samba, El Hamrawin, Ryad, Chaudes Aigues et Bakel, sont étudiés et une proposition de prise en charge par la SFEC des plus onéreux (les échangeurs et les postes mécaniques) est simulé. Il faut bien comprendre que cette tactique répond d'abord à une logique gestionnaire. En effet, la SFEC connaît des difficultés car son plan de charge va rapidement diminuer. Pour anticiper le futur plan social, le CEA pense utiliser la SOFRETES pour absorber du personnel SFEC tout en diversifiant ses activités et ainsi mutualiser les deux filiales en perte de vitesse. Les prévisions envisagent une diminution importante de l'activité de la SFEC pour 1981. Les suppressions de postes débutent en 1979 et un mouvement social s'enclenche (grève en avril de 30 % des effectifs)[1792]. Le plan de charge est élevé en 1980, mais « la fin des programmes de livraison de ses

[1791] Lettre de MM. Clémot et Durand à Jacquard, Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles du CEA, 11 février 1980, archives privées fonds BCD (CEA).
[1792] *Rapport annuel du CEA 1975*, p. 8, p. 24 ; *Rapport annuel du CEA 1979*, p. 15, p. 86, p. 91 pour la présentation de sa situation et de ses perspectives en 1979.

commandes va poser des problèmes de réduction d'effectif »[1793]. En 1981, la diversification fonctionne et permet d'amortir les très nombreux licenciements[1794].

A la SOFRETES-Mengin, la mobilisation des syndicats alerte l'opinion publique, l'Assemblée nationale et le gouvernement de février à mai 1980.

Les ouvriers rappellent la responsabilité du gouvernement dans l'existence de l'entreprise et sa parfaite connaissance du dossier puisque la PME est détenue par « l'État et les monopoles du pétrole et du nucléaire » et que « Jacques Giscard d'Estaing est administrateur de la SOFRETES-Mengin » pour le CEA à cette date[1795]. Ils dénoncent « la mauvaise foi » du député du Loiret Xavier Deniau « qui ne fait rien pour sauver la SOFRETES-Mengin alors que son frère, Jean-François Deniau est ministre chargé du Commerce extérieur »[1796]. En effet, La CGT sollicite l'intervention des pouvoirs publics

[1793] *Rapport annuel du CEA 1980,* p. 86, p. 91.

[1794] *Rapport annuel du CEA 1981*, p. 89. Les techniques de séparations développées par la SFEC pour le CEA en génie chimique nucléaire font l'objet d'un effort de transposition dans l'industrie agro-alimentaire pour pallier la baisse d'activité par exemple.

[1795] « Déclaration des travailleurs communistes de SOFRETES-MENGIN », 28 février 1980, archives privées de M. Dufour.

[1796] **«** Xavier Deniau (1923-2011). Administrateur des colonies (1944), Chef de district puis Chef de province en Indochine, Directeur des relations extérieures du Cameroun, Conseiller politique du Haut-commissaire général à Dakar (1958-59), Membre des délégations françaises à l'Organisation des Nations Unies (Onu) (1955-81), à l'Organisation du Traité de l'Atlantique Nord (Otan) (1960-62), Conseiller technique, chargé des questions diplomatiques au cabinet de Pierre Messmer (ministre des Armées) (1960-62), Maître des requêtes au Conseil d'État (1962-89), admis à faire valoir ses droits à la retraite (1989), Secrétaire d'État auprès du Premier Ministre, chargé des Départements et Territoires d'outre-mer (1972-73); Député du Loiret, apparenté au groupe du Rassemblement pour la République (RPR) (1962-2002), Député européen apparenté au RPR (1981-82), Vice-président du conseil régional du Centre (1974-86), Vice-président de la commission des Affaires étrangères (1968-72 et 1973-86), Secrétaire général de l'Association internationale des parlementaires de langue française (1967), Vice-président de l'Association nationale France-Canada (1966-69), Président-fondateur (1969-72) de l'Association France-Québec, Président des groupes d'amitié de l'Assemblée nationale France-Cameroun (1963-72), France-Irlande, France-Québec et France-Canada (1967-72 et 1973-2002), Coprésident de la Ligue Oder-Neisse, Président de l'Association francophone d'amitié et de liaison, Administrateur de l'Alliance française; Maire d'Escrignelles (1965-2001), Membre de l'amicale parlementaire Présence et Action du Gaullisme, Président du Comité de la francophonie (1973), Membre (1974), Président (1999) de l'Académie des sciences d'outre-mer, Président de l'Association pour la diffusion de la pensée française (ADPF) (1987), Président puis Président d'honneur de l'Association pour la diffusion internationale francophone de livres, ouvrages et revues (Adiflor) (1985-98), de l'Association francophone d'amitiés et de liaison (Afal), du Syndicat intercommunal à vocation multiple du canton de Briare et du Syndicat d'aménagement rural Berry-Puisaye du Loiret (1982-88), Juge suppléant (1992), Juge titulaire (1993-97 et 2000-02) à la Cour de justice de la République, Membre du Conseil de l'Europe (1993); Membre correspondant de l'Académie des sciences morales et politiques (1993); Membre-fondateur de l'association Debout la République (1999) ». https://www.whoswho.fr/decede/biographie-xavier-deniau_12294

« Jean-François DENIAU (1928-2007). Élève à l'École nationale d'administration (ENA) (promotion Jean Giraudoux, 1950-52), Inspecteur des finances (1952), Chargé de mission au secrétariat général du Comité interministériel pour les questions de coopération économique européenne (1955), Conseiller technique au cabinet du président du Conseil et au cabinet du ministre de l'Industrie et du Commerce (1957), Membre de la délégation française à l'Organisation européenne de coopération économique et à la Conférence intergouvernementale pour le Marché Commun et l'Euratom, Directeur de l'Association avec les Pays tiers,

en contactant « le Président de la République, les ministres concernés, le préfet et le sous-préfet, les élus locaux et M. Pecqueur l'Administrateur général du CEA »[1797]. Le comité d'entreprise de la SOFRETES-Mengin sollicite l'intervention de Gaston Girard[1798], député du Loiret, par lettre du 18 février 1980, pour porter la cause de la SM auprès du ministère de l'Industrie (arrivé le 5 mars au cabinet). Le cabinet du ministre de l'Industrie fait suivre à la DGI le 13 mars pour obtenir des éléments de réponses concernant la situation de la SM. Le dossier est confié à la DIMME le 20 mars pour une réponse avant le 25 mars[1799]. Le 3 mars 1980, le député communiste Daniel Boulay[1800], demande au ministre de l'Industrie, André Giraud, ce qu'il compte faire au sujet de la SOFRETES-Mengin[1801]. Or, la DIMME dresse le bilan de la situation de la SM dans une note datée

à la Communauté économique européenne (1958), Directeur général, chargé des négociations d'adhésion à la Communauté (1959-1963), Ambassadeur en Mauritanie (1963-66), Chargé de la coordination interministérielle pour la télévision en couleur (Secam) (1967), Président de la Commission mixte franco-soviétique, Membre de la Commission des communautés européennes (1967-73), Chargé des négociations d'adhésion à la Communauté économique européenne et des relations avec l'Afrique (1970) puis Chargé de la politique de développement et coopération et des budgets et contrôle financier (1973), Secrétaire d'État auprès du ministre des Affaires étrangères, chargé de la Coopération (cabinet Pierre Messmer) (1973-74), Secrétaire d'État auprès du ministre de l'Agriculture et du Développement rural (3e cabinet Pierre Messmer) (1er mars-27 mai 1974), Secrétaire d'État auprès du ministre de l'Agriculture (cabinet Jacques Chirac remanié) (1975-76), Ambassadeur en Espagne (1976), Secrétaire d'État auprès du ministre des Affaires étrangères (2e cabinet Raymond Barre remanié), chargé des affaires européennes (25 sept. 1977), Inspecteur général des finances (1977), élu le 19 mars 1978 Député du Cher (1ere circ. : Bourges), cède son siège à Henri Moule, Ministre du Commerce extérieur (3e cabinet Raymond Barre) (1978-81), Ministre délégué auprès du 1er ministre chargé de la Réforme administrative, Parlementaire européen (liste Union pour la France en Europe) (1979-86), Vice-président (1979), Président (1981-98) du Conseil général du Cher, Conseiller régional du Centre (1986-88), Député du Cher, inscrit au groupe de l'Union pour la démocratie française et du Centre (1986-97), Vice-président de la commission des Affaires étrangères et Rapporteur de la commission de la Défense de l'Assemblée nationale (1986-97), Chargé par le Premier Ministre d'une mission en Afghanistan (1987), Juge titulaire à la Haute Cour de justice (1993), Président du Haut comité consultatif sur la procédure de jugement en matière criminelle (1996); Président des Clubs Perspectives et Réalités (1981-89), Grand chroniqueur au *Figaro*, Membre de l'Académie française, élu le 11 avril 1992 au fauteuil de Jacques Soustelle, Membre de l'Académie de marine (depuis 1999) ».
https://www.whoswho.fr/decede/biographie-jean-francois-deniau_12285

[1797] Syndicat CGT SOFRETES-Mengin, « non aux licenciements », 29 février 1980, archives privées de Jean-Pierre Girardier.

[1798] Gaston Girard (1899-1990) est député du Loiret du 13 mars 1973 au 2 avril 1978 puis du 19 mars 1978 au 22 mai 1981. https://www2.assemblee-nationale.fr/sycomore/fiche/(num_dept)/3430

[1799] Dossier et bordereau de transmission du courrier parlementaire du député Girard au cabinet du ministre de l'Industrie, référence cabinet 19016CP du 10 mars 1980 et référence DGI 00084 du 13 mars 1980, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16 ; Lettre du Comité d'entreprise de la SOFRETES-Mengin au député du Loiret Girard du 18 février 1980, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

[1800] Daniel Boulay est né le 26 septembre 1946. Il est député communiste de la Sarthe du 19 mars 1978 au 22 mai 1981. https://www2.assemblee-nationale.fr/sycomore/fiche/(num_dept)/1053

[1801] Questions 26856, 3 mars 1980, de M. Daniel Boulay, Machines-outils (entreprises : Loiret), *Journal Officiel de la République française*, 3 mars 1980, p.801.

du 4 mars 1980[1802]. Selon ce document, les difficultés que rencontre l'entreprise s'expliquent principalement par la nature prototypique de ses produits, l'absence de contrat de maintenance qui la force à prendre à sa charge ces coûts prohibitifs du fait de l'éloignement des sites, et la nécessite d'une aide constante des pouvoirs publics puisque les installations n'existent que dans un marché d'aide publique. Cependant, la SM est pionnière dans la filière thermodynamique basse température et ses stations deviennent rentables à partir de 10 kW de puissance installée. De plus, elle se diversifie dans le photovoltaïque. La DIMME conclut que « La SOFRETES a acquis dans le solaire un renom qui interdit sa disparition »[1803].

Le 7 mars 1980, le journal *Le Monde* pose la question un peu provocatrice « La France a-t-elle une politique solaire ? »[1804]. Bruno Dethomas[1805] fait état du bilan financier désastreux (les pertes représenteraient 50 % de son chiffre d'affaires) mais que personne ne découvre puisque les difficultés financières sont anciennes, de même que la concurrence étrangère est connue. Bien que la filière photovoltaïque soit concurrente « il n'est pas question de fermer » car « avec elle disparaîtrait un pan de la politique française »[1806] :

> Au-delà des craintes, bien légitimes des cent soixante-huit salariés de l'entreprise de Montargis, les difficultés de la SOFRETES amènent à s'interroger sur la politique solaire de la France. Est-il anormal qu'une industrie pilote, dans un " secteur d'avenir ", selon les propos mêmes des pouvoirs publics, soit déficitaire pendant plusieurs années ? Est-on en train d'abandonner la filière thermodynamique ? Existe-t-il une politique solaire ?[1807]

Le 17 mars 1980, la Direction de la SOFRETES-Mengin communique au Comité d'entreprise les éléments du plan social en cours. Les raisons des pertes financières, que les aides des pouvoirs publics et des actionnaires ne suffisent pas à combler, sont une fois de plus mises en évidence : des coûts de R&D importants et peu prévisibles, le poids des

---

[1802] DIMME, note « La société SOFRETES-Mengin », 4 mars 1980, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.
[1803] *Ibid*.
[1804] DETHOMAS, Bruno, « La France a-t-elle une politique solaire ? », *Le Monde*, 7 mars 1980.
[1805] Bruno Dethomas est journaliste au journal *Le Monde* de 1972 à 1988. Il est membre du Conseil de surveillance du Monde de 1977 à 1980. Rédacteur en chef économique de 1986 à 1988. De 1988 à 1995, il est porte-parole de la Commission européenne présidée par Jacques Delors. De 1995 à 2009, il est Ambassadeur de l'Union Européenne au Brésil, en Pologne et au Maroc. De 2009 à 2011, il est Conseiller principal en charge du Partenariat Oriental à la Commission européenne. Depuis 2002, il est associé au cabinet GPlus Europe.
[1806] *Ibid*.
[1807] *Ibid*.

charges imposé par les mises au point aléatoires sur les terrains d'expérimentation eut égard à leurs localisations dans les pays du tiers-monde, et enfin le fait que les clients ne prennent pas en charge le service après-vente[1808]. Du 17 au 21 mars, la CGT distribue de nombreux tracts dans lesquels elle répète inlassablement : « nous affirmons que c'est la liquidation totale de la société S/M qui a été décidée. »[1809] Le 25 mars 1980, le syndicat donne une conférence de presse[1810]. L'attentisme d'Alsthom-Atlantique est dénoncé par sa prise de contrôle de l'activité commerciale des pompes d'assainissement Mengin, ainsi que du bureau d'études et du service des devis. Mengin devient un sous-traitant d'Alsthom-Atlantique qui s'en sert pour placer ses propres produits. La restructuration pour motif économique permet de détourner la réalité d'une liquidation en douceur de l'entreprise pour ne pas faire de vague car le CEA est l'actionnaire majoritaire et qu'il s'agit d'une société qui développe une solution technique énergétique alternative. La CGT déclare que le Président, M. Barre et M. Pecqueur ont été sollicités. Pour eux, l'assainissement doit être repris en main par la SM puisque c'est son activité traditionnelle alors qu'Alsthom-Atlantique le sabote, et le solaire doit être pris en charge par les pouvoirs publics, donc ici par le CEA, puisqu'il demande des moyens de R&D très importants qu'aucune PME ne peut soutenir.

Le journal *Le Monde* annonce l'exécution du plan social le 26 mars[1811]. Quarante-cinq postes sur cent soixante-huit sont supprimés. Girardier va démissionner. Le CEA, actionnaire majoritaire, va nommer son remplaçant. Le CEA abandonne la recherche d'un nouveau partenaire industriel, il assurera la continuité de l'activité, « le gouvernement participera aux charges de promotion des réalisations de la société à l'exportation »[1812]. Son activité est réorientée vers la géothermie, l'habitat et le photovoltaïque avec l'appui de la CGE : « une orientation quelque peu différente du passé, la SOFRETES était principalement spécialisée dans les centrales thermodynamiques à basse et moyenne température. »[1813] Dans le même numéro, *Le Monde* publie un droit de réponse d'Henry Durand, le Président du COMES, qu'il adresse au journal pour répondre de sa politique,

[1808] « Document d'information sur le plan social à l'attention du Comité d'entreprise S/M », réalisé par la Direction de l'entreprise, 17 mars 1980, archives privées de Djelal Nerguti.
[1809] Tracts CGT, entre le 17 et le 21 mars 1980, archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1810] Compte-rendu de la conférence de presse de la CGT du 25 mars 1980, archives privées de M. Dufour.
[1811] « La SOFRETES supprime le quart de ses emplois », *Le Monde*, 26 mars 1980.
[1812] *Ibid*.
[1813] *Ibid*.

c'est-à-dire celle du gouvernement, mise à mal par l'article du 7 mars[1814]. Il se défend d'avoir abandonné la SOFRETES et affirme clairement que la politique publique solaire nationale privilégie désormais le photovoltaïque. Girardier réagit auprès de son Conseil d'administration dans une note : « nous n'avons pas le concours du COMES et l'article du Monde du 26 mars 1980 est à cet égard un désaveu formel qui portera un préjudice très important à notre entreprise. »[1815] Il rappelle pourtant que l'inauguration de Diré en novembre 1979 a mobilisé le ministre de la Coopération Robert Gallay et le Président du COMES lui-même. Cependant, les pouvoirs publics semblent décidés à écarter la filière thermodynamique des possibles :

> Nous nous heurtons à une volonté délibérée de ne pas reconnaître la filière thermodynamique basse température qui pourtant a fait ses preuves et nous est demandée par la plupart de nos clients, pour des gammes de puissances entre 6 et 100 kW. {…} Alors qu'un programme photovoltaïque est lancé et qui n'est en fait que l'industrialisation française d'une filière américaine, S/M devrait pouvoir prétendre à un programme d'industrialisation de la filière française thermodynamique basse et moyenne température, dont les applications dépassent du reste le seul domaine de l'énergie solaire[1816].

La Délégation à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles du CEA rend son analyse de la situation de la SOFRETES-Mengin dans une note confidentielle du 28 mars 1980[1817]. Le document, rédigé pour le Comité de l'énergie atomique[1818] par Bernard Devin, Chef du Projet Énergie solaire au sein du CEA, présente « les orientations qui guident la politique du CEA dans ses rapports avec la SOFRETES et dans le domaine de l'énergie solaire »[1819]. Son analyse de la situation diffère de la position du COMES et de celle du diagnostic de janvier-février sur l'avenir à accorder au thermodynamique solaire basse température.

Le bilan que dresse Devin est favorable à une poursuite des activités thermodynamiques. Il spécifie que les deux filières, thermodynamique basse température et photovoltaïque, n'entrent pas en concurrence d'un point de vue des applications et qu'il

---

[1814] DETHOMAS, Bruno, « Une lettre du président du Commissariat », *Le Monde*, 26 mars 1980
[1815] Jean-Pierre Girardier, « note d'information sur la situation SOFRETES/Mengin », 31 mars 1980, archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1816] *Ibid*.
[1817] Bernard Devin, Chef de Projet Énergie Solaire au CEA auprès du Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles du CEA, Note confidentiel N°CPES/AA/80-079, 28 mars 1980, archives privées fonds BCD (CEA).
[1818] Pour rappel, le Comité de l'énergie atomique est l'organe institutionnel qui met en œuvre la politique du gouvernement au sein du CEA.
[1819] *Ibid*.

n'est donc pas pertinent de justifier, ni techniquement, ni économiquement, ni socialement, un choix en faveur de l'une en fonction de l'autre, mais qu'il s'agit de déterminer quelles solutions est la meilleure en fonction de chaque demande et de son contexte local :

> La question du choix de la filière (thermodynamique contre photovoltaïque) ne nous paraît pas l'élément clé d'une décision en matière de programme. En effet, une analyse des utilisations préférentielles de l'énergie solaire en pays tiers, en voie de développement ou d'industrialisation, fait ressortir un partage du marché sensiblement par moitié entre : les applications thermiques directes (eau chaude domestique, chaleur industrielle, chaleur agricole, dessalement) et, les applications dans la production de puissance (électrique et surtout mécanique), par conséquent, la poursuite, dans l'immédiat, des activités thermiques et thermodynamiques conjointes nous paraît bénéficier d'une synergie qui correspond bien aux objectifs de transfert de technologie dont le marché extérieur est demandeur. {…} Il est inutile de répéter que l'étude d'ingénierie conduit à déterminer le type de matériel à proposer en fonction du contexte (variable d'un pays à l'autre) et que SOFRETES n'est en aucun cas bornée au secteur thermodynamique[1820].

La SOFRETES-Mengin ne doit pas être limitée au seul créneau solaire puisque sa technique est adaptée à la conversion des faibles différentiels de température d'origine naturelle et industrielle. C'est pourquoi un effort particulier est à poursuivre dans les applications géothermiques et dans la récupération des effluents industriels. Au plan international, Devin insiste sur la bonne position qu'occupe la SOFRETES-Mengin car elle bénéficie de contacts « aux niveaux convenables de décision dans la plupart des pays utilisateurs et des organismes de financement », notamment grâce à la CFP et au CEA dans les pays du Moyen-Orient[1821]. Ainsi, « on doit penser désormais que l'existence du COMES est de nature à renforcer et cautionner » la bonne position de la SOFRETES-Mengin et de ses solutions thermodynamiques dans les marchés correspondants existants[1822]. La formulation est diplomatique mais laisse sous-entendre que l'action du COMES n'est pas favorable aux affaires de la SOFRETES et du CEA, ce que de nombreux exemples de leurs relations conflictuelles dans certaines situations commerciales confirment amplement, tout comme le témoignage de Girardier. Devin poursuit son argumentaire en mettant en avant la stratégie de transfert technologique qui est à la base à la fois de l'offre sociotechnique SOFRETES-Mengin mais également de la demande par la partie client comme contrepartie dans la relation contractuelle des accords

[1820] *Ibid*.
[1821] *Ibid*.
[1822] *Ibid*.

de coopération solaire. Le Chef du Projet Énergie solaire du CEA rappelle que le développement de programmes solaires à grande échelle passe obligatoirement par le transfert de technologies en direction des pays utilisateurs. Or, « ces utilisateurs sont industriellement capables d'adapter à leur main d'œuvre les techniques du solaire thermique et thermodynamique qui leur sont directement accessibles et font appel aux produits locaux disponibles »[1823]. Donc la SOFRETES-Mengin doit continuer à œuvrer en ce sens au moyen de *joint-ventures* et de filiales sur place, notamment pour l'assemblage et la maintenance. Resterait alors en France uniquement l'activité d'ingénierie dans le cadre des coopérations scientifiques CEA-Pays tiers et les fabrications de composants-clés à bonne valeur ajoutée (surfaces sélectives, boucles thermodynamiques, régulation). Le rapport insiste sur le fait que pour les stations thermodynamiques 10-100 kW, la solution du stockage thermique amont, qui leur permet de fonctionner 24 h sur 24 h, est bien meilleure que la solution par batterie. De plus, il est techniquement parfaitement transférable aux populations locales puisqu'il ne s'agit que de génie civil alors que cela est impossible avec les dispositifs photovoltaïques. Les pays clients ont clairement exprimé leur position sur ce point : la pénétration massive de la conversion solaire comme solution ne se fera pas par importation d'une technologie mais par le développement d'un transfert de technologie d'où leur préférence pour la technologie thermodynamique qui leur est immédiatement transférable pour partie. La rapport prend à témoin la station de Ryad pour illustrer sa capacité de transfert en détaillant la part respective de chaque poste de dépense et conclue la démonstration ainsi : « près de 70 % de la valeur d'une installation thermodynamique est accessible au pays utilisateur, en devises locales… Comme en général, il s'agira de s'affranchir également d'une dépendance externe, ces arguments sont très fortement pris en considération par nos interlocuteurs et les motivent pour la voie thermodynamique. »[1824]

Deux semaines plus tard, Girardier démissionne de son poste de Président de la S/M à la télévision dans l'émission « L'Enjeu » de TF1[1825] :

> Je n'avais plus le droit à la parole, j'ai été complètement écarté. J'ai quand même fait un inventaire. Je pensais que le CEA ferait son devoir. Il ne l'a pas fait. Il a tout laissé partir

[1823] *Ibid*.
[1824] *Ibid*.
[1825] Émission « L'Enjeu » de TF1 du 17 avril 1980, article de *France Soir* du 18 avril 1980, documentation personnelle de Jean-Pierre Girardier (CV, contrat de travail, correspondance), archives privées de Jean-Pierre Girardier ; CAILLE Frédéric, GIRARDIER Jean-Pierre, entretien du 7 juillet 2015.

> en vrac… Quand j'ai démissionné à la télévision, j'ai eu deux coups de fil. L'un de mon principal concurrent, les Pompes Guinard, qui m'a dit : « venez travailler pour moi ». Et le deuxième c'était Marbach, qui m'a dit : « Venez, je vous prends à l'ANVAR »[1826].

Si le mouvement des démissions est déjà enclenché quand Girardier annonce la sienne, elle en précipite d'autres, notamment les départs de nombreux ingénieurs qui empêchent la continuité de l'activité solaire, occasionnant notamment des retards supplémentaires sur les deniers contrats tel celui de Ryad. Il est remarquable de bien considérer que la suite de la carrière de Girardier (tout comme celle d'autres cadres[1827]) est assurée par les pouvoirs publics grâce à l'intervention de Christian Marbach[1828].

Le 21 avril 1980, le député Philippe Marchand interpelle à nouveau le ministre de l'Industrie, prolongeant ainsi la question parlementaire de Boulay[1829]. Le Chef de cabinet du ministre de l'Industrie, André Giraud, répond au Comité d'entreprise de la SM le 16 mai 1980[1830].

Il reconnaît que la SM a acquis une notoriété mondiale et que ses fabrications sont de bonne qualité technique. Cependant, la société, qui bénéficie de l'aide des pouvoirs publics par l'intermédiaire du COMES, accuse des pertes à hauteur de 1/4 du chiffre d'affaires. Sa gestion des commandes solaires est défectueuse puisqu'elle a mal évalué

[1826] CAILLE Frédéric, GIRARDIER Jean-Pierre, entretien du 7 juillet 2015.

[1827] Nous avons déjà mentionné le cas de Marc Vergnet qui est intégré au COMES dès sa création, en parallèle à sa position au sein de l'équipe dirigeante de la SOFRETES. L'exemple de Marc Frager est tout aussi symptomatique de ce rattrapage de carrière des acteurs solaires par les pouvoirs publics puisqu'il intègre lui aussi le COMES-AFME après avoir suivi Girardier au CRES de Bamako. Par la suite il crée une entreprise d'ingénierie en énergie renouvelable avant d'être embauché à SIFF Énergies pour développer des projets de grand éolien et de grosses centrales photovoltaïques. L'EDF entre dans SIFF qui devient EDF Énergies Nouvelles. CAILLE Frédéric, FRAGER Marc, entretien du 12 décembre 2018.

[1828] Dès sa démission Girardier devient conseiller. Il est alors placé auprès du Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles du CEA ainsi qu'à l'Unesco pour le compte du Mexique. Puis, Marbach lui fait intégrer l'ANVAR comme Délégué régional et Délégué aux Relations Internationales, mais il est détaché en 1982, sur un financement du FED, auprès de la CEAO en tant que Délégué à la coordination de la première phase de réalisation du CRES de Bamako, puis en tant que Conseiller technique du Chef de Projet (1982-1985). Ensuite, toujours grâce à Marbach, il intègre la Cité des Sciences et de l'Industrie ainsi que l'AFME comme Délégué régional. Il est également expert en « programmation énergétique » auprès des communautés européennes. De 1985 à 1994, il termine sa carrière comme Directeur des activités commerciales de la Cité des Sciences et de l'Industrie puis comme Directeur de la Saline royale d'Arc-et-Senans (1994-2000). Documentation personnelle de Jean-Pierre Girardier (CV, contrat de travail, correspondance), archives privées de Jean-Pierre Girardier ; CAILLE Frédéric, GIRARDIER Jean-Pierre, entretien du 7 juillet 2015 ; GANNAC-BARNABE, Virginie, « La Saline royale d'Arc-et-Senans. L'influence des médiateurs dans la construction d'une singularité culturelle », *MEI « Médiation et information »*, n°19, 2003, pp. 203-210.

[1829] Questions 29490, 21 avril 1980, de M. Philippe Marchand, Machines-outils (entreprises : Loiret), *Journal Officiel de la République française*, 26 mai 1980, p. 2169.

[1830] Ministère de l'Industrie, le Chef de cabinet, CAB N°19628 C.P., 16 mai 1980, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

leurs coûts de production et ceux du service après-vente. De plus, les coûts de production dans le secteur de l'assainissement sont trop élevés par rapport à ceux de la concurrence. En l'état, le ministre soutient la décision prise par les actionnaires d'engager des mesures qui visent à restaurer l'équilibre financier du bilan. Les licenciements sont donc cautionnés. Il annonce que l'action commerciale et technique d'Alsthom-Atlantique sera davantage développée et que le COMES va maintenir une aide à l'achèvement des commandes en cours et au service après-vente des installations existantes. Les pouvoirs publics continueront de soutenir les activités solaires à l'export comme il le fait au Mexique en allouant un budget pour la restauration des installations SOFRETES et en désignant la SM comme maître d'œuvre de la centrale corse. La posture du ministre de l'Industrie est donc plutôt ambiguë. D'un côté, il reconnaît explicitement la qualité des machines et la renommée de l'entreprise mais de l'autre, il soutient les termes de la restructuration en cours justifiée par une mauvaise gestion. Le second argument l'emportant sur le premier. Le ministre écarte donc des causes aux difficultés de la SM, les raisons liées aux terrains, à la nature des clients, aux objectifs non solaires des opérations de démonstration organisées dans le cadre de contrats de coopération, la nature expérimentale des prototypes et les coûts de R&D qui leurs sont associés, l'intérêt de la sociotechnique pour les populations bénéficiaires et la nature exclusivement publique du marché d'aide qui crée le secteur solaire à l'export. L'aide apportée par l'administration de mission solaire n'a qu'un objectif à très court terme, terminer ce qui est en cours et maintenir quelques installations pour lesquelles aucun contrat de maintenance n'existe. Il ne mentionne pas l'éventualité de soutenir l'activité de prospection commerciale solaire à l'étranger afin d'obtenir des commandes, ce qui est essentiel à la poursuite de l'activité. Rien non plus en ce qui concerne un possible soutien pour passer à la phase industrielle. Ces recommandations du ministre de l'Industrie se retrouvent dans la note présentée au Comité de l'énergie atomique du CEA le 10 juillet 1980 qui fait le point sur les restructurations engagées depuis avril[1831]. Elles ne tiennent pas compte des aspects favorables du bilan établi par le Chef du projet solaire du CEA pour ce même Conseil de l'énergie atomique.

[1831] Question n°4, Note pour le comité, « SOFRETES-Mengin situation en juin 1980 », 418ème réunion du Comité de l'énergie atomique, 10 juillet 1980, ministère de la Recherche, Archives Nationales, répertoire 19910783, carton 2.

Premièrement, la réorganisation des différents secteurs d'activités de la société est confiée à deux agents de la SFEC (M. Albert Teboul PDG est assisté de M. Morin) avec comme objectif d'honorer les commandes et de faire des économies[1832]. Deuxièmement, les effectifs sont allégés[1833]. Troisièmement, le CEA apporte des capitaux (fin 1980 le CEA est actionnaire majoritaire à 77% alors que la part d'Alsthom-Atlantique diminue) et les dettes à court terme sont consolidées[1834]. Enfin, le concours de l'État se fait directement par le COMES pour le suivi-maintenance du parc opérationnel et l'achèvement des opérations en cours[1835].

De juillet 1980 à décembre 1980, le démantèlement de la SM, l'abandon du volet solaire thermodynamique basse température et l'arrêt de son activité industrielle sont plus concrètement engagés.

Quelques jours après la réunion du Comité de l'énergie atomique du 10 juillet 1980, la Délégation à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles du CEA dresse la liste des tâches et des activités solaires et géothermiques qui seraient à transférer dans l'éventualité de la création d'une nouvelle version de la SOFRETES, dégagée de l'usine Mengin[1836]. Des discussions s'engagent au sein du CEA quant aux modalités que pourraient recouvrir sa plus grande implication dans les affaires commerciales de la SM. Henri Mondin, Chef du Département de Transfert et Conversion d'Energie du CEA, préconise que le CEA vienne renforcer la prospection commerciale et la recherche de financement à l'étranger en mettant à la disposition de la SM des responsables de secteurs géographiques. Il propose que cette mission soit temporaire et qu'elle échoit aux attachés nucléaires ou aux représentants de Technicatome et de la SOFRATOME ou encore à des ingénieurs du DRI (le service des relations internationales). Il insiste pour que cela soit une mission transitoire. Si Mondin est un des premiers soutiens de Girardier lors de la création de la SOFRETES en 1973, fin 1980, il émet des réserves sur l'implication du CEA : « il paraît relever d'une prudence élémentaire de faire en sorte que le CEA n'ait pas l'air trop lié à ses filiales non nucléaires d'une fiabilité incertaine et limite à un niveau raisonnable l'assistance qu'il leur octroie. Il convient donc à notre avis de rester discret

[1832] *Ibid*., p. 2.
[1833] *Ibid*., pp. 2-3.
[1834] *Ibid*., p. 3.
[1835] *Ibid*., p. 4.
[1836] Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles, Max Clémot, « Liste des tâches et activités à transférer (SOFRETES) », 25 juillet 1980, archives privées fonds BCD (CEA).

(souligné dans le texte) sur ces actions de prospection à l'étranger tout en cherchant une efficacité à brefs délais. »[1837] Sa position illustre les changements de regards qui s'opèrent au sein même du CEA vis-à-vis de l'avenir à donner à la SOFRETES. Cette organisation à caractère transitoire est validée par le Directeur de la Division d'Études et de Développement des Réacteurs[1838]. En parallèle de cette réflexion sur les nouvelles modalités d'actions de promotion, le CEA recherche de nouveaux partenaires étrangers susceptibles d'investir dans la SM. Le dossier de promotion réalisé dans cette optique stipule que l'objectif pour 1983 est « l'existence d'une société industrielle solaire puissante et expérimentée »[1839]. Or, cet objectif est complétement écarté à la fin de l'année. Il n'est plus question d'industrie.

La possibilité de transférer les acquis techniques et commerciaux de la SM à une nouvelle société de conseils à l'international est envisagée à la Délégation à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles du CEA dans le secteur « ingénierie des énergies renouvelables pour les pays en voie de développement », ce qui implique la disparition de la SOFRETES-Mengin[1840]. Il est rappelé que ce marché des énergies renouvelables n'existe pas et qu'une telle société n'a donc comme raison d'être qu'une volonté politique : « l'existence ou la création d'une telle société représente en soi un acte politique qui permettra d'ouvrir et de mieux identifier ce marché. »[1841] Paradoxalement, « la demande existe, l'offre existe, des moyens financiers importants existent ». Le problème est « que manquent les moyens de mise en œuvre et d'achèvement des objectifs et des projets »[1842] D'où l'importance selon cette note d'une prise de participation du COMES dans une telle société afin de rendre cohérente l'existence de l'agence d'objectifs (le COMES est bien l'instrument de la politique publique solaire) et ses actions à l'export.

[1837] *Ibid*., p. 3.
[1838] Lettre du Directeur de la Division d'études et de développement des réacteurs à M. le Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles, « Action de prospection à l'étranger », 17 septembre 1980, archives privées fonds BCD (CEA).
[1839] CEA, Dossier de promotion de la SOFRETES auprès de partenaires étrangers potentiels, 1980, archives privées fonds BCD (CEA).
[1840] Note du CEA, Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles, « Éléments de réflexion sur l'existence et la fiabilité d'une société d'ingénierie des énergies renouvelables », 15 novembre 1980, p. 1.
[1841] *Ibid*.
[1842] *Ibid*., p. 2.

« Son noyau pourrait ainsi être la SOFRETES… Sans activités de fabrication »[1843]. C'est sur ce point que réside toute l'ambiguïté de la proposition. Sans activité industrielle la nouvelle société ne rendrait pas plus opérationnel le COMES qu'il ne l'est déjà puisque : « la société ne fabrique pas, elle travaille par appels d'offres. Éléments d'une politique nationale, elle représente l'outil opérationnel d'une politique de promotion et de développement, et d'une politique industrielle, en particulier à l'exportation. Elle ne doit pas se substituer aux industriels engagés dans ce domaine. »[1844] Si le potentiel de fabrication de la SM disparaît, qui va fabriquer ses dispositifs techniques ? Le risque est évidemment qu'ils disparaissent avec elle puisqu'elle est la seule à les proposer. Il ne resterait alors que les propositions techniques des grands industriels comme ceux de la CGE qui décideraient de ce qu'ils offrent ou non : « dans le cadre de la libre entreprise, les industriels engagés dans les fabrications de composants ou de systèmes continueront de dégager des projets propres dans leur prospection à l'étranger. Dans certains cas, ils pourraient faire appel à cette société d'ingénierie et d'entreprise générale, pour des études, installations ou réseau de maintenance, s'ils ne possèdent pas eux-mêmes ces capacités (souvent trop lourdes dans le cas de PME, ou marginales dans le cas de grandes sociétés). »[1845] Second point, ce choix écarte toute industrialisation possible au profit de la poursuite d'une action publique tournée vers des opérations de démonstration sans lendemain. La disparition de la SM et la création de cette nouvelle entité juridique sur ses cendres, en tant que simple cabinet de conseil au service des grands groupes auprès des gouvernements étrangers, assure donc la continuité de la politique publique de séduction solaire à l'étranger. Ainsi, la note envisage d'associer au CEA et au COMES le pétrolier national Elf et d'autres partenaires à trouver.

En décembre 1980, Le Comité d'entreprise SM fait le bilan de la restructuration menée par la nouvelle direction alors que le CEA établit son rapport annuel. Les deux documents n'insistent évidemment pas sur les mêmes aspects mais ils se complètent bien. Les représentants des employés de la SM relèvent ce qui pour eux semble dysfonctionner alors que la Direction du CEA résume ses principales décisions et fait le point sur ses orientations.

[1843] *Ibid*., p. 2.
[1844] *Ibid*., p. 3.
[1845] *Ibid*., p. 4.

Le Comité d'entreprise s'alarme qu'aucune commande solaire ne soit enregistrée[1846]. Il exprime sa surprise quant aux difficultés rencontrées pour assurer la maintenance des installations : « nous en sommes surpris, car la technique des réalisations solaires SM était comparable, en moins compliqué, à un moteur de voiture »[1847]. Pour eux, il s'agit donc d'un manque de volonté et non d'un problème technique. Ils dénoncent la recherche d'un acheteur pour l'activité assainissement. En effet, cette activité est moribonde, le matériel Mengin n'est plus du tout vendu depuis la prise de contrôle par Alsthom-Atlantique. Enfin, ils interprètent la rumeur d'une délocalisation de l'activité solaire à Cadarache comme le signe de sa disparition : « ceci correspondrait sans aucun doute à un arrêt dans la recherche de la filière développée par SM. Les marchands de cellules photovoltaïques seront plus tranquilles alors »[1848]. Un dernier argument complémentaire est avancé pour expliquer le choix du déménagement sur un site du CEA au Sud de la France. Le CEA chercherait également à amortir le plan social de la SFEC qui prévoit six cent vingt-cinq licenciements en y transférant l'activité solaire de SM, une décision qui prolongerait la nomination en avril de Teboul et Morin à la Direction Générale de SM. L'analyse du Comité d'entreprise est donc plutôt clairvoyante.

Le rapport annuel du CEA pour l'année 1980 annonce sans aucune ambiguïté l'objectif de la restructuration de sa filiale S/M : il s'agit de faire de la SOFRETES une société de conseil et d'ingénierie en énergies renouvelables active dans les opérations de coopération internationale[1849]. Cette décision signifie que c'en est bien fini du potentiel industriel de la sociotechnique développée par la SOFRETES, mais pas du potentiel de séduction politique des opérations énergies renouvelables à l'étranger dans le cadre de la coopération (pas forcément solaires, ni thermodynamiques basses températures d'ailleurs). Une autre information de ce rapport confirme bien l'abandon et le démantèlement de la S/M par le CEA. Il s'agit de la création d'une société de financement de l'innovation, EPICEA, par le CEA et la SOFINNOVA en juin 1980, dont l'objet est de valoriser les connaissances acquises par le CEA en participant au capital de filiales[1850].

[1846] Comité d'entreprise S/M, « Bilan de la situation SOFRETES-Mengin au 31 décembre 1980 », 21 janvier 1981, archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1847] *Ibid*.
[1848] *Ibid*.
[1849] *Rapport annuel du CEA 1980*, p. 67.
[1850] Entreprise de Promotion de l'Innovation au CEA (EPICEA) créée le 18 juin 1980. CEA (30 %), BNP (20 %), BFCE (10 %), Paribas (10 %), Société Lyonnaise des Eaux (10 %), Elf-Aquitaine (10 %), SOFINNOVA (5 %), SOGINNOVE (5 %). *Ibid*., p. 73.

Nous l'avons mentionné précédemment. En effet, il est remarquable de noter que cet instrument d'aide à l'innovation n'entre pas au capital de la SOFRETES-Mengin alors qu'en 1973 l'entreprise est justement intégrée à la politique d'aide à l'innovation par le biais de ce genre d'instruments. Pour preuve, EPICEA investit dans de nouvelles sociétés qui sont créées pour développer des applications dans des domaines couverts par les activités de la SM : les transferts thermiques, le dessalement de l'eau de mer et le stockage de chaleur. Par exemple, c'est la société ECOSTOC (filiale CEA-Colas) qui construit le stockage thermique de la centrale électro-solaire SOFRETES de Diakhao au Sénégal. Les acquis des réalisations techniques menées conjointement par le CEA et la SOFRETES pendant leur période de collaboration sont tout simplement transférés à d'autres sociétés et réorientés vers d'autres applications de transformation et de stockage de faibles gradients de températures, pas forcément solaires :

> Pratiquement indissociable du recours aux énergies renouvelables, par nature intermittentes, et de la récupération d'énergie du fait des déphasages entre production et utilisation, le stockage thermique, devenu une nécessité, fait l'objet d'un effort soutenu. C'est ainsi qu'a été créée la société Ecostoc, dont la vocation première est de commercialiser des « thermies stockées ». Elle fait appel à l'expérience de la société Colas en génie civil, et à celle du CEA en thermique appliquée. Son champ d'action se situe essentiellement sur les stockages en eau de moyenne capacité (500 à 500 000 m^3), associés le cas échéant à des pompes à chaleur. Ecostoc achève actuellement sa première réalisation, celle d'un stockage en eau de 500 m^3 qui assurera le fonctionnement continu de la centrale SOFRETES de Diakhao au Sénégal. Par ailleurs, les études préliminaires menées avec Elf-Aquitaine en vue d'un stockage intersaisonnier de chaleur sensible en nappes captives, de quelques dizaines de mégathermies, ont abouti au choix du site de Thierval-Grignon dans la région parisienne où la source de chaleur est une usine d'incinération d'ordures et où le réseau d'utilisation peut être constitué par un ensemble d'installations déjà existantes : le projet a reçu l'aide des communautés européennes[1851].

Le CEA présente, dans un document rédigé en décembre 1980 à l'intention du Comité de l'énergie nucléaire, les actions engagées qui vont se poursuivre au cours de l'année 1981[1852]. Des négociations en vue de la cession des activités de fabrication situées à Montargis sont envisagées avec cinq acheteurs possibles dont les principaux concurrents, Flygt et Guinard. Rappelons que Les Pompes Guinard sont également concurrentes dans la filière photovoltaïque (Groupe Leroy-Somer et partenaire d'Elf). Le transfert de l'activité solaire au CEA-Cadarache doit être effectif en 1981. L'entrée de

[1851] *Ibid*., p. 68.
[1852] Note du CEA, Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles, « Papier pour le Comité de l'énergie atomique de février 1981, ne pas diffuser - confidentiel, Évolution de SOFRETES », 22 décembre 1980, archives privées fonds BCD (CEA).

nouveaux partenaires financiers est encore un objectif mais une première tentative du CEA auprès d'un investisseur bancaire arabo-pétrolier est bloquée par le dirigeant Libyen pour des raisons diplomatiques (nous avons déjà mentionné ce point)[1853]. Deux scénarios sont ensuite évoqués quant au futur à moyen terme de la SOFRETES.

Dans le premier, elle servirait de noyau à « la société française qui constituera le principal vecteur de la politique solaire à l'exportation dans le domaine du conseil et de l'engineering (y compris montage et maintenance) qui sera constitué autour du COMES et d'Elf »[1854]. Un rapprochement avec le COMES est d'ailleurs en cours afin d'amorcer une normalisation de ses relations avec le CEA, notamment au moyen de transferts d'agents et d'affaires. Pour rappel, Bernard Devin, Chef du solaire au CEA, devient à cette époque le Chef du SAI du COMES et le COMES finance pour partie l'achèvement des stations en cours et le suivi et la maintenance du parc existant[1855]. En 1980, la politique de diversification du CEA est recentrée sur quelques secteurs prioritaires[1856]. Leurs financements reposent en partie sur la recherche de collaborations avec d'autres partenaires[1857]. C'est dans cette optique que le COMES et le CEA étudient fin 1980 une convention-cadre qui définit les secteurs et les modalités de leur action conjointe à venir[1858]. La question de la place que la SOFRETES doit y occuper est posée.

Dans le second cas de figure, la décision pourrait être « de susciter et d'encourager des concurrences immédiates ou potentielles à SOFRETES »[1859]. Le CEA se désengagerait alors complétement au profit d'un repreneur ou arrêterait progressivement l'activité. Or, la SOFRETES est très vite exclue de l'accord cadre CEA-COMES, ce qui

[1853] *Ibid*., p. 3.
[1854] *Ibid*.
[1855] *Ibid*., p. 2 de l'Annexe. L'Annexe reprend les mesures de restructuration prise au cours de l'année 1980 : nouvelle direction fin avril et réorganisation des différents secteurs d'activité dans un souci d'économie ; allègement des effectifs ; augmentation du capital, nouvelle répartition des parts, consolidation des dettes et participation financière du COMES à l'achèvement des projets en cours mais pas à la continuité de l'activité.
[1856] *Rapport annuel du CEA 1981*, p. 75.
[1857] *Ibid*.
[1858] *Ibid*.
[1859] Note du CEA, Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles, « Papier pour le Comité de l'énergie atomique de février 1981, ne pas diffuser - confidentiel, Évolution de SOFRETES », 22 décembre 1980, archives privées fonds BCD (CEA), p. 4.

signifie qu'elle n'est pas censée survivre dans leur relation, donc que c'est ce second scénario qui semble se réaliser[1860].

Le document s'achève en précisant que ces deux options sont proposées dans l'attente d'une décision du gouvernement.

En mars et en juillet 1981, les orientations ci-dessus sont présentées au Comité de l'énergie atomique[1861]. Elles sont justifiées par le constat que les mesures engagées en 1980 ne permettent pas de redresser le compte d'exploitation de la société qui accuse encore un lourd déficit essentiellement dû à son secteur solaire. Quatre raisons principales sont données. Premièrement, le kWh solaire n'est pas compétitif. Cependant, aucune précision n'est fournie quant aux éléments pris en considération pour aboutir à cette sentence. De quel type d'installation parle-t-on ? Dans quel contexte d'utilisation ? pour répondre à quels besoins ? Par rapport à quelle autre solution prototypique ? Ou bien la comparaison est-elle menée à partir d'une solution conventionnelle Diésel ? En prenant quels éléments de comparaison ? Sur quelle durée ? Etc. Deuxièmement, la mise au point des installations sur site est difficile en raison des conditions locales et de l'éloignement. Mais, précise-t-on, ces difficultés sont maintenant surmontées. Troisièmement, les clients sont dans l'incapacité de maintenir convenablement les machines qui restent donc à la charge de la SOFRETES puisqu'aucun contrat de financement de la maintenance n'est prévu par les bailleurs nationaux ou internationaux. Quatrièmement, les coûts de fabrication des composants solaires par l'usine Mengin sont trop importants. L'usine n'est pas adaptée. Finalement, aucune de ces raisons ne remet en cause, ni la solution sociotechnique dont il est question, ni son bon fonctionnement.

En juillet-août 1981, la DIMME fait un bilan plus positif de la situation de la SM et surtout elle envisage différemment la poursuite de ses activités. Le rôle néfaste d'Alsthom-Atlantique sur l'activité commerciale dans le secteur de l'assainissement est établi[1862]. Aussi, l'accord avec Alsthom-Atlantique est-il rompu et la SM peut reprend

[1860] Les négociations de l'accord-cadre sont lancées en octobre 1980 et signées en mars 1981. Lettre du DG du COMES à l'Administrateur Général délégué du CEA, « Protocole CEA-COMES », 17 mars 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 6.
[1861] Question n°6, « Note pour le comité évolution de la société SOFRETES-Mengin », 433ème réunion du Comité de l'énergie atomique, 10 décembre 1981, ministère de la Recherche, Archives Nationales, répertoire 19910783, carton 2, p. 2.
[1862] SOFRETES-Mengin, « Rapport d'activité pour les pays couverts par l'assurance prospection 1980 », 10 mars 1981, Dossier COFACE pour la prolongation de l'assurance prospection accordée à la SM, 6 août 1981, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16.

complètement en main son activité commerciale au printemps 1981[1863]. La DIMME conclut que « SOFRETES-Mengin, dont le capital est dorénavant détenu par des actionnaires intéressés à ses activités, est maintenant en mesure de se comporter en véritable industriel »[1864]. Cette posture est éloignée de celle qui préside à la nouvelle restructuration alors en cours qui poursuit l'objectif inverse.

En décembre 1981, l'opération de séparation des activités traditionnelles et solaires de la SM est enfin engagée sur le plan juridique (l'annonce de la séparation est faite à SM fin juillet 1981)[1865]. Cependant, le CEA ne trouve aucun repreneur pour la partie Mengin et il se prépare à poursuivre seul l'exploitation de l'usine de Montargis[1866]. Pour le volet solaire, la recherche de partenaires étrangers se poursuit et des contacts sont établis avec le Canada (Petrocanada et Hydroquebec), le Koweït et le Maroc[1867]. Les personnels qui déménagent à Cadarache avec la nouvelle SOFRETES seront ventilés entre les contrats SOFRETES et les programme du CEA dans le domaine des énergies renouvelables[1868]. En effet, la dilution des savoirs, des savoir-faire et des installations d'essai de la SOFRETES dans les activités du CEA se poursuit. Le rôle dévolu au CEA par l'accord-cadre CEA-COMES est d'apporter une assistance technique à certaines opérations de démonstration et programmes de recherches grâce aux moyens d'expérimentation du CEA regroupés à Cadarache et sur le terrain des accords de coopération à l'étranger[1869]. En bref, le CEA est mis à disposition du COMES et des industriels intéressés aux dispositifs solaires dans des partenariats de programme et il ne mène plus d'action indépendante[1870]. A l'étranger, par exemple en Égypte, le CEA poursuit la coopération solaire engagée à l'époque de la SOFRETES mais sans elle. En juillet 1981, *la joint-venture* égyptienne *Renewable Energy Egyptian-French Company* (REEFCO) est enfin créée entre El Maco, le CEA et Giordano-Total pour l'utilisation des

[1863] DIMME, « Avis de la commission du 17 février 1982 », Dossier SOFRETES 1977-1984, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910397, carton 48, reproductions interdites.
[1864] DIMME, « Note pour M. Mouton, Bureau des procédures à l'exportation, Assurance prospection de la société SOFRETES-Mengin », 28 août 1981, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16
[1865] Question n°6, « Note pour le comité évolution de la société SOFRETES-Mengin », 433ème réunion du Comité de l'énergie atomique, 10 décembre 1981, ministère de la Recherche, Archives Nationales, répertoire 19910783, carton 2, p. 4.
[1866] *Ibid*.
[1867] *Ibid*.
[1868] *Ibid*.
[1869] *Rapport annuel du CEA 1981*, p. 75.
[1870] *Ibid*., p. 84.

technologies françaises dans la fabrication des chauffe-eaux solaires et des composants de stations thermodynamiques[1871]. Cependant, progressivement, les propositions techniques du CEA sont réorientées afin d'écarter toutes installations thermodynamiques basses températures au profit de dispositifs photovoltaïques[1872].

Cet abandon progressif de la filière solaire thermodynamique basse température qui accompagne celui de la SOFRETES répond à un choix gouvernemental qu'une lettre de Jean-Pierre Chevènement, récent ministre de la Recherche et de la Technologie, à l'Administrateur général délégué du CEA renseigne[1873]. Dans ce document, le ministre donne ses orientations notamment en ce qui concerne le programme de la mission d'Innovation et de Valorisation Industrielles à mettre en œuvre par le CEA. La priorité sera accordée aux actions en matière de biotechnologie médicale et d'électronique. Un second volet sera consacré à la robotique, la bioconversion de l'énergie solaire, l'agro-alimentaire et les économies de matières premières. Ces choix écartent les actions de R&D et de démonstration du CEA en matière de conversion thermodynamique basse température et préparent la réorganisation et la réorientation des domaines d'action du COMES alors à l'étude par le nouveau gouvernement socialiste. D'ailleurs, c'est auprès du ministère de la Technologie et de la Recherche, de Philippe Chartier qui a la charge d'établir le programme d'actions de la future AFME et de l'Assemblée nationale, après la victoire du Parti socialiste, que Jean-Pierre Girardier fait une dernière tentative pour participer à la politique publique solaire nationale.

Girardier présente son bilan de la politique publique solaire mise en œuvre par le COMES à M. Ferrari, Conseiller technique au ministère de la Technologie et de la

---

[1871] *Ibid*., p. 85. La SOFRETES est intégrée dès le départ par le CEA à la coopération franco-égyptienne en matière d'énergies renouvelables. La création de REEFCO lui doit beaucoup. Correspondance avec Bernard Devin, août-septembre 2018 ; « Contrat COMES-CEA, assistance technique à l'étranger, fiche Égypte » et « Égypte, rapport final », 1er mai 1982, Contrat COMES-CEA Rapport final 1981, 1er mai 1982, Convention d'application « assistance technique à l'étranger », convention N°8143000223, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245 ; Notes manuscrites « Égypte » (pochette Moyen-Orient), dossier « Projet de développement des énergies solaires par pays 1980 – Solaire programme et fiche opération », Ministère des Affaires Étrangères, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 6.

[1872] Lettre de Max Clémot à M. Lotfy, « études projet pour T. Tablawi », 15 avril 1981 et Max Clémot pour le Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles du CEA, « Projets à caractère démonstratif » (Solar energy applied to the developement of human settlements in the high dam lake and the eastern desert), 23 octobre 1980, archives privées, fonds BCD (CEA).

[1873] Lettre de Jean-Pierre Chevènement, ministre de la Recherche et de la Technologie, à M. l'Administrateur général du CEA, 4 décembre 1981, 433ème réunion du Comité de l'énergie atomique, 10 décembre 1981, ministère de la Recherche, Archives Nationales, répertoire 19910783, carton 2.

Recherche le 30 juillet 1981 : l'agence d'objectifs, en sous-traitant aux industriels toutes ses actions en conformité avec ses objectifs qui « considèrent les énergies renouvelables comme tout à fait marginales dans le bilan énergétique », ne soutient pas un intérêt solaire national mais le confond avec ceux des grands industriels[1874]. D'ailleurs, « le COMES néglige totalement les PME »[1875]. Girardier déplore l'absence d'une politique volontariste et considère les actions du COMES cohérentes avec la politique en cours d'application qu'il dénomme « une politique d'opportunité »[1876]. Si cette dernière se poursuit, son aide n'a donc aucune « raison d'être »[1877]. Ce document est communiqué à Philippe Chartier à qui Chevènement vient de confier la mission spéciale « Énergie nouvelle et utilisation rationnelle de l'énergie »[1878]. Chartier répond à Girardier qu'il lui fera savoir la suite à donner à ses recommandations après le débat sur l'Énergie prévu à l'automne. En octobre 1981, Girardier transmet son compte-rendu à la député Marie-France Lecuir[1879]. Au même moment, dans un article publié par le journal *Le Monde*, les époux Alexandroff (architectes conseils de la SOFRETES) font part de leur déception après les propos de Chevènement en août qui marginalisent et décrédibilisent le solaire. Ils l'accusent d'assurer la continuité d'une politique publique qui n'a jamais été que l'expression d'une volonté d'instrumentalisation des opérations de démonstrations :

> Monsieur le ministre, nous avons beaucoup attendu votre arrivée et vos programmes, et disons-le, nous sommes inquiets. Vos propos n'ont rien de neuf, au VIII[e] Plan on en était exactement au même point : la vieille recette était celle du pâté d'alouette : vingt-cinq maisons solaires pour deux cent cinquante mille pavillons tout électriques, cent chauffe-eaux solaires pour une centrale nucléaire. Sommes-nous polémiques ? Hélas non, car à l'exportation c'était la même formule : à l'Iran, à l'Égypte, au Niger, on offrait déjà un laboratoire solaire en introduction aux tractations sérieuses... Programme nucléaire ou achat d'uranium...[1880]

Puis c'est au tour de Michel Pecqueur, l'Administrateur général du CEA de s'adresser au gouvernement pour lui soumettre son évaluation du potentiel de la

[1874] Compte-rendu de l'entrevue avec M. Ferrari, Conseiller technique au ministère de la Technologie et de la Recherche, 30 juillet 1981, Archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1875] *Ibid*.
[1876] *Ibid*.
[1877] *Ibid*.
[1878] Lettre de Philippe Chartier, INRA, à Jean-Pierre Girardier du 21 août 1981, Archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1879] Lettre de Jean-Pierre Girardier à Madame Marie-France Lecuir, 21 octobre 1981, Archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1880] ALEXANDROFF G., DE BUCHÈRE J.-M., LIEBARD A., « La danseuse », *Le Monde*, 1 octobre 1981.

SOFRETES et lui demander d'arrêter une décision quant à son avenir, que le CEA appliquera[1881].

Dans sa lettre, Pecqueur présente les points « incontestablement positifs » du bilan des actions CEA-SOFRETES en termes de progrès techniques accomplis, d'expérience de terrain acquise, de renommée au service du rayonnement de la France, notamment dans les pays d'Afrique sahélienne grâce aux opérations d'aide au développement de la politique de coopération[1882]. Cependant, « vendre des installations solaires de production d'énergie dans un cadre concurrentiel est encore aujourd'hui une vue de l'esprit »[1883]. Pecqueur insiste là sur la nature complètement politique de ces opérations et absolument pas technico-commerciale. Il dresse la liste des arguments qui le prouvent et qui sont autant de contraintes qui pèsent sur l'avenir de la sociotechnique, de ses prototypes et de ce fait sur la SOFRETES elle-même. Premièrement, les gouvernements clients sont « insolvables, souvent incapables de réceptionner et de maintenir les installations livrées (qui restent *de facto* à la charge du fournisseur) »[1884]. Deuxièmement, les financements de l'aide au développement international sont soumis à des calendriers d'actions long et ne solutionnent pas « le problème de l'accueil des installations »[1885]. Troisièmement, la nature des opérations est politique, elle recouvre d'autres dossiers, puisque « le solaire reste dans de nombreux cas un objet politique (cadeaux plus ou moins intéressés à l'occasion d'accords portant sur d'autres affaires…) »[1886]. Face à cette réalité, Pecqueur explique au nouveau gouvernement que le CEA n'est pas en mesure d'assumer à lui seul les coûts de telles opérations et que sa position vis-à-vis de la SOFRETES, en l'état, est la « sauvegarde du potentiel utile de la SOFRETES et (l'apport de) son concours aux activités de recherche et de développement »[1887]. En d'autres termes, le CEA ne peut concevoir des activités industrielles sans la mise en œuvre d'un programme de politique publique dédié : « le maintien de ce type d'activité ne peut se concevoir que dans le cadre de programmes de réalisation (par ex. plan Sahel) lancés et soutenus par le gouvernement

[1881] Lettre de l'Administrateur général du CEA, Michel Pecqueur, à Monsieur le ministre d'État, ministre de la Recherche et de la Technologie, Monsieur le ministre de l'Industrie, Monsieur le ministre délégué auprès du ministre de l'Industrie, chargé de l'Énergie, « Activité du CEA et de SOFRETES dans l'énergie solaire », 21 octobre 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 6.
[1882] *Ibid*.
[1883] *Ibid*.
[1884] *Ibid*.
[1885] *Ibid*.
[1886] *Ibid*.
[1887] *Ibid*.

français et qui permettraient des actions répétitives dans quelques pays bien choisis, actions incluant la prise en charge de la maintenance et se situant dans un contexte moins éloigné des conditions minimales d'une opération industrielle. »[1888] La décision appartient donc au gouvernement de poursuivre ou non l'existence de la SOFRETES et de sa sociotechnique. Pecqueur insiste sur les conséquences qu'implique l'arrêt des activités de fabrication de la SOFRETES. En effet, il rappelle que les gouvernements clients des pays du tiers-monde sont demandeurs d'opérations « clés-en-main » puisqu'ils ne peuvent pas construire eux-mêmes tout le dispositif. Par conséquent, « réduire l'activité industrielle à des opérations d'ingénierie risque de nous priver des possibilités d'action les plus significatives »[1889]. Ces arguments de Pecqueur sont repris dans la note adressée par la Direction du CEA au Comité de l'énergie atomique du 10 décembre 1981, dont le compte-rendu des orientations proposées pour 1982 se termine par le même constat qui prévalait au moment de la création même de la SOFRETES dix ans plus tôt : le CEA ne peut pas, à lui seul, ni prendre la décision, ni apporter les moyens nécessaires pour soutenir une telle activité proto-industrielle à l'étranger, seul le gouvernement peut le faire dans le cadre d'une politique volontariste de réalisation, ce qui nécessiterait un rapprochement avec son administration de mission, en l'occurrence le COMES, et avec des industriels[1890].

En 1982, les discussions autour de la création d'une société de conseil, dont la SOFRETES[1891] constituerait le noyau dur, sont toujours en cours alors qu'est créée

[1888] *Ibid*.
[1889] *Ibid*.
[1890] Question n°6, « Note pour le comité évolution de la société SOFRETES-Mengin », 433ème réunion du Comité de l'énergie atomique, 10 décembre 1981, ministère de la Recherche, Archives Nationales, répertoire 19910783, carton 2, p. 7.
[1891] En 1982, sur le plan juridique, la séparation de la SOFRETES et de l'usine Mengin est réalisée. Les Etablissements Pierre Mengin (EPM) sont administrés par CEA-Industrie, une filiale du CEA qui chapote aussi la Cogema (*Rapport du CEA 1983*, p. 98 et p. 101). Les EPM sont alors une société mère de gestion qui administre une nouvelle filiale, la Société Nouvelle des Etablissements Mengin (SNEM), en fait tout simplement l'usine de Montargis. La SOFRETES, dirigée par Jean Rastoin, est localisée à Cadarache. Jean Rastoin (1932-2009) est « ingénieur au service technique des constructions et armes navales (1956-62), détaché au Commissariat à l'énergie atomique (CEA) (depuis 1958) : Adjoint au chef du service d'étude de protection des piles (1962-70), Chef de service (1970-75), Chef de département des études mécaniques et thermiques (1975-82), Directeur des études et développements des réacteurs (1983-90), Administrateur du Centre d'études techniques des industries mécaniques (Cetim) (1977-80), de Sofretes (1979-83) et d'Aérowatt (1980-85); Directeur de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) (1990-91), Vice-président de l'Institut supérieur d'électronique de Paris (Isep) (1985-95), Président du Comité consultatif pour le développement des technologies d'emploi du charbon (Codetec) (depuis 1980), de la Société française des mécaniciens (SFM) (depuis 1996), Fellow of the American Nuclear Society ». https://www.whoswho.fr/decede/biographie-jean-rastoin_18000

l'AFME en avril et que le 3ème programme FAC-COMES 1982 est lancé (20 MF)[1892]. Le CEA réitère sa proposition afin que cette hypothétique société puisse participer aux appels d'offres de ce programme qui prévoit que 10 % du montant des réalisations soient consacrés aux études et 20 % aux actions de suivi-maintenance. Par rapport à sa proposition de fin 1980, le CEA suggère cette fois que les industriels tels Elf et Total en soient exclus au profit d'un actionnariat construit exclusivement autour du CEA, de l'AFME et de la Caisse Centrale de Coopération. En bref, le CEA demande à l'AFME de devenir l'actionnaire d'une nouvelle SOFRETES (au capital entièrement public) auquel elle sous-traiterait ses affaires solaires (conseil, ingénierie, suivi-maintenance) à l'étranger. Cependant, l'AFME, qui met en application la politique publique en matière de maîtrise de l'énergie prend ses distances avec la SOFRETES et les propositions du CEA.

En mai 1982, une réunion est organisée entre l'AFME et le CEA au cours de laquelle celui-ci présente l'état des lieux de ses activités de R&D valorisables dans les domaines de l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (URE), des énergies renouvelables et des matériaux, conformément à ceux envisagés par la Mission Chartier dont l'objectif est de définir les orientations d'actions prioritaires de l'AFME[1893]. L'objectif de cette réunion est de préparer le futur accord-cadre entre l'AFME et le CEA qui doit prendre la suite de l'accord CEA-COMES de 1981. Il est suggéré que le plan programme du CEA accorde la priorité aux recherches sur le charbon et la biomasse pour être AFME compatible. En ce qui concerne le solaire, les applications « basses températures : cycles à faible écart de température » sont écartées des thèmes horizontaux de R&D, c'est-à-dire des thèmes communs à plusieurs domaines d'applications[1894]. Le gouvernement, *via* l'AFME, écarte donc les applications solaires thermodynamiques à basse température des programmes de recherche et de démonstration de l'administration de mission et du CEA. C'en est fini de la sociotechnique.

Le 27 mai 1982, il est décidé de la liquidation de la SOFRETES lors d'une réunion qui regroupe autour de l'Administrateur Général du CEA, Michel Pecqueur, tous les

[1892] CEA, Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles, « Pour une nouvelle entité », 1982, archives privées fonds BCD (CEA).
[1893] CEA, Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles, « Présentation des activités d'innovation et développement industriel dans le domaine des utilisations rationnelles de l'énergie et des matières premières », réunion AFME-CEA, 12 mai 1982, archives privées fonds BCD (CEA).
[1894] *Ibid*., tableau 4.

Chefs de Divisions ou Départements du CEA impliqués dans les affaires de la SOFRETES, et notamment son nouveau PDG, Jean Rastoin[1895]. Le compte-rendu des décisions précise que les dépenses doivent cesser immédiatement. Le CEA étudiera en concertation avec l'AFME les solutions possibles pour trouver une issue aux dossiers SOFRETES en cours. Le cas particulier de la centrale de Ryad est évoqué. Une solution à l'amiable est décidée. En fait, le CEA versera un dédommagement financier à l'Arabie Saoudite d'un montant plus élevé que le contrat initial afin de clore un dossier conflictuel (*cf. infra* chapitre 6)[1896].

En décembre 1982, l'accord-cadre AFME-CEA est signé, simultanément, un groupe de travail AFME-CEA est créé pour examiner les contrats SOFRETES posant encore des problèmes dans le cadre de la liquidation de l'entreprise afin de régler les derniers dossiers (*cf. infra* chapitre 6). L'accord du 15 décembre 1982 organise les activités du CEA en trois groupements opérationnels. Le Groupement pour l'Expérimentation de Pilotes Energétiques (GEPE) de Cadarache à la charge du programme AFME-CEA énergie renouvelable alors que celui de Grenoble (Groupement pour la Recherche sur les Echangeurs Thermiques, GREThi) intègre le volet URE[1897]. Les opérations de coopération internationale AFME-CEA vont dès lors privilégier la promotion des convertisseurs photovoltaïques comme c'est déjà le cas à Borj Cedria en Tunisie où une unité de dessalement par osmose inverse est alimentée par des cellules photovoltaïques alors que le CEA et la SOFRETES inaugurent le 17 janvier 1982 à El Hamrawin une unité thermodynamique de dessalement par osmose inverse en présence d'Edmond Hervé, ministre de l'Énergie[1898].

L'année 1983 sert à régler les affaires courantes et à organiser la liquidation qui est actée à l'Assemblée Générale extraordinaire des actionnaires dans sa séance du 7 novembre 1983 pour une application effective au 1er janvier 1984[1899]. La DIMME et la

[1895] CEA, « SOFRETES, relevé de décisions, réunion du 27 mai 1982 », confidentiel, 1er juin 1982, archives privées fonds BCD (CEA).
[1896] Entretiens avec Max Clémot et Jean-Paul Durand, *op. cit*.
[1897] *Rapport annuel du CEA 1983*, p. 65 ; Le dossier « Pochette GIP CEA 1983-1986 », Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245, permet de consulter sur cette période des conventions annuelles de recherche AFME-CEA ainsi que des rapports d'activités du GEPE. Ces documents sont exploités au chapitre 6.
[1898] *Ibid*. et Rapport du groupe de travail CEA-AFME sur la SOFRETES, 28 février 1983, archives privées fonds BCD (CEA), p. 2 de la section El Hamrawin.
[1899] « Courrier du liquidateur de la SOFRETES, F de Puybaudet, au Secrétariat de l'Aide au développement de la DGRST à l'attention de Mlle Desfachelles », Dossier SOFRETES 1977-1984, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910397, carton 48, reproductions interdites.

DGRST accordent en 1984 le constat d'échec total à la SOFRETES qui n'aura donc pas à rembourser un restant dû d'environ 1 MF[1900]. La SOFRETES n'existe plus. Ses installations périclitent faute d'exploitation et de maintenance. Certaines sont remplacées par des dispositifs photovoltaïques. Le temps et le sable participent à leur oubli. Pourtant, au CEA, en 1983, la filiale ECOSTOC, met au point une installation pilote de récupération des rejets thermiques industriels à basse température sur les réacteurs nucléaire Osiris et Orphée du site de Saclay[1901]. La société bénéficie également d'un financement des Communautés européennes pour la réalisation en 1984 d'une centrale solaire de chauffe pour l'alimentation d'un ensemble de quarante-huit villas à Venelles[1902].

5. 1984- La *damnatio memoriae*

A partir de 1983-1984, la SOFRETES disparue, le CEA cherche à se débarrasser de la SNEM, c'est-à-dire de l'ancienne usine familiale de Girardier à Montargis. Cependant, le passage de témoin ne fonctionne pas vraiment et le CEA est contraint de conserver la SNEM dans son groupe, ce qui le pousse à lui trouver une nouvelle place dans le secteur du nucléaire. Simultanément, les traces de la SOFRETES sont progressivement effacées.

De 1984 à 1986, la SNEM (Société Nouvelle des Etablissements Pierre Mengin) poursuit la fabrication et la vente des hydropompes à pied Vergnet destinées aux programmes d'hydraulique villageoise et pastorale des pays du tiers-monde, surtout pour l'Afrique[1903]. Elle maintient également l'activité traditionnelle Mengin dans le secteur de l'assainissement et de l'eau potable. Enfin, son PDG, l'agent du CEA Jean-Pierre

[1900] *Ibid.* ; DIMME, Affaires techniques, « Note pour le CNAAI », 07 septembre 1984, Dossier SOFRETES 1977-1984, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910397, carton 48, reproductions interdites ; Procès-verbal de l'ANVAR du 19 septembre 1984, Dossier SOFRETES 1977-1984, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910397, carton 48, reproductions interdites.
[1901] *Rapport annuel du CEA 1983*, p. 97.
[1902] *Ibid*.
[1903] Par exemple, en 1985, La SNEM remporte un appel d'offre international pour un programme d'équipement du gouvernement mauritanien en hydraulique villageoise et pastorale. 203 pompes Vergnet sont installées sur financement du fonds koweitien pour le développement économique arabe en partenariat avec la CEAO et le BRGM (pour les forages). Dossier juridique et comptable du contrat avec la Mauritanie, 1984-1985, Archives privées fonds usine Mengin.

Monneyron, développe, en s'appuyant sur sa capacité de production en mécanique générale, une activité de sous-traitance pour le CEA dans le domaine nucléaire[1904]. L'usine Mengin fabrique notamment des fûts pour les déchets à faible radioactivité de l'usine de retraitement de La Hague. Elle dépose même un brevet industriel pour une « machine de contrôle et de tri de linge contaminé »[1905].

L'entreprise est donc toujours active à l'export. En 1983, Jean-Pierre Sueur, député du Loiret, est l'auteur d'une question parlementaire adressée au ministre de l'Industrie, Laurent Fabius, dans laquelle il demande aux pouvoirs publics de soutenir la SNEM pour candidater à un programme de la BM et du PNUD d'équipement des points d'eau en Afrique, en Asie et Amérique latine[1906]. Fabius lui répond qu'il y est très favorable et que le dossier est suivi avec intérêt. Une note confidentielle stipule en effet que la SNEM vient d'obtenir pour cette opération une subvention CODEX de la DREE sur avis favorable de la DIMME de 1,4 MF remboursable si les exportations n'atteignent pas les objectifs fixés.

Fin 1984, l'activité de la SNEM se répartit comme suit : 50 % hydropompes Vergnet, 25 % pompes d'assainissement et 25 % sous-traitance CEA[1907]. Une note de la DIMME fait état de la position du CEA vis-à-vis de la SNEM : « les Établissements Pierre Mengin sont passés sous le contrôle du CEA suite aux vicissitudes de leur tentative de diversification dans les pompes thermodynamiques solaires (ex-société SOFRETES-Mengin). Revenue aux seules activités pompes, la société ne correspond pas aux vocations du CEA qui cherche à s'en défaire. »[1908] Ce document nous apprend que les Pompes Guinard, concurrentes de Mengin dans l'assainissement et anciennes concurrentes de la SOFRETES (Groupe Leroy-Somer, actif dans le photovoltaïque à l'export en partenariat avec Elf), manifestent leur intérêt pour une possible reprise de la SNEM. Guinard craint que la SNEM ne soit cédée à la suédoise FLYGT, filiale d'ITT, le

[1904] MONNEYRON, J.-P., « Les hydropompes SNE Mengin », La dimension internationale du CEA, *Les Échos du groupe CEA*, n°1, 1985, pp. 55-57.
[1905] Brevet industriel de Pierre Boulet pour la SNEM, « machine de contrôle et de tri de linge contaminé », déposé le 14 juin 1984, N° FR2565853A1.
[1906] Note manuscrite du 7 juillet 1983 concernant l'intervention parlementaire N°398 « pompes Mengin » et Lettre de Laurent Fabius du 8 novembre 1983 à Jean-Pierre Sueur, député du Loiret, auteur de la question parlementaire n°398, Archives nationales, ministère de l'Industrie, DIMME, Dossier Mengin 1983-1985, répertoire 19910397, carton 62, reproductions interdites.
[1907] Note manuscrite du 6 décembre 1984 sur la Société Nouvelle des Etablissements Mengin, Archives nationales, ministère de l'Industrie, DIMME, Dossier Mengin 1983-1985, répertoire 19910397, carton 62, reproductions interdites.
[1908] *Ibid*.

leader mondial des pompes d'assainissement (50 % du marché intérieur contre 10 % pour Mengin) alors que Guinard cherche à faire perdurer son unité de fabrication à Lille : « Guinard est intéressé par l'activité hydropompe Vergnet car Guinard est très introduit en Afrique par ses pompes photovoltaïques. La pompe Vergnet est bien accueillie, elle bénéficie d'une subvention CODEX de 1,4 MF en 1983 et a obtenu une assurance prospection pour un budget de 1,6 MF. »[1909] La DIMME conclut en faveur d'un rapprochement du CEA avec Guinard. Finalement, des accords sont signés entre Les Pompes Guinard et la SNEM aux termes desquels le réseau de distribution Guinard obtient la représentation exclusive des pompes d'assainissement et des hydropompes Vergnet de la SNEM alors qu'en échange le réseau Mengin propose les pompes Guinard pour l'industrie et pour l'assainissement[1910]. Le CEA conserve donc cette société filiale.

Afin de contextualiser les rapports historiques entre la SNEM et le CEA, la note de la DIMME du 6 décembre 1984 joint une annexe au procès-verbal de la séance du 19 novembre 1984 du Sénat qui propose une évaluation de la prise de participation du CEA dans la SOFRETES depuis 1975[1911]. En fait, cette commission des finances s'exprime sur le rapport annuel de la Cour des comptes de 1984 qui fait état, selon elle, des interventions contestables du CEA en matière de diversification industrielle[1912].

Dans le compte-rendu intégral de la séance sénatoriale du 19 novembre 1984 portant sur la loi de finance pour 1985, André Fosset, au nom de la Commission des finances, s'adresse à Pierre Bérégovoy alors ministre de l'Économie, des Finances et du Budget, pour lui présenter quatre exemples qui, selon la Cour des comptes, seraient symptomatiques des diversifications hasardeuses et coûteuses de certaines entreprises publiques : « en prenant le contrôle des Etablissements Pierre Mangin {et non Mengin} et de leur société filiale, la Sofretes, le Commissariat à l'énergie atomique a pénétré dans le domaine, étranger à sa vocation propre, de l'assainissement et des hydropompes. Au total, précise la Cour, cette malencontreuse affaire aura coûté près de 85 millions de francs

[1909] *Ibid*.
[1910] Note manuscrite du 15 février 85, Archives nationales, ministère de l'Industrie, DIMME, Dossier Mengin 1983-1985, répertoire 19910397, carton 62, reproductions interdites.
[1911] N°69, Sénat, Première session ordinaire de 1984-1985, Annexe au procès-verbal de la séance du 19 novembre 1984, Rapport général fait au nom de la commission des Finances, du Contrôle budgétaire et des Comptes économiques de la Nation, sur le projet de loi de finances pour 1985, adopté par l'Assemblée nationale. Par M. Maurice Blin, Sénateur, rapporteur général. Tome I, le budget de 1985 et son contexte économique et financier.
[1912] Cour des Comptes, *Rapport de la Cour des Comptes de 1984*.

au C. E. A. »[1913] Il faut immédiatement remarquer que le solaire est complètement absent de ce trop bref résumé d'une histoire bien plus complexe. La SOFRETES est présentée comme une filiale de pompes d'assainissement et d'eau propre ! En effet, vu sous cet angle, il est difficile de comprendre en quoi les domaines de recherche du CEA furent intéressés aux activités de cette société ! Nous observons là une production institutionnelle d'ignorance et d'oubli, vraisemblablement involontaire. Alors que la SOFRETES vient d'être liquidée, sa sociotechnique solaire n'a jamais existé ! Voilà le message énoncé en plein Sénat aux oreilles de Bérégovoy. Pourtant, les termes du rapport de la Cour des comptes n'omettent absolument pas le passé solaire de la SOFRETES-Mengin, filiale des EPM. Cependant, elle en fait bien peu cas. Elle insiste surtout sur les difficultés gestionnaires rencontrées par l'entreprise, et elle incrimine le CEA et sa tutelle gouvernementale pour leur manque de clairvoyance sur le potentiel industriel et commercial de la SOFRETES-Mengin qu'elle disqualifie. André Fosset ne retient donc qu'une vérité très partielle de l'histoire des rapports CEA-SOFRETES. Il convient d'approfondir la lecture du rapport de la Cour des comptes car la sanction de la prestigieuse institution de contrôle nous semble particulièrement révélatrice de la fabrication institutionnelle d'ignorance et d'oubli alors à l'œuvre.

Le rapport propose une version officielle de l'histoire administrative des EPM et de sa filiale SOFRETES en tant qu'exemple d'échec d'opération de diversification conduite par des entreprises publiques[1914]. Il ne s'agit absolument pas de l'évaluation d'un instrument de la politique publique solaire de la France à l'étranger, d'une sociotechnique solaire en particulier ou d'une PME, filiale de grand groupes industriels de l'énergie, qui installe des prototypes dans le tiers-monde pour le compte de gouvernements clients.

En introduction, la Cour rappelle qu'elle procède ici à l'analyse des résultats d'opérations de diversification de certaines entreprises publiques et non à la diversification en tant que telle. Elle fait remarquer qu'elle constate que beaucoup d'entreprises publiques s'engagent dans des activités éloignées de leur vocation initiale mais qu'il n'en demeure pas moins que cela est souvent justifié : « cette évolution est

[1913] *Journal Officiel de la République française*, mardi 20 novembre 1984, Débats parlementaires, Sénat, Première session ordinaire de 1984-1985, compte-rendu intégral, 24ème séance, lundi 19 novembre 1984, p. 3230.
[1914] Cour des Comptes, *Rapport de la Cour des Comptes de 1984*, cinquième partie « Les entreprises publiques », « 4. L'échec d'opérations de diversification conduites par des entreprises publiques », pp. 189-194, II. SOFRETES-Mengin pp. 3-6.

souvent justifiée, en termes techniques et financiers par le caractère complémentaire des produits, par la similitude des procédés de production, ou par la possibilité de réintégrer des bénéfices dans le secteur paraissant offrir des perspectives. »[1915] Nonobstant, la Cour fait le constat que « dans plusieurs cas les résultats obtenus avaient été éloignés des prévisions, soit que les maîtres d'œuvre n'aient pas procédé, à l'égard de marchés qu'ils connaissaient mal, à des analyses suffisantes, soit qu'ils aient sous−estimé la difficulté de maîtriser des techniques étrangères à leur domaine de compétence. »[1916] La prise de participation du CEA dans les EPM et dans la SOFRETES est placée dans cette catégorie. Or, comme nous l'avons bien démontré : le marché dont il est question n'existe pas puisqu'il s'agit en fait d'un marché d'aide publique dont l'existence répond à des déterminants politiques ; les techniques dont il est question ne sont absolument pas étrangères aux domaines de compétences du CEA, bien au contraire, elles sont de plus parfaitement maîtrisées et fonctionnelles ; enfin, le CEA n'est pas le seul acteur (ni le l'unique partenaire public) impliqué dans l'existence de la SOFRETES. Nous le voyons, les biais préalables à l'analyse de la Cour sont nombreux.

Dans une première partie, le rapport revient sur la période 1972-1979. Il considère que l'entreprise n'est déjà plus viable dès les bilans financiers de 1975-1976 et 1976-1977. Il fustige la reprise par le CEA des parts de la Régie Renault au moment du désengagement de sa filiale RMD des EPM et ce, pour un montant supérieur à l'évaluation faite par les services financiers de Renault. La Cour considère que cette prise de participation majoritaire du CEA, à la demande du ministère de l'Industrie, ne correspond pas à sa mission : « il n'en demeure pas moins qu'en acquérant la totalité de la firme au moment précis où Renault s'en dégageait complètement le CEA a pénétré dans un domaine, celui de l'assainissement et des hydropompes, qui ne correspondait pas à sa vocation propre tel que l'a fixé le décret du 29 septembre 1970 relatif à son organisation. »[1917] Nous reconnaissons la section du rapport retenue par le sénateur.

Dans une deuxième partie, le rapport donne son analyse de la période 1979-1980, c'est-à-dire de la fusion SOFRETES-Mengin, « motif pris de leur étroite imbrication de

[1915] *Ibid*., CV, 4, II, p. 1.
[1916] *Ibid*.
[1917] *Ibid*., p. 3.

fait »[1918]. Elle est décrite comme une erreur gestionnaire, chiffres à l'appui. Le raisonnement ne se base que sur des éléments comptables.

Il en va de même dans la troisième partie où la Cour s'attache à démontrer que le diagnostic comptable du CEA a toujours été mauvais et que les politiques successives de restructurations qu'il mène de 1980 à 1982 sont des échecs financiers.

Enfin, le rapport présente la réorganisation juridique de la SM de 1982 en deux nouvelles entités toujours déficitaires qui mène finalement, sur décision du ministre délégué à l'Énergie, à la liquidation de la SOFRETES alors que pour la SNEM « une reconversion partielle de ses activités a été entreprise vers de nouveaux produits destinés à l'industrie nucléaire »[1919].

Conformément à sa mission, la Cour n'établit donc qu'une analyse comptable de l'existence de la SOFRETES, la considérant comme une simple entreprise qui vend un produit industriel de série sur un marché concurrentiel, et, ce faisant, justifie la disparition de sa proposition sociotechnique (sans jamais la présenter), pour ces mêmes raisons, en ne convoquant pas tous les autres déterminants qui définissent et impactent en fait son existence. En ce sens, de solaire, il n'est jamais question.

La conclusion du rapport établit deux origines aux défaillances gestionnaires de la SM depuis 1978.

Le premier responsable est, selon la Cour, le ministre de l'Industrie. En effet, alors qu'il demande au CEA de prendre le contrôle de la SOFRETES, il ne lui assure pas « le soutien d'un financement, tel que celui du Comes, qui lui avait pourtant été promis. Ce faisant, ils ont poursuivi, par l'intermédiaire du Commissariat, des objectifs (soutien à la recherche appliquée, aide aux pays en voie de développement) louables en soi, mais peu compatibles avec une saine gestion industrielle. » Cette analyse recoupe en partie la nôtre puisqu'elle démontre que le ministère de l'Industrie n'a donc jamais eu pour intention de développer une solution solaire industrielle et que le COMES n'a pas soutenu la SOFRETES. Ce point a le mérite d'être parfaitement clarifié. Là où notre enquête va beaucoup plus loin c'est qu'elle apporte un éclairage sur l'instrumentalisation de la capacité de séduction politique de la machine solaire SOFRETES dans la politique étrangère, ainsi que sur les modalités de sa mise en œuvre et sur ses effets (la disparition

[1918] *Ibid*., p. 4.
[1919] *Ibid*., p. 6.

de la SOFRETES en est justement un). Cet aspect est totalement absent de la grille d'évaluation de la Cour qui est donc très incomplète pour cerner les véritables enjeux soulevés par la vie et la mort de cette PME et de son objet.

Secondement, la Cour incrimine le CEA pour sa cécité face « au démenti constant des faits »[1920], sous-entendu, comptables, qui auraient dû modifier sa perception du « potentiel industriel et commercial »[1921] de la SOFRETES. Mais du potentiel politique d'émancipation de sa sociotechnique solaire il n'en est, une fois encore, pas question.

En cette fin d'année 1984, ce récit officiel clôt le dossier SOFRETES en donnant une relecture de son histoire administrative qui vise à justifier sa disparition pour des raisons comptables et à identifier des responsables. Par ses biais et ses manquements, il a pour effet une production institutionnelle d'ignorance qui décrédibilise l'entreprise et sa proposition sociotechnique. Ce discours fait le lit à l'oubli d'une technopolitique (celle de l'instrumentalisation du potentiel de séduction politique de la pompe solaire dans des opérations à l'étranger) et d'une sociotechnique solaire (celle d'une machine qui offre aux populations un potentiel de réification des relations sociales construites autour de l'accès à l'énergie). D'ailleurs, les traces de la SOFRETES et de ses machines sont vite effacées par d'autres acteurs qui mettent en œuvre les nouvelles orientations du gouvernement en matière de maîtrise de l'énergie (URE, photovoltaïque, biomasse, charbon, etc.)[1922]. Prenons quelques exemples.

En novembre 1982, la Direction du Développement Scientifique et Technologique et de l'Innovation du Ministère de la Recherche et de l'Industrie (MRI) demande à Jean Syrota, alors DG de la DGEMP, d'étudier les thèmes de recherche pour lesquels les entreprises nationales vont demander une aide au MRI sous la forme de contrat de

[1920] *Ibid*.
[1921] *Ibid*.
[1922] Les applications solaires thermodynamiques à basses températures sont absentes des domaines d'action de l'AFME présentées à la conférence de presse sur « L'avenir des énergies renouvelables » le 7 juillet 1986. L'ironie de la situation est que c'est Marc Vergnet, ancien bras droit de Girardier à la SOFRETES et responsable DOM-TOM à l'AFME à cette date, qui présente le volet des actions « solaires thermiques à basse température ». Il s'agit donc uniquement des dispositifs d'eau chaude sanitaire en toiture (chauffe-eau). AFME, « solaire thermique à basse température », dossier de la conférence de presse sur « L'avenir des énergies renouvelables » du 7 juillet 1986, répertoire 19940249, carton 118, pp. 5.1-5.2. Le carton 118 contient également le rapport de l'AFME sur l'arrêt de la centrale à tour THEMIS le 30 juin 1986 (« Bilan d'expérimentation de la centrale THEMIS ») qui signe l'arrêt des expérimentations des applications solaires thermodynamique à hautes températures.

programme sur les crédits du Fond de la Recherche et de la Technologie en 1983[1923]. Chaque entreprise prépare un dossier, notamment dans le secteur des énergies renouvelables. Il s'agit donc pour elles de candidater dans les domaines retenus par les orientations de Chevènement et de l'AFME (Mission Chartier).

La CFP-TOTAL remet un dossier sur ses activités de R&D dans l'énergie solaire[1924]. Ce document de synthèse, qui rappelle que « depuis une demi-douzaine d'années le Groupe TOTAL s'est engagé dans la recherche pour le développement de l'Énergie solaire sous de nombreuses formes »[1925], détaille, sans jamais mentionner la SOFRETES et leurs réalisations conjointes, le programme de TOTAL dans le solaire thermique (capteurs plans et stockage de chaleur), photovoltaïque et la bioconversion solaire. Sur son programme de recherches « Groupe d'études thermiques pour l'habitat », il n'est nulle part fait mention de la maison solaire CLISOTOS de Sophia-Antipolis par exemple. Concernant la bioconversion solaire, la CFP-TOTAL explique que le Groupe participe avec Rhône-Poulenc et Elf Aquitaine au « laboratoire créé à Cadarache par le CEA en vue de synthétiser des produits chimiques à haute valeur ajoutée par photosynthèse », c'est-à-dire un prolongement à la pétrochimie[1926]. En 1985, un prix de la meilleure innovation pour l'Afrique, dans la catégorie équipement, est remis à TOTAL et à Elf pour leurs pompes photovoltaïques, produits soutenus par l'AFME, ce dont se réjouit le Chef du SAI et ancien Chef du programme solaire du CEA, Bernard Devin[1927]. Mais c'est le Grand prix de ce concours qui nous semble le plus pertinent pour illustrer le processus d'ignorance et d'oubli alors à l'œuvre. Celui-ci est décerné à une pompe à motricité humaine manuelle sans tuyau, adaptée à des forages de 30 m. Il s'agit d'une simple pompe à manivelle qui au regard de la pompe à pied Vergnet et des installations SOFRETES ne semble pas si innovante que cela ! Encore plus intéressant est la

[1923] Lettre de François Baratin, Direction du Développement Scientifique et Technologique et de l'Innovation du Ministère de la Recherche et de l'Industrie (MRI), à Jean Syrota, DG de la DGEMP, 18 novembre 1982, Archives nationales, ministère de l'Industrie, DGEMP, Dossier « Énergies nouvelles », répertoire 19950371, carton 6.
[1924] Jean Cantacuzène, Directeur scientifique, Dossier de la CFPT-Total « Fiches de présentation sur les recherches en énergie solaire du Groupe Total », 26 novembre 1982, Archives nationales, ministère de l'Industrie, DGEMP, Dossier « Énergies nouvelles », répertoire 19950371, carton 6 ; Accord-cadre AFME-CFP pour 1983, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 165.
[1925] *Ibid*.
[1926] *Ibid*.
[1927] Bernard Devin, « 3 sur 5 prix de la meilleure innovation pour l'Afrique vont à des produits soutenus par l'AFME », 19 décembre 1985, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 231 ; *Afrique expansion*, n°14, décembre 1985- janvier 1986, pp. 10-13.

présentation qui est faite de la PME à l'origine de l'invention, car elle est identique à celle de Girardier :

> Les Etablissements Masure et Fils sont une entreprise familiale de construction mécanique installée à Tourcoing, dans le nord de la France. Le PDG actuel, M. Jacques Masure est l'arrière-petit-fils du fondateur. Spécialisé dans la construction et l'installation de pompes verticales pour des adductions d'eau communales et industrielles, la société sera centenaire l'année prochaine. Elle fait 24 MF de chiffre d'affaires, essentiellement en France et emploie 70 personnes. La pompe PST lauréate du Prix de la meilleure invention pour l'Afrique a été conçue par une équipe au sein de l'entreprise. Elle est dérivée d'un modèle beaucoup plus fruste, utilisé par l'armée française durant la Première Guerre Mondiale, qu'il fallait pouvoir monter et démonter rapidement en fonction de l'évolution du front[1928].

La similitude presque parfaite avec l'histoire de l'entreprise Mengin est troublante. Rien ne semble donc s'être vraiment passé en matière de pompage de l'eau en Afrique si ce n'est que Girardier a perdu son outil industriel et sa proposition sociotechnique dans une sorte de jeu de chaises musicales où l'on élimine au fur et à mesure ses concurrents avant de recommencer la partie avec les mêmes partenaires.

Les traces de la SOFRETES sont également effacées par l'AFME. Les comptes-rendus des missions du SAI en Afrique de 1983 à 1989 nous renseignent sur les opérations de coopération qui sont privilégiées dans le domaine des applications de la conversion de l'énergie solaire mais également sur la place réservée aux anciennes opérations SOFRETES[1929]. Ces missions sont principalement menées par Christian De Gromard qui est le responsable géographique pour l'Afrique à l'AFME[1930]. Lors de notre entretien, M. de Gromard a décrédibilisé avec force les machines SOFRETES en faisant reposer ses arguments uniquement sur des critères techniques théoriques. Pour lui le photovoltaïque offre un meilleur rendement et des installations plus légères ce qui suffit à en faire la meilleure des solutions. Il considère que les machines thermodynamiques de la SOFRETES ne fonctionnaient pas correctement pour des raisons intrinsèques à leur système et à leur principe. Il a également réagi à la publication par Frédéric Caille de son article sur la SOFRETES dans la revue de l'AFD en 2017 en précisant « qu'il n'a rien

[1928] *Ibid*., p. 11.
[1929] Archives nationales, AFME, Dossier « Missions et coopération de AFME à l'étranger : Afrique, 1983-1989 », répertoire 19940249, carton 234.
[1930] Nous nous sommes entretenus avec Christian de Gromard le 25 mars 2019. M. de Gromard est ingénieur électricien I.E.G. Il entre au SAI de l'AFME en 1983 après avoir travaillé chez Alsthom-Atlantique. Il se spécialise en électrification rurale pour les pays du tiers-monde. Voir sa biographie et ses contributions à l'Encyclopédie de l'énergie (en ligne), https://www.encyclopedie-energie.org/auteur/de-gromard-christian/.

compris » au sujet[1931]. La mémoire de la technopolitique que nous étudions et de la sociotechnique qu'elle instrumentalise est tout à la fois polémique, controversée et conflictuelle.

Son rapport de mission au Mali en juin 1984 s'attache exclusivement à rendre compte des opérations photovoltaïques en cours et des transformations des anciennes installations SOFRETES par des dispositifs photovoltaïques, notamment par Elf-Mali[1932]. La centrale de Diré n'est aucunement mentionnée alors qu'elle est pourtant l'opération la plus spectaculaire du volet solaire de la politique de Coopération franco-malienne. Encore plus emblématique du processus d'ignorance et d'oubli alors à l'œuvre, la mission ne prévoit même pas de s'y rendre alors qu'en 1984, le Président de la République du Mali demande sa réhabilitation. Un compte-rendu de l'AFME sur la position des pouvoirs publics (AFME, Coopération, MRE) vis-vis de Diré rend explicite cet abandon et cette production volontaire d'oubli :

> Les autorités maliennes, y compris au niveau du Président de la République, relancent régulièrement la Mission de Coopération pour la réhabilitation de la pompe de Diré. Les autorités françaises répondent en disant que la question est à l'étude. {…} La Mission, tout comme MM. Ménéchal et Georgeot (MRE), considère qu'il faudra bien faire quelque chose (démonter, remettre en marche, faire autre chose ? …). {…} J'ai rappelé les réserves déjà exprimées à plusieurs reprises par l'Agence sur ce dossier et indiqué qu'il convenait que le MRE prenne ses responsabilités. J'ai également pris note que la Mission considérait que, même remise en marche, la pompe ne conviendrait plus du tout à l'irrigation. {…} La fourniture d'électricité au réseau a été évoquée par M. Gallois. Action SAI : Attendre…[1933].

Ce passage a également le mérite de nous faire comprendre que la question n'est donc pas de savoir si Diré peut fonctionner ou non (elle fonctionne[1934]), mais plutôt de se demander pourquoi elle est arrêtée, car visiblement le problème tient plus à une volonté politique qu'à une déficience technique (*cf. supra* chapitre 3 et 4). Dans le Rapport d'avancement et d'évaluation des installations énergies nouvelles et renouvelables mises

[1931] Pour rappel, CAILLE, Frédéric, « L'énergie solaire thermodynamique en Afrique », *Afrique contemporaine*, n° 261-262, 2017, pp. 65-84. Christian de Gromard écrit également dans ce numéro puisqu'il est à cette date Référent Énergie et Chef de Projet senior à l'Agence française de développement (AFD).
[1932] Dossier « Mission au Mali 7-10 juin 1984 », Archives nationales, AFME, Dossier « Missions et coopération de AFME à l'étranger : Afrique, 1983-1989 », répertoire 19940249, carton 234.
[1933] AFME, Compte-rendu de la réunion de travail avec la Mission de Coopération Mali, 31 janvier 1984, répertoire 19940249, carton 247.
[1934] MOUTHON, Alexandre, *op. cit*., 2020 et voir le chapitre 3.

en place dans le cadre du programme FAC-AFME de mars 1985, la station de Diré n'apparaît plus dans le chapitre consacré au Mali[1935].

Aucune trace non plus de la SOFRETES dans les documents de la mission de l'AFME au Niger en 1985[1936].

La mission menée au Sénégal en janvier 1985 rencontre les anciens partenaires de la SOFRETES : le CERER, la SENELEC et sa filiale la SINAES : « les réunions de travail avaient pour but de recentrer le programme ENR, notamment en mettant de l'ordre dans les suites à donner aux diverses installations de terrain. Leur dévolution (ou leur démontage) aux usagers a été l'objectif essentiel, compte tenu de la nécessité d'une prise en charge des coûts récurrents. »[1937] L'héritage de la SOFRETES est complètement abandonné et à peine mentionné dans la documentation relative à cette mission. L'attention se porte sur la centrale Photowatt de Niaga-Wolof et de son transfert de propriété à la SENELEC[1938]. Pour Bakel, c'est la « disparition pure et simple du projet »[1939], comme pour Diakhao : « arrêter le plus rapidement possible la station et solder l'opération. »[1940]

En 1986, une nouvelle mission se rend au Sénégal[1941]. Le rapport dresse un bilan détaillé pour chaque installation solaire. Il reste visiblement deux stations thermodynamiques SOFRETES, Bondie Samba et Diakhao. Pour la première, mise en service en 1980, un groupe Diesel a été installée pour remplacer la pompe car il s'agit

[1935] « Rapport d'avancement et d'évaluation des installations énergies nouvelles et renouvelables mises en place dans le cadre du programme FAC-AFME de mars 1985 », Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 231.
[1936] Dossier « Mission Niger 14-17 janvier 1985 », Archives nationales, AFME, Dossier « Missions et coopération de AFME à l'étranger : Afrique, 1983-1989 », répertoire 19940249, carton 234.
[1937] Bernard Devin, Bilan de la Mission Sénégal de janvier 1985 « actions de coopération bilatérale FAC/AFME », 28 janvier 1985, Dossier « Mission Sénégal 7-11 janvier 1985 », Archives nationales, AFME, Dossier « Missions et coopération de AFME à l'étranger : Afrique, 1983-1989 », répertoire 19940249, carton 234.
[1938] Réunion SENELEC-AFME du 10 janvier 1985, Dossier « Mission Sénégal 7-11 janvier 1985 », Archives nationales, AFME, Dossier « Missions et coopération de AFME à l'étranger : Afrique, 1983-1989 », répertoire 19940249, carton 234.
[1939] Bernard Devin, Bilan de la Mission Sénégal de janvier 1985 « actions de coopération bilatérale FAC/AFME », 28 janvier 1985, Dossier « Mission Sénégal 7-11 janvier 1985 », Archives nationales, AFME, Dossier « Missions et coopération de AFME à l'étranger : Afrique, 1983-1989 », répertoire 19940249, carton 234, p. 2.
[1940] Fiche SENELEC, Dossier « Mission Sénégal 7-11 janvier 1985 », Archives nationales, AFME, Dossier « Missions et coopération de AFME à l'étranger : Afrique, 1983-1989 », répertoire 19940249, carton 234, p. 4.
[1941] Rapport de mission au Sénégal 23 juin – 2 juillet 1986, M. Courillon SAI AFME, Dossier « Mission Sénégal 7-11 janvier 1985 », Archives nationales, AFME, Dossier « Missions et coopération de AFME à l'étranger : Afrique, 1983-1989 », répertoire 19940249, carton 234.

d'une « filière technique abandonnée. Matériel à démonter »[1942]. Diakhao a été remise à la SENELEC en avril 1985, mais là aussi il est précisé qu'il s'agit d'une « filière technique abandonnée »[1943]. Étrangement, du patrimoine SOFRETES sénégalais d'origine, seule la pompe photovoltaïque de Thiangaye (1982) est toujours fonctionnelle. Elle bénéficie d'une évaluation positive, « intéressant projet d'irrigation qui apporte des recettes »[1944]. Enfin, le rapport revient sur le cas de Med(r)ina-Dakhar qui, rappelons-nous a été d'abord le lieu d'installation d'un MGS-2-1000, puis d'un dispositif complémentaire photovoltaïque. En 1986, la pompe photovoltaïque est en panne et il est question de la remplacer car « il faut savoir que cette sous-préfecture a déjà payée une lourde contribution aux ENR »[1945]. Un avis qui va à l'encontre de nos conclusions. Cependant, si l'installation en panne est présentée comme une opération passée de la SOFRETES, la fiche technique descriptive qui l'accompagne stipule que le générateur est un module Photowatt, raccordée à une pompe JACUZZI et à des batteries CIPEL. La SOFRETES n'est donc que le fournisseur-assembleur[1946].

Le cas des modalités de la disparition de la centrale de Bakel (Sénégal) mérite d'être développé. En effet, les différents acteurs du projet ne procèdent pas aux mêmes évaluations et un consensus est délicat à obtenir. Pour rappel, Bakel est un projet de coopération entre les gouvernements français (ministère de la Coopération-SOFRETES), américain (US-AID et la société *Thermo Electron Corp*.) et sénégalais, dont l'initiative remonte à 1975. La station de pompage dans le fleuve Sénégal devait entrer en fonction au début de l'année 1980. *Thermo Electron Corp*. devait fournir les capteurs et la turbine. La SOFRETES, grâce à sa filiale la SINAES, jouait surtout le rôle de maître d'œuvre et assurait la fourniture des autres éléments de la boucle thermodynamique ainsi que le montage. En décembre 1982, alors que le processus de la liquidation de la SOFRETES est enclenché, le MRE et l'US-AID se mettent d'accord pour arrêter l'opération Bakel. Afin d'établir une stratégie de retrait, un contrat est passé avec la SOFRETES le 23 octobre 1983 afin que le CEA et la SINAES rédigent pour elle un rapport d'étude sur les

[1942] *Ibid*., p. 15 ; Lettre de Bernard Devin au liquidateur de la SOFRETES M. de Puybaudet du 6 août 1984 pour examiner la clôture du dossier Bondie Samba, Pochette GIP CEA 1983-1986, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245.
[1943] *Ibid*.
[1944] *Ibid*., p. 12.
[1945] *Ibid*., p. 74. Une remarque acide qui fait référence aux opérations SOFRETES.
[1946] *Ibid*., p. 76.

évolutions possibles du projet mais en fonction des termes de référence du contrat dont l'objectif est bien d'apporter une justification à l'abandon du projet pour refermer le dossier, notamment vis-à-vis du gouvernement sénégalais. Cette position sur la filière thermodynamique en général et sur Bakel en particulier est reprise en juillet 1984 par l'AFME : « L'AFME considère que cette filière n'a pas atteint le degré de fiabilité et surtout de simplicité requis pour des implantations en milieu rural. Faute d'industriels intéressés, et suite à l'arrêt des recherches dans ce domaine, la filière n'a pas d'avenir à court terme. L'AFME n'encourage donc pas la prolongation des actions en cours. Bakel : arrêter le projet. »[1947] Lorsque le CEA remet le rapport de synthèse au MRE en octobre 1984, celui-ci intègre, comme prévu, les préconisations de la SINAES[1948]. Or celles-ci envisagent, conformément aux termes du contrat de 1983, les possibilités de réutilisation des composants (capteurs et boucle), d'un fonctionnement de l'installation sur groupe électrogènes ou encore le déménagement de la centrale vers un site plus accessible[1949]. Ces conclusions sont très mal accueillies par l'AFME et par le MRE. D'abord par l'AFME qui met en garde le SEEN en lui rappelant la posture à tenir : « il avait été décidé de terminer cette affaire au plus vite et aux moindres frais. {…} Étant donné l'arrêt des programmes thermodynamiques solaires, cette station ne pouvait plus conduire qu'à des charges sans fin et entretenir des illusions auprès du Sénégal, entièrement préjudiciables à tout développement du solaire en Afrique. {…} Le travail de Monsieur Rigail semble faire apparaître un décalage profond entre les orientations de la politique de coopération et sa mise en application sur le terrain. »[1950] Pour appuyer ses propos, Devin joint une note rédigée par Christian de Gromard dans laquelle le responsable géographique Afrique

[1947] Annexes à la lettre de Devin, Chef du SAI de l'AFME, au Chef de la Mission française de Coopération à Dakar et au ministère des Relations Extérieures, 16 juillet 1984, pochette SOFRETES Bakel 1982-1985, dossier Énergies solaires et renouvelables, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 26.
[1948] Lettre de Ollier, Chef su SEEN à Cadarache, au MRE du 15 octobre 1984 et Rapport du SEEN de Cadarache par Ph. Rigail, « étude des évolutions possibles de la station solaire de Bakel au 12 octobre 1984, pochette SOFRETES Bakel 1982-1985, dossier Énergies solaires et renouvelables, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 26.
[1949] *Ibid*. et lettre de Ollier à Devin du 11 décembre 1984, dossier Énergies solaires et renouvelables, pochette SOFRETES Bakel 1982-1985, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 26.
[1950] Lettre de Devin, Chef du SAI de l'AFME, à Ollier, Chef du SEEN de Cadarache du 8 novembre 1984, pochette SOFRETES Bakel 1982-1985, dossier Énergies solaires et renouvelables, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 26.

de l'AFME fustige l'héritage de la SOFRETES. De Gromard précise que cette position est celle tenue par l'AFME auprès du MRE :

> Les projets thermodynamiques en milieu rural isolé ont un effet déplorable sur l'image de marque de la Coopération française en matière d'ENR, tant auprès des bailleurs de fonds que des décideurs africains. Ils perpétuent sur le solaire des idées de technologies expérimentales peu fiables et impropres à la diffusion. Par ailleurs, les gros projets solaires de quelques dizaines de kWc entretiennent auprès de nos partenaires africains des mythes sur le solaire, qui ne tiennent pas compte des contraintes économiques aux niveau national et local, dans les pays africains[1951].

Puis c'est au tour du MRE de rappeler à l'ordre le SEEN du CEA au motif que les conclusions du rapport, notamment ceux des Sénégalais de la SINAES, ne sont pas ceux attendus et qu'il convient de les modifier dans le sens requis pour justifier le retrait de l'opération :

> Je vous demanderais tout particulièrement de veiller à ce que les solutions proposées soient réalistes. Il est clair, autant pour les Autorités sénégalaises que pour les bailleurs de fonds, que la filière thermodynamique solaire au sein de projets de développement doit être abandonnée. C'est pourquoi toute proposition visant à la remise en état de fonctionnement de la station de Bakel serait considérée par nos partenaires comme contradictoire par rapport à la politique française de coopération menée actuellement en matière d'énergie renouvelable.[1952]

Il est difficile d'être plus clair.

Alors que l'oubli de la SOFRETES et l'ignorance de sa sociotechnique font désormais partie de la politique publique solaire, le CEA tente de se retirer de la SNEM en 1986 afin de tirer un trait définitif sur cet épisode de diversification industrielle.

Le premier essai est un échec retentissant avec un scandale financier à la clef. Selon le journal *L'Éclaireur du Gâtinais*, le CEA aurait cédé pour un Franc symbolique la SNEM à SIFIL, filiale de la Compagnie Industrielle et Technique Echangeurs de Chaleur (CITEC), appartenant au groupe industriel DMS (Groupe Segard)[1953]. La CITEC est active dans le secteur de la chaudronnerie en sous-traitance pour l'industrie nucléaire.

[1951] Christian de Gromard, « Note de situation Bakel, 8 novembre 1984, pochette SOFRETES Bakel 1982-1985, dossier Énergies solaires et renouvelables, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 26.
[1952] Lettre du MRE au SEEN de Cadarache du 12 décembre 1984, dossier Énergies solaires et renouvelables, pochette SOFRETES Bakel 1982-1985, Archives nationales, ministère de la Coopération, répertoire 20000231, carton 26.
[1953] Coupure de presse de *L'Éclaireur du Gâtinais*, 24 août 1988, archives privées de Jean-Pierre Girardier.

Elle fabrique, comme son nom l'indique, des échangeurs de chaleur. Le syndicat CGT de l'usine Mengin découvre qu'une aide de l'État de 7,6 MF est versée à la « société mère » de la SNEM mais que cette somme est détournée car elle n'arrive jamais dans les caisses de l'entreprise. Aussi, en 1988, « la SNEM connaît une situation financière très grave alors que son carnet de commandes est plein à ras bord »[1954]. Les autorités administratives compétentes se saisissent de l'affaire et la SNEM est séparée du Groupe Segard pour permettre à un repreneur de la racheter[1955].

C'est chose faite en 1989 quand la SNEM intègre le groupe Milhoud-Cléro, dirigé par Yves Milhoud[1956]. Les activités de sous-traitance en mécanique nucléaire se diversifient, notamment dans la fabrication « d'outillage pour cœur de réacteur nucléaire » mais aussi des machines de manutention pour le centre du CEA à Mururoa en Polynésie française et bien d'autres instruments[1957].

En 1997, la société est rachetée par l'entreprise Bodin[1958]. Le Groupe Bodin est composé de deux usines : les Pompes André Bodin et les Pompes Mengin. Depuis lors, l'usine de Montargis continue de fabriquer quelques pompes à pied Vergnet, des fûts pour les déchets radioactifs de la Hague, et bien sûr, des pompes d'assainissement. En 2019,

---

[1954] *Ibid*.

[1955] La CITEC dépose le bilan et est racheté à son tour par Guerton en 1989, lui-même racheté par le groupe Nawi (EMB-Nawi) en 2013.

[1956] Yves Milhoud (1923-2005) est ingénieur des arts et métiers. « Stagiaire à la direction technique des Pétroles BP (1945-46), Ingénieur (1946), Chargé de l'usine de Sèvres (1951), Directeur général (1958) puis Président-directeur général (depuis 1960) de la société Le Broyeur Clero, Président (depuis 1973) du Syndicat national des industries d'équipement MTPS (manutention, travaux publics, sidérurgie), Membre du Conseil d'administration et Président de la commission prospectives de la Fédération des industries mécaniques et transformatrices des métaux (depuis 1974), Président de la Cofise (Compagnie de financement des stocks à l'étranger) (depuis 1978), de Fimexpo (1990), Président de la commission foires et salons en France et à l'étranger du Conseil national du patronat français (CNPF) devenu (1998) Mouvement des entreprises de France (Medef), Président-directeur général de la société Faure à Limoges (depuis 1984), Président-directeur général de la société Cosne-Industrie à Cosne-sur-Loire (depuis 1987), de la compagnie Mengin à Montargis (depuis 1989), de la société Mape à Nantes (depuis 1991) et de la compagnie Condamy-Cobelcomex à Limoges (depuis 1993), Député suppléant de Paris (1958-62), Secrétaire général de Paris du centre démocrate (1966) puis Président de Paris du centre démocratie et progrès (CDP) (depuis 1969), Conseiller de Paris (5e et 6e arrondissements) (depuis 1971), Président de la commission du commerce et de l'industrie, du travail et de l'emploi du conseil de Paris (1971), Vice-président (1972) puis Président (1974-75) du conseil de Paris, Membre du Conseil d'administration du district de la région parisienne (depuis 1971), Président de la Société d'économie mixte d'équipement et d'aménagement du 15e arrondissement (Semea XV) (en 1974) ». https://www.whoswho.fr/decede/biographie-yves-milhoud_10269

[1957] Documentation commerciale du groupe Milhoud-Cléro, « Cie. Mengin », archives privées de Jean-Pierre Girardier. La brochure mentionne des « machine à brosser (centrales nucléaires), toboggan pour retraitement (Atelier T 7 La Hague), palonniers conteneurs blindés (Technicatome), fûts et blindages pour filtrage et stockage des effluents contaminés (EDF), etc. ». Le document dresse également la liste des clients de l'industrie nucléaire tels l'EDF, la Cogema, etc.

[1958] https://www.a-bodin.fr

l'usine comptait vingt-huit salariés occupés dans des locaux vétustes. D'après son DG (ancien employé de Girardier), l'activité s'amenuise d'année en année, et en 2023 les Status des EPM auront 99 ans[1959]. Selon lui, il est possible que l'objectif poursuivît depuis 1982 soit de prolonger l'activité de l'usine jusqu'à cette date qui légitimerait sur un plan juridique sa disparition « naturelle ».

En effet, si la SNEM est bien reprise plusieurs fois depuis 1986, les EPM, filiale du CEA (de CEA-Industrie, puis d'AREVA en 2001 qui regroupe CEA-Industrie, Cogema et Framatome) qui administre la SNEM, n'a jamais cessé d'exister. Dit autrement, alors que la SNEM change de main, le CEA (et donc l'État) est en fait toujours administrateur[1960]. Comment justifier cette position ? Peut-être en raison des activités de sous-traitance dans le nucléaire et du passé solaire des EPM.

La question qui subsiste serait de savoir s'il s'agit d'une action complètement volontaire. Quoi qu'il en soit, l'ignorance institutionnelle apparaît bien comme un instrument dans le gouvernement des problèmes publics[1961].

[1959] CAILLE, Frédéric, DG de l'usine Mengin, entretien d'octobre 2019 à Montargis.

[1960] Les pistes sont difficiles à suivre pour reconstituer l'existence juridique des EPM jusqu'à aujourd'hui. Les EPM sont immatriculées au RCS de Paris avec le numéro 835 450 081 RCS PARIS. Sa dernière radiation date du 31 juillet 2007 (https://www.infogreffe.fr/entreprise-societe/835450081-ets-pierre-mengin-750103B192670000.html?typeProduitOnglet=EXTRAIT&afficherretour=true) son adresse est alors celle du siège d'AREVA. Le « Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État », établit chaque année par l'INSEE (série Archives et Documents) permet d'établir la présence des EPM dans ce périmètre, comme en 2003 à la page 22 et en 2004 à la page 18 (voir la liste des numéros dans nos sources). Des documents du CEA et d'AREVA permettent également de prouver que les EPM appartiennent au Groupe jusqu'au début des années 2010. Par exemple, le Rapport spécial des commissaires aux comptes pour l'exercice clos le 31 décembre 1998 précise : « avec les Etablissements Pierre Mengin, l'avance d'actionnaire de 12 700 000 francs consentie par votre société en 1989 et non rémunérée a été maintenue. », *Rapport annuel CEA-Industrie 1998*, pp. 85 et 70 ; *Idem* en 2002 : « votre société s'est portée garante des engagements des Etablissements Pierre Mengin en cours de liquidation, dans le cadre de la cession d'Euriso-Top à Cil (*Cambridge Isotopes Laboratories, Inc*.) pour un montant de 609 796, 07 euros, Etc. », *Rapport annuel d'AREVA 2001*, p. 183 ; Sociétés des participations du CEA « AREVA », Bulletin des annonces légales obligatoire du 28 mars 2005, p. 4275 ; *Idem*, Bulletin n°43 du 9 avril 2007, p. V. Annexe aux comptes sociaux.

[1961] Pour rappel des références données en introduction générale : BARBIER Laura, BOUDIA Soraya, GOUMRI Maël, MOIZARD-LANVIN Justyna, « Ignorance(s). Élargir la focale », *Revue d'anthropologie des connaissances* (en ligne), N°15-4, 2021, mise en ligne le 01 décembre 2021, consulté le 10 décembre 2021, URL : http://journals.openedition.org/rac/25513 ; LÖWY, Ilana, « La sociologie de l'ignorance de Amaos Funkenstein et Adin Steinsaltz. Un essai ignoré et fascinant », *Revue d'anthropologie des connaissances* (en ligne), N°15-4, 2021, mise en ligne le 01 décembre 2021, consulté le 10 décembre 2021, URL : http://journals.openedition.org/rac/24015 ; GIREL, Mathias, *Science et territoires de l'ignorance*, Versailles, Quae, 2017 ; Mathias Girel est à l'initiative de la création d'un fonds documentaire, consultable en ligne, sur la science et l'ignorance au centre documentaire du CAPHES (ENS-PSL) https://www.ens.psl.eu/actualites/science-et-ignorance ; « le carnet d'études agnotologique » en ligne sur la plateforme hypothèses.org est également une ressource mobilisable, https://ignostudies.hypotheses.org/seminaire-quand-lignorance-stimule-la-science ; enfin, les travaux de Robert Proctor sont incontournables, PROCTOR Robert N., SCHIEBINGER Londa (dir.),

Conclusion chapitre 5

La déconstruction de l'évolution du cadre administratif interne de la PME sur dix ans met clairement en évidence le système de forces centripètes et centrifuges qui fait exister la SOFRETES : une réalité très éloignée du projet initial de son fondateur. Une existence finalement très peu solaire. Une entreprise finalement très peu privée.

Girardier et son équipe perdent vite le contrôle. Girardier perd son outil industriel qui faisait de lui un entrepreneur solaire et non pas un ingénieur sans moyen. Nous allons jusqu'à écrire ici en conclusion de ce chapitre 5, qu'il l'a perdu dès la création de la SOFRETES par les instruments de la politique publique de l'innovation qui la rendent dépendante des atomistes, des pétroliers et des électromécaniciens. Les ambiguïtés sont levées. Les machines prototypiques fonctionnent, le besoin existe, la proposition est recevable, mais l'entreprise ne leur est pas dédiée et l'entité sociojuridique qui est censée la porter est justement celle qui va la détruire.

La SOFRETES est animée par les intérêts et les agents de ses actionnaires successifs dans le temps court. Le CEA, la Régie Renault, la CFP-Total, la CGE se servent chacun pour son compte du potentiel de séduction de la SOFRETES, selon des modalités qui sont les leurs et qui ne se coordonnent pas forcément, ni dans le temps, ni dans l'espace, ni dans les objectifs. Ils sont tous responsables, mais le point le plus intéressant réside dans le fait qu'ils sont surtout des émanations de l'État, des instruments d'expression de la puissance publique. Il n'y a pas grand-chose dans cette histoire solaire qui relève de l'initiative privée, si ce n'est comme de nombreuse fois depuis le XIX^{e} siècle un homme qui construit une machine qui ne peut exister en dehors de son atelier sans l'État. L'analyse socio-historique de l'action publique trouve ici l'État dans la PME, en expliquant comment la PME sert l'État.

La SOFRETES se trouve donc être un espace de positions pour de grands intérêts politico-énergétiques qui se déplacent auprès des gouvernements à l'étranger dans ce véhicule solaire au gré de leurs stratégies, et la diversification industrielle des grands

---

Agnotology. The making & unmaking of ignorance, Stanford California, Stanford University Press, 2008 ; voir également COUNIL Émilie, HENRY Emmanuel, « Produire de l'ignorance plutôt que du savoir ? L'expertise en santé au travail », *Travail et emploi*, Octobre-Décembre 2016, pp. 5-29 ; sur l'agnotologie énergétique lire par exemple (déjà cité) SOVACOOL, Benjamin K., « What are we doing here ? Analyzing fifteen years or energy scholarship and proposing a social science research agenda », *Energy Research & Social Science*, 1, 2014, pp. 1-29.

groupes des années 1970 qui filialisent des PME innovantes est une promesse industrielle qui sert au verrouillage administratif d'alternatives. Ce schéma explicatif exclut donc la responsabilité de la PME sur sa destinée en écartant les erreurs gestionnaires d'un hypothétique chef d'entreprise indépendant de la puissance publique qui ne parvient pas à vendre son produit. Ceci est un mythe.

L'étude détaillée des actions successives engagées de l'intérieur de la SOFRETES par des administrateurs sur les quelques années de la mise en œuvre du processus institutionnel de sa disparition démontre qu'il est décidé très vite de mettre un terme à toutes activités industrielles de la SOFRETES et que cette décision est prise au sommet de la hiérarchie politique et administrative.

Le processus de liquidation s'accompagne de la production d'ignorance et d'oubli d'une solution technique qui devient irrécupérable.

La séquence d'actions que nous avons reconstituée depuis l'intérieur de la SOFRETES doit maintenant être mise en perspective par rapport à la séquence de gouvernement d'une sociotechnique désajustante vue de l'extérieur.

Chapitre 6 L’impossible moteur solaire : une décision gouvernementale

Introduction chapitre 6

L'objectif de ce chapitre 6 est d'analyser les derniers éléments constitutifs du processus d'irrécupérabilité par lequel la proposition sociotechnique d'un convertisseur thermodynamique des faibles gradients de température naturelles et industrielles se trouve contrôlée par les pouvoirs publics. Rappelons ce que nous désignons par l'irrécupérabilité. Il s'agit de la notion que nous proposons afin de rendre compte des mécanismes du gouvernement de la sociotechnique alternative solaire que cette étude révèle : le processus d'action publique par lequel une solution technique pourtant cohérente et disponible dans le temps court devient inaccessible dans le temps long car écartée, ignorée et oubliée.

Il convient maintenant de mettre en relation le processus d'évolution administrative interne de la SOFRETES que nous venons d'expliciter au chapitre 5 avec certaines étapes clefs de l'évolution de la politique publique solaire et de sa mise en œuvre institutionnelle.

Des décisions au niveau gouvernemental et des actions à l'échelon administratif peuvent-elles expliquer son abandon par les pouvoirs publics en amont et en parallèle aux jeux des actionnaires et des administrateurs ? Peut-on établir un lien de causalité direct ?

La SOFRETES doit se positionner par rapport aux acteurs de la mise en administration du solaire, des intérêts qu'ils défendent et des choix techniques qu'ils soutiennent. L'entreprise doit construire des relations avec eux.

La société est créée par les instruments de l'aide publique à l'innovation. Seul acteur du solaire à l'export en 1975, engagée dans un programme franco-mexicain prestigieux, elle est d'abord soutenue par la Présidence et le gouvernement *via* le DEN. Le programme de R&D 1976-1978 existe uniquement grâce à la DGRST. Les opérations de démonstrations en Afrique sont permises par le Programme Énergie Nouvelles pour le Sahel (phase 1 1976-1978) des ministères de l'Industrie et de la Coopération. Puis survient une rupture.

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, à partir de 1978, le prolongement des activités de R&D et de démonstration de la SOFRETES est soumis aux actions du COMES qui les limitent, voire les empêchent. Leur rapport concurrentiel devient conflictuel. Il est intéressant d'en détailler certaines manifestions, notamment à

travers l'analyse de relations interindividuelles dans certains dossiers, pour affiner notre étude du rôle joué par l'administration de mission solaire du gouvernement sur l'existence de la SOFRETES et de sa proposition sociotechnique.

Si, comme nous l'avons démontré, et rappelé à l'instant, en 1973, la création de la SOFRETES semble projeter le solaire dans les relations internationales, poussant le gouvernement français à s'adapter à une situation imprévisible en soutenant dans un premier temps la SOFRETES, son existence devient vite contrôlée par la politique publique solaire française et ses changements. Comment se passe la réorientation de la politique publique solaire française en 1979 ? Que nous disent les archives ministérielles sur ce moment ?

En tant que filiale du CEA, la SOFRETES est l'objet d'une relation spécifique entre l'établissement public et le COMES-AFME, l'administration de mission solaire. L'agence d'objectifs est le médiateur entre le gouvernement, les établissements et les entreprises publics engagés sur le marché d'aide au développement dans lequel se déroule l'action publique solaire à l'étranger. S'il y a un arbitrage gouvernemental en défaveur de la solution sociotechnique proposée par la SOFRETES, une normalisation des relations CEA/COMES-AFME est menée en parallèle. Nous avons explicité dans le chapitre précédent certaines mesures de cette normalisation (*cf. supra* chapitre 5).

D'abord, le transfert de personnels et de dossiers ainsi que la contractualisation de programmes ENR communs sont engagés, notamment au moyen d'une convention-cadre CEA/COMES-AFME, afin d'éviter des actions solaires unilatérales du CEA du type SOFRETES, d'assurer la continuité d'activités, et d'écarter les savoirs et savoir-faire en thermodynamique basse température. Les opérations du CEA dans le domaine des ENR sont simplement mieux contrôlées et pilotées par l'agence d'objectifs, et le sort de la SOFRETES est réglé en dehors de cette convention-cadre.

Ensuite, la liquidation de la SOFRETES met définitivement un terme à l'existence de la sociotechnique. Cependant, nous avons expliqué que cette décision radicale met du temps à être actée car le CEA insiste pour que la SOFRETES, détaché de la SNEM, serve de base à l'établissement d'une nouvelle société d'ingénierie et de conseil, dénuée de visée industrielle, au service de l'action publique solaire à l'étranger. En effet, d'autres acteurs étudient au même moment la possibilité de créer un nouvel instrument, un bras armé du COMES à l'étranger en quelque sorte. L'histoire de cette idée doit justement être

détaillée car elle est portée par des intérêts contraires à ceux de la SOFRETES. De plus, cette hypothétique société « S » est présentée comme le nouvel instrument de la politique publique solaire à l'étranger. Comprendre ce projet (pensé contre la SOFRETES) permet de saisir la nouvelle orientation de l'action publique solaire extérieure et de mieux mesurer en quoi l'existence de la SOFRETES la contrarie. Pour ses détracteurs, la proposition du CEA doit-être écartée.

Enfin, la normalisation des relations CEA/COMES-AFME doit se charger de régler les dossiers solaires en suspens, c'est-à-dire de régler les comptes de la défunte société. L'analyse de la gestion des affaires issues de sa succession renseigne sur la dernière étape de la disparition de ses installations.

1. CEA *versus* COMES

Comme nous avons pu le voir à maintes reprises, la concurrence des industriels (et des laboratoires du CNRS) engagés dans la filière photovoltaïque et celle des dispositifs thermodynamiques à concentration du CNRS auprès des gouvernements étrangers et des institutions de financement de l'aide publique au développement (nationale et internationale) est soutenue par les actions du COMES dès sa création. L'administration de mission solaire du gouvernement agit plutôt contre les intérêts de la SOFRETES dès avant l'arbitrage du gouvernement de 1979 en sa défaveur.

Cette concurrence de projets solaires à l'étranger ou pour l'étranger (d'objets techniques et d'opérations de démonstration) engendre un conflit d'acteurs et de propositions sociotechniques entre la SOFRETES et le CEA d'une part, et le CNRS, les entreprises du photovoltaïque et le COMES d'autre part.

Les termes de ce conflit transparaissent très bien dans l'analyse de l'affaire brésilienne qui fera perdre à la SOFRETES ses perspectives de contrat alors qu'elle engage la première la prospection dès 1975 et que ses négociations sont bien avancées en 1978 avec des autorités brésiliennes enthousiastes (*cf. supra* chapitres 3 et 5).

Comme nous l'avons déjà mentionné, en 1975, la SOFRETES dispose d'un relai sur place grâce à la création d'un embryon de filiale, la SOBRETES, à Rio de Janeiro. Une pompe sanitaire MGS 2-1000 est installée dans un centre rural de Joao Pesoa dans l'État de Paraíba. De son côté, Renault assure un contact auprès du gouvernement puisque

la SOFRETES sert sa tentative de pénétration du marché automobile brésilien, alors que le CEA est actif dans sa stratégie de prolifération nucléaire. Les pourparlers solaires se déroulent également dans le cadre plus formel de l'accord franco-brésilien de coopération scientifique et technique sur les sources non-conventionnelles d'énergies du 30 avril 1976[1962].

En avril 1978, une exposition sur le solaire est organisée à Sao Paolo[1963]. Jean Phéline (que nous avons déjà croisé à de nombreuses reprises dans cette thèse, *cf. supra* chapitres 3, 4 et 5) du CEA y assiste en tant que Conseiller technique à la DEN[1964]. Le fonctionnaire brésilien chargé de l'énergie solaire au ministère des Mines et de l'Energie (MME) l'invite à examiner, lors de visites de terrain, de possibles implantations d'unités solaires[1965]. Phéline est ensuite chargé de mener une étude de faisabilité pour des installations de démonstration au Mato Grosso et dans le Vallée du Sao Francisco[1966]. Cette mission est confiée au CEA par le Secrétaire général du MME, M. Ney Webster Araujo, qui écrit le 12 juillet 1978 à l'Administrateur Général du CEA[1967]. Le COMES est créé au mois de mars 1978 et Phéline réintègre ses fonctions au CEA début juillet.

La mission d'évaluation technico-économique de Phéline et de Pinto (le Chargé Energie solaire au MME) se déroule du 17 juillet au 2 septembre 1978 (compte-rendu 14 septembre 1978)[1968]. Les besoins de huit sites particuliers, dans quatre États, sont identifiés et des propositions techniques pour les satisfaire sont proposées : stations mixtes thermodynamiques SOFRETES de 20 kW/12 heures/jour, petites stations à photopiles ou à éoliennes[1969]. Leur rapport est remis le 16 août 1978 au MME et au

[1962] Lettre du Délégué à la Diversification du CEA à Ney Webster ARAUJO, Secrétaire général, ministère des Mines et de l'Energie du Brésil, 5 janvier 1979, Dossier « Brésil 1978-1982 », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31.
[1963] Lettre de Jacquard, Délégué à la Diversification du CEA, à Henry Durand, Président du COMES, 19 janvier 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1964] *Ibid*.
[1965] *Ibid*
[1966] *Ibid*
[1967] *Ibid* ; Lettre du Délégué à la Diversification du CEA à Ney Webster ARAUJO, Secrétaire général, ministère des Mines et de l'Energie du Brésil, 5 janvier 1979, Dossier « Brésil 1978-1982 », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31 ; CEA, le Délégué à la Diversification, le Conseiller pour les Énergies nouvelles, « Compte-rendu de mission au Brésil et en Bolivie du 17 juillet au 2 septembre 1978 », 14 septembre 1978, Dossier « Relations avec le CEA 1978-1983 », Archives nationales, COME-AFME, répertoire 19940249, carton 245, p. 6.
[1968] Lettre de Jacquard, Délégué à la Diversification du CEA, à Henry Durand, Président du COMES, 19 janvier 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1969] *Ibid*.

ministère de l'Intérieur brésilien[1970]. Les autorités fédérales brésiliennes demandent que soient envisagées un transfert de technologie des techniques SOFRETES[1971], c'est-à-dire qu'ils choisissent la filière thermodynamique pour deux opérations de démonstration, « en prévision du marché potentiel identifié (centres communautaires de colonisation du Mato Grosso, irrigation d'une cinquantaine d'îles sur le Sao Francisco »[1972]. Une unité photovoltaïque est également retenue[1973].

Les conclusions de cette mission exploratoire, qui n'est pas une proposition commerciale, sont présentées au COMES le 7 septembre 1978[1974].

Phéline décrit sa mission dans son rapport du 14 septembre 1978[1975]. Le résumé chronologique de son déroulement mentionne qu'elle s'achève au moment de l'arrivée du ministre français du Commerce extérieur, M. Deniau (*cf. supra* chapitre 5), à Brasilia[1976]. Un détail important comme nous allons le voir. Les projets sélectionnés par les autorités brésiliennes sont alors discutés lors des entretiens entre M. Deniau et M. Araujo qui assure l'intérim du ministre Ueki. Le MME a dans l'idée de formaliser un projet de coopération solaire assorti d'un programme de transfert de technologie qui devrait être présenté lors de la visite du Président de la République française le 4 octobre 1978[1977].

Quelques jours plus tard, une délégation brésilienne rend visite au CEA, à la SOFRETES et leurs installations au Sénégal. Une proposition commerciale leur est alors

---

[1970] *Ibid*.
[1971] La présence au Brésil de la SOFRETES est consolidée par un accord de transfert de technologie avec l'entreprise TUMA Engenharia Termica Ltd de M. Tulio Vasconcellos (constructeur de capteurs solaires à Belo Horizonte).
[1972] *Ibid*, p. 2.
[1973] CEA, le Délégué à la Diversification, le Conseiller pour les Énergies nouvelles, « Compte-rendu de mission au Brésil et en Bolivie du 17 juillet au 2 septembre 1978 », 14 septembre 1978, Dossier « Relations avec le CEA 1978-1983 », Archives nationales, COME-AFME, répertoire 19940249, carton 245, p. 9.
[1974] Lettre de Jacquard, Délégué à la Diversification du CEA, à Henry Durand, Président du COMES, 19 janvier 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1975] CEA, le Délégué à la Diversification, le Conseiller pour les Énergies nouvelles, « Compte-rendu de mission au Brésil et en Bolivie du 17 juillet au 2 septembre 1978 », 14 septembre 1978, Dossier « Relations avec le CEA 1978-1983 », Archives nationales, COME-AFME, répertoire 19940249, carton 245.
[1976] *Ibid*. p. 4.
[1977] *Ibid*. p. 9 ; JARREAU Patrick et MALINIAK Thierry, « La France espère obtenir la contrepartie économique de son engagement politique en faveur du régime actuel », *Le Monde*, 6 octobre 1978 ; DECLARATION COMMUNE FRANCO-BRESILIENNE A L'ISSUE DE LA VISITE OFFICIELLE DE M. GISCARD D'ESTAING, BRASILIA, LE 5 OCTOBRE 1978, https://www.elysee.fr/valery-giscard-d-estaing/1978/10/05/declaration-commune-franco-bresilienne-a-lissue-de-la-visite-officielle-de-m-giscard-destaing-brasilia-le-5-octobre-1978.

remise pour deux centrales de 20 kW[1978]. Cependant, la délégation est également invitée à rencontrer le COMES (le 20 septembre), Elf (rencontre avec Bielikoff le 21) et RTC (le 25) qui remettent une proposition concurrente d'une centrale photovoltaïque[1979].

C'est alors que le gouvernement français et son administration de mission profite de la visite présidentielle au Brésil du 4 octobre pour établir et signer un accord de coopération solaire en sept points à l'initiative du COMES[1980]. La proposition SOFRETES s'y trouve reléguée en quatrième position dans l'ordre des priorités après ceux du CNRS (centrale à tour de type Thémis et concentrateur Périclès), « alors qu'il était bien clair que c'est celui qui intéresse le plus les Brésiliens »[1981]. Cet accord amène par la force des choses les Brésiliens à réévaluer la ventilation de leurs dépenses puisque leur budget reste inchangé, alors que la nouvelle proposition officielle du gouvernement français multiplie les offres concurrentes et les partenaires potentiels (le CNRS et les photovoltaïciens[1982]). L'action est défavorable à l'aboutissement des négociations engagées antérieurement par le CEA. D'ailleurs, dans un rapport destiné au gouvernement, Henry Durand, qui établit le bilan des actions menées par le COMES au début de l'année 1979, explique le contexte difficile de la signature d'un accord de coopération technique avec le Brésil le 5 octobre 1978[1983]. Il fait part des tensions rencontrées au moment de faire valoir son autorité en matière de coopération solaire en

[1978] Lettre de Jacquard, Délégué à la Diversification du CEA, à Henry Durand, Président du COMES, 19 janvier 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier ; COMES, « Brésil. Programme 4. Production d'énergie par système thermodynamiques à basse température (collecteurs plans) », septembre 1978, Dossier « Brésil 1978-1982 », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31 ; SOFRETES, « Proposition pour un programme solaire au Brésil », 1 octobre 1978, Dossier « Brésil 1978-1982 », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31.

[1979] Lettre de Jacquard, Délégué à la Diversification du CEA, à Henry Durand, Président du COMES, 19 janvier 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier.

[1980] Lettre du Délégué à la Diversification du CEA à Ney Webster ARAUJO, Secrétaire général, ministère des mines et de l'énergie du Brésil, 5 janvier 1979, Dossier « Brésil 1978-1982 », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31 ; Lettre de Jacquard, Délégué à la Diversification du CEA, à Henry Durand, Président du COMES, 19 janvier 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier.

[1981] *Ibid.* ; COMES, « Brésil. Programme 4. Production d'énergie par système thermodynamiques à basse température (collecteurs plans) », septembre 1978, Dossier « Brésil 1978-1982 », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31.

[1982] Elf et RTC ne seront désignés comme opérateurs officiels du volet photovoltaïque de l'accord en sept points par le COMES qu'en décembre 1978 alors que ce sont eux qui font la proposition fin septembre, c'est-à-dire juste avant la signature de l'accord du 5 octobre 1978. Lettre de Jacquard, Délégué à la Diversification du CEA, à Henry Durand, Président du COMES, 19 janvier 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier.

[1983] COMES, Rapport du Président du COMES au gouvernement, janvier 1979, Dossier « Conseil des ministres du 26 juin 1979 », Archives nationales, ministère de l'Industrie, Fonds André Giraud, répertoire 19880199, carton 5, p. 3.

raison de la présence auprès des autorités étrangères d'autres projets menés en parallèle par des Etablissements publics français qui ont eux-mêmes accès directement aux décideurs. Durand, qui ne nomme pas explicitement le CEA, propose que le gouvernement normalise leurs rapports en définissant leurs prérogatives respectives et leurs domaines de collaborations au moyen d'accords-cadres sous le contrôle du COMES.

C'est dans ce nouveau système d'acteurs et de propositions sociotechniques que Phéline retourne au Brésil début décembre afin de finaliser un contrat avec Eletrobras qui est délégué par le MME pour mener la première opération prévue avec CEA-SOFRETES, avec notamment une clause de cession de technologie à l'entreprise brésilienne TUMA. Mais le protocole administratif d'autorisation financière repousse la signature définitive (délai d'un mois), et un nouvel élément d'ordre contextuel déstabilise davantage l'avancée du dossier[1984]. L'augmentation des produits pétroliers par l'OPEP provoque « au Brésil une mobilisation des organismes fédéraux pour déterminer les mesures restrictives concernant l'utilisation de crédits en devises »[1985]. Les choses se compliquent encore par la mise en place d'un nouveau gouvernement prévu au mois de mars 1979. Les négociations sont donc considérablement ralenties, diminuant d'autant les chances du projet CEA face à la concurrence du CNRS et des photovoltaïciens relayés par le COMES et son accord en sept points.

En ce mois de janvier 1979, le conflit entre le CEA et le COMES s'exprime clairement par les voix du Délégué à la Diversification du CEA et celle de la Présidence du COMES.

Le 11 janvier, Pierre Jacquard intime à Henry Durand de contacter les Brésiliens pour certifier que le projet SOFRETES est bien prioritaire aux yeux du COMES, donc du gouvernement français. Le Délégué à la Diversification du CEA lui fait comprendre qu'il n'est pas dupe d'une situation qui existe en fait depuis le début de la présence solaire du CEA au Brésil :

[1984] Lettre de Jacquard, Délégué à la Diversification du CEA, à Henry Durand, Président du COMES, 19 janvier 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier ; CEA, le Délégué à la Diversification, le Conseiller pour les Énergies nouvelles, Note pour l'Administrateur général du CEA, « Compte rendu de mission au Brésil du 1 au 20 décembre 1978 », 5 janvier 1979, Dossier « Brésil 1978-1982 », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31.

[1985] CEA, le Délégué à la Diversification, le Conseiller pour les Énergies nouvelles, Note pour l'Administrateur général du CEA, « Compte rendu de mission au Brésil du 1 au 20 décembre 1978 », 5 janvier 1979, Dossier « Brésil 1978-1982 », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31.

> Il est ainsi à craindre que les efforts développés depuis plusieurs mois et qui répondaient à des demandes initialement formulées par les Brésiliens pour satisfaire des nécessités urgentes en milieu rural, se trouvent remis en question par l'établissement d'autres actions – et cela pour la deuxième fois car une situation similaire s'était présentée en 1976 à propos de projets dans le nord-est à l'occasion de démarches CNRS menées parallèlement à l'action de SOFRETES[1986].

Le lendemain, Henry Durand, Président du COMES, lui répond en adressent copies de sa lettre à l'Administrateur Général du CEA et à M. De Wissocq, DG de la DGEMP, qui est également Commissaire du gouvernement du COMES, c'est-à-dire la tutelle commune du CEA et du COMES au MI[1987]. Durand demande à l'Administrateur Général du CEA, en sa double qualité de membre du Conseil d'administration du COMES, de bien vouloir intervenir auprès du Délégué à la Diversification afin que « les initiatives du CEA dans le domaine de l'énergie solaire abandonnent le caractère délibérément unilatéral qu'elles présentent le plus souvent »[1988]. Il accuse le CEA de ne pas respecter ses attributions statuaires en matière de coopération internationale qui en fait le seul interlocuteur officiellement mandaté par le gouvernement. Durand charge plus particulièrement Phéline et le CEA d'avoir poussé son avantage en proposant d'autres projets en plus des deux centrales de 20 kW inscrites à l'accord en sept points, notamment une proposition photovoltaïque, « avec un total financier atteignant dès lors le plafond des sommes que la partie brésilienne pensait consacrer à l'ensemble des sept programmes »[1989]. Il ajoute que le Secrétaire général du MME attribuerait à cette nouvelle offre du CEA, la « détérioration sensible des relations franco-brésiliennes »[1990]. Durand précise que le volet photovoltaïque de l'accord n'a pas été confié au CEA mais à GEW (le groupement Elf-Les pompes Guinard-Piles Wonder). Le ton de sa lettre est très véhément et le Président du COMES ne cesse de marquer sa position théoriquement dominante dans les affaires solaires : « le zèle intempestif de Phéline, qui est le seul qui n'ait pas jugé utile de venir prendre ses instructions au COMES, contrairement à tous les

[1986] Lettre du Délégué à la Diversification du CEA à Henry Durand, Président du COMES, « Objet : négociations avec le Brésil », 11 janvier 1979, Dossier « Brésil 1978-1982 », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31.
[1987] Lettre de Henry Durand, Président du COMES, à Pierre Jacquard, Délégué à la Diversification du CEA, à l'Administrateur général du CEA, à De Wissocq DGEMP, 12 janvier 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1988] *Ibid*.
[1989] *Ibid*.
[1990] *Ibid*.

autres partenaires désignés par nous, a eu des conséquences dommageables. »[1991] Il rappelle à l'ordre le Délégué à la Diversification du CEA par une formule très procédurière qui reprend le décret portant création du COMES, notamment son article 2, alinéa b, qui lui confie l'élaboration des accords de coopération dans le domaine de l'énergie solaire[1992]. Ce conflit entre le CEA et le COMES autour des projets prioritaires de l'accord en sept points déstabilise la partie brésilienne qui se retrouve avec deux interlocuteurs en désaccord. Les négociations sont bloquées. Durand prévient Jacquard qu'il diligente une nouvelle mission diplomatique au moyen de son chargé pour les affaires internationales (J.-J. Subrenat, Chef du SAI du COMES et agent du MAE) et de Christian Vauge, un agent du CNRS-PIRDES, directeur adjoint des programmes du COMES, qui fut attaché scientifique à l'ambassade de France au Brésil (1973-1976)[1993]. Il accepte que la SOFRETES, à l'égal des autres établissements désignés comme partenaires de la proposition française, participe à ce voyage mais il refuse que le CEA la représente par Phéline (rappelons que Phéline fut également conseiller technique à l'ambassade de France au Brésil pour le CEA). Il suggère de le remplacer par Clémot (l'ingénieur rapporteur d'affaire que le CEA délègue à la SOFRETES) ou Vergnet (l'assistant de Girardier que Durand a nommé au COMES). Le conflit s'épaissit de querelles de personnes. CEA, CNRS et COMES restent sur leurs positions, défiants.

Une semaine plus tard, le Délégué à la Diversification du CEA répond au Président du COMES[1994]. Il renouvelle son soutien à Phéline et met en garde Durand contre ceux qui « vous ont conseillé de l'écarter »[1995]. En effet, Jacquard précise que si Phéline est accusé de pousser les intérêts du CEA dans cette affaire, qui lui revient de droit en raison de l'antériorité de la proposition SOFRETES, l'attitude attentiste de Vauge pour le compte du CNRS et du COMES peut tout aussi bien être dénoncée :

> De même, ne me suis-je jamais alarmé outre mesure des informations selon lesquelles le COMES et M. Vauge en particulier auraient entravé l'action SOFRETES à plusieurs

[1991] *Ibid*.
[1992] *Ibid*.
[1993] En 1979, Vauge publie avec le CNRS un ouvrage généraliste sur les applications existantes de l'énergie solaire : VAUGE, Christian, *Le choix solaire*, 1979, CNRS/TCHOU. Le chapitre 3 présente les différentes propositions techniques de centrales électro-solaires notamment celles du CNRS (Thémis, Thek, Périclès) mais aussi la centrale corse CEA-Bertin et l'Inti-800 (Cethel-CNRS). Globalement, l'auteur accorde peu d'attention aux réalisations de la SOFRETES.
[1994] Lettre de Jacquard, Délégué à la Diversification du CEA, à Henry Durand, Président du COMES, 19 janvier 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier.
[1995] *Ibid*.

> occasions, s'appuyant sur certains ingénieurs d'Eletrobras auxquelles des indications défavorables sur les réalisations de la Société auraient été fournies ; cela dans le but - pardonnable- de pousser un projet Périclès dont les Brésiliens ne veulent du reste pas[1996].

Jacquard termine sa lettre en accusant le COMES d'arbitrer, de faire des choix entre des projets d'industriels concurrents. Or, ce n'est pas son rôle statutaire[1997].

Lorsque Phéline engage au 25 janvier 1979 sa quatrième mission, il fait face à un revirement d'attitude des Brésiliens, « indiquant que cette affaire se trouvait maintenant placée dans le cadre de l'accord en sept points signé en octobre dernier et qu'elle devait être réexaminée »[1998]. Le CNRS et les photovoltaïciens ont donc pris l'avantage, bénéficiant de la position dominante et des prérogatives du COMES, comme celui-ci n'a de cesse de le rappeler au CEA. Un télex adressé au CEA par l'entreprise brésilienne partenaire de la SOFRETES dans cette affaire fait état de l'influence d'Eletrobras sur le nouvel agent en charge du dossier solaire au MME (l'assistant du Secrétaire à la Technologie)[1999]. Son rapport pour le Secrétaire général du MME « est contre l'implantation du projet de 2 unités et le Dr Ivan a ajouté qu'il ne voyait pas personnellement d'intérêt à ce que le MME accepte la proposition de SOFRETES »[2000]. La viabilité technique et économique de la proposition SOFRETES est mise en doute et « le rapport donnera priorité au projet de centrale à Tour », c'est-à-dire à la proposition du CNRS : « il paraît que les pressions des autres secteurs de l'industrie françaises sont très fortes pour faire approuver leurs projets »[2001]. L'influence du CEA diminue d'autant plus en raison du changement de gouvernement qui lui fait perdre ses contacts directs. Le télex insiste sur la nécessité d'en établir de nouveaux pour faire opposition à ce rapport. Jacquard réagit en écrivant à l'ambassade de France à Brasilia pour tenter une manœuvre en invitant les principaux responsables du MME et d'Eletrobras à visiter les installations SOFRETES au Sénégal et à Diré afin de leur permettre d'évaluer concrètement sur le

---

1996 *Ibid*.
1997 *Ibid.*
1998 Lettre de Jacquard, Délégué à la Diversification du CEA, à Henry Durand, Président du COMES, 19 janvier 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier.
1999 CEA, le Délégué à la Diversification, le Conseiller pour les énergies nouvelles, « Informations reçues par télex du Brésil de Tulios de Vasconcellos », 2 février 1979, Dossier « Brésil 1978-1982 », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31.
2000 *Ibid*.
2001 *Ibid*.

terrain le dispositif proposé[2002]. Mais le CEA et la SOFRETES semblent avoir perdu la bataille comme l'atteste un compte-rendu de mission du CNRS d'avril 1979[2003].

Le rapport explique que cette mission CNRS est l'aboutissement de deux années de pourparlers. L'auteur précise que les choix de technologies susceptibles de constituer le cœur d'un programme de coopération solaire sont guidés par les termes du référentiel technologique qui valorisent la haute-technologie. Or, dans le domaine des applications solaires les responsables brésiliens leurs associent les dispositifs photovoltaïques et la concentration :

> J'ai moi-même constaté dans le discours des fonctionnaires de l'État de Pernambouc (Fernando Sodré da Motta) cette fascination pour la technique d'avant-garde. Périclès et les photopiles sont mises alors sur le même pied que le nucléaire, ce qui ne laisse pas d'étonner lorsque l'on vient de pays où le solaire se présente comme une alternative radicale au nucléaire[2004].

Leur choix écarte alors d'autant plus facilement la proposition CEA-SOFRETES au profit de deux projets solaires dans le Pernambouc (Nordeste). Le premier est une installation Périclès du CNRS pour l'irrigation qui vient contrer le projet SOFRETES à collecteurs plans fixes[2005]. Le second est l'installation photovoltaïque de GEW (Pompes Guinard, Elf-Aquitaine, Piles Wonder)[2006]. Nonobstant, l'auteur émet quelques réserves quant à la nature réelle des opérations envisagées : « ce programme est de toute évidence d'essence technocratique et il semble jusqu'ici avoir ignoré tant les besoins que les possibilités. »[2007]

Le conflit CEA/COMES se prolonge évidemment au-delà de l'affaire brésilienne et les relations interindividuelles qui l'animent également. Les relations entre le PDG de la SOFRETES, Jean-Pierre Girardier, et Henry Durand, le Président du COMES, deviennent, au cours de l'année 1979, très mauvaises.

Dans une lettre qu'il lui adresse au mois d'avril, Girardier lui exprime ses craintes quant aux effets des actions menées par le COMES sur les activités solaires françaises à

[2002] Télexe de Jacquard, CEA-Délégué à la Diversification, à l'Ambassade de France au Brésil, 5 février 1979, « très urgent : projets de stations solaires SOFRETES », Dossier « Brésil 1978-1982 », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31.
[2003] Jean-Pierre Dupuy, « Compte-rendu de mission au Brésil 1er au 28 mars 1979 », 23 avril 1979, Dossier « Brésil 1978-1982 », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 31.
[2004] *Ibid*., p. 3.
[2005] *Ibid*., p. 4.
[2006] *Ibid*.
[2007] *Ibid*., p. 5.

l'étranger en général et sur les affaires de la SOFRETES en particulier alors que Durand est administrateur de la filiale du CEA[2008]. Selon lui, le COMES n'œuvre tout simplement pas à la réussite des opérations engagées puisque le « marché solaire à l'exportation » n'existe pas et qu'il il n'y a pas de clientèle privée. Les démarches commerciales des entreprises prestataires auprès des gouvernements étrangers ne peuvent donc pas aboutir sans le soutien inconditionnel et impartial des institutions en charge de la politique publique solaire qui doivent manœuvrer pour eux. Secondement, aucune opération de démonstration ne peut réussir sans un programme de transfert de savoir-faire et de maintenance sur place, deux aspects qui ne sont pas intégrés dans les actions du COMES. Passées ces remarques d'ordre général, Girardier établit que les actions du COMES font en plus opposition au développement des activités de la SOFRETES. Il rappelle l'affaire brésilienne mais préfère dénoncer de nouvelles actions attentistes dont est victime son entreprise mais dont les acteurs individuels et les ressorts sont identiques. Au Sénégal, une mission COMES-CNRS menée par Vauge sabote les relations de la SOFRETES avec la SENELEC, l'entreprise nationale d'électricité partenaire (comme Vauge l'a fait avec Electrobras au Brésil, *cf. supra*). Or, l'enjeu est important. En effet, l'opération Diakhao prévoit en plus de la station mixte de moyenne puissance la construction d'un centre d'essai de capteurs plans dont l'objectif est d'autoriser le transfert de technologie de ce segment de l'installation à la SENELEC dans le but d'induire un développement industriel sur place. Deuxièmement, le COMES prévoit la création d'un représentant permanent au Sénégal pour les affaires solaires alors que la SOFRETES assure 90 % des opérations grâce à sa filiale la SINAES détenue en commun avec le gouvernement sénégalais. La présence solaire française est donc déjà bien assurée pour ne pas dire monopolisée par la SOFRETES. Girardier voit dans cette représentation la volonté de contrer son influence au profit de ses concurrents dans une configuration proche de celle qui, au Brésil, a permis au COMES d'engager un nouveau programme prioritaire sur les propositions CEA-SOFRETES existantes. Justement, selon lui, le COMES centralise les contacts avec les États afin de définir la nature des programmes de coopération (comme au Brésil donc), notamment de choisir quelle technologie retenir, ce qui a pour corolaire de maintenir les industriels à distance de ces choix et de les forcer à candidater à des

[2008] Lettre de Jean-Pierre Girardier, PDG de la SOFRETES, à Henry Durand, Président du COMES, 11 avril 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier.

appels d'offre orientés dans une certaine direction par lui. Dans ce schéma relationnel, les entreprises ne peuvent donc pas être directement à l'origine des affaires ce qui permet de contrôler leur accès aux clients et en ce qui concerne la SOFRETES de l'empêcher : « le COMES va-t-il se substituer à nous vis-à-vis de nos démarches dans toutes les administrations étrangères ? »[2009] Pour Girardier, une telle politique favorise ses concurrents photovoltaïques, les propositions du CNRS ou encore les entreprises étrangères, tout en écartant la SOFRETES. C'est une façon pour le PDG de la SOFRETES de dire au Président du COMES qu'il se rend bien compte que le COMES fait des choix, qu'il est partial, qu'il arbitre entre des propositions sociotechniques et des entreprises : « à noter que dans de nombreux pays, il y a en général un projet industriel SOFRETES ou Guinard, un projet COMES et un projet CNRS !... Envisagez-vous de lancer dans le thermodynamique basse température des programmes industriels d'achat, comme vous l'avez fait dans le photovoltaïque ? »[2010] En ce sens, Girardier tient le même discours que le Délégué à la Diversification du CEA.

Le Président du COMES lui répond sur un ton défiant. Il se défausse en jouant sur les mots et en avançant des arguments plutôt fallacieux[2011]. Il ne reconnaît aucun tort au COMES dans l'affaire brésilienne et continue de charger Phéline et le CEA. Dans l'affaire sénégalaise, il insiste sur le fait que la mission COMES-CNRS de Vauge, Rodot (Directeur du PIRDES) et Deflandre (que nous ne présentons plus) répond à une demande du Président Diouf (également Président de la SINAES), et qu'il ne s'agit pas d'une mission à visée commerciale immédiate mais d'une mission exploratrice pour établir un plan solaire à long terme. La SOFRETES n'a pas à être consultée sur les actions du COMES, ce serait plutôt l'inverse. Concernant le centre d'essai de capteurs de Diakhao, Durand explique que Lambert, l'ingénieur responsable des dossiers solaires du FAC, ainsi que Vauge, Rodot et Deflandre, considèrent que cette installation doit être indépendante de tout industriel particulier dans sa vocation. Dit autrement, Durand est en train de détourner le centre d'essai de Diakhao au profit d'une autre technologie, et donc d'autres acteurs que la SOFRETES, ses capteurs plans et sa filiale sénégalaise SINAES. Concernant l'idée d'un représentant permanent au Sénégal, ce serait Diouf et le PNUD

[2009] *Ibid*., p. 3.
[2010] *Ibid*., p. 3.
[2011] Lettre du Président du COMES, Henry Durand, à Jean-Pierre Girardier, PDG de la SOFRETES, 26 avril 1979, archives privées de Jean-Pierre Girardier.

qui auraient demandé au COMES, et non une décision unilatérale du COMES. Durand affirme que le COMES n'a pas de projet en propre et que sa mission est de soutenir ceux des industriels. Il ne reconnaît pas arbitrer entre ces projets, ni en fonction des industriels, ni en fonction des techniques proposées, mais assène qu' « il est certain que votre position de champion est aujourd'hui entamée par des technologies concurrentes… Il vous appartient d'en tirer les conséquences. »[2012] Il rappelle pour preuve de sa bonne foi envers la SOFRETES qu'il a désigné « spontanément » Vergnet dans le Comité technique thermodynamique du COMES[2013]. Il rejette l'idée que le COMES cherche à établir un monopole du dialogue solaire en se substituant aux industriels dans leurs démarches auprès des gouvernements étrangers, mais il ajoute « sauf si ces derniers ou les administrations étrangères le demandent »[2014]. Il insiste sur les plaintes que des clients SOFRETES adresseraient au COMES afin de disqualifier sa proposition sociotechnique et de la rejeter au nom des intérêts supérieurs de la « France solaire » :

> Ainsi, croyez bien qu'il ne m'a été ni agréable, ni facile (et la partie n'est pas encore gagnée), de redorer le blason de la SOFRETES au Mexique vis-à-vis de M. Ibarra, puisque DIGAASES[2015] il y a. Et que les plaintes, personnelles ou diplomatiques, que je reçois du Soudan n'ont rien d'agréable. Dans chaque cas particulier, vous avez sûrement plus d'atouts que moi-même. Car vous avez le devoir de défendre votre entreprise, par des arguments techniques ou commerciaux. J'ai, moi, la mission beaucoup plus difficile, de redresser alors une image de marque de la France solaire, où la diplomatie -voire le compromis global- l'emporte le plus souvent sur des justifications qui ne sont plus de mise à ce niveau[2016].

Il se défausse de mener un programme industriel d'achat de panneaux photovoltaïques alors qu'il s'agit d'une politique publique avérée et en profite pour critiquer les machines SOFRETES :

> La réponse concernant l'achat « sur programme » de systèmes thermodynamique, à l'instar de ce que fait le COMES en photovoltaïque, est négative. Je n'ai jamais envisagé d'acheter des systèmes solaires, mais uniquement des composants de coûts unitaires faibles, et susceptibles d'applications variées : une vingtaine de preneurs différents ont été jusqu'ici subventionnés en photovoltaïque par ce moyen. Le manque de modularité, et encore plus le coût unitaire très élevé des machines thermodynamiques, joint à la moindre quantité de

[2012] *Ibid*., p. 3.
[2013] *Ibid*.
[2014] *Ibid*., p. 4.
[2015] Pour rappel, il s'agit de l'institution mexicaine responsable du programme solaire national à cette date (*cf. supra* chapitre 3).
[2016] *Ibid*.

clients potentiels (y compris la Métropole, que je me dois ne pas oublier) m'en empêchent[2017].

Au vu du conflit qui les oppose, à titre personnel et professionnel, la Président du COMES termine sa lettre à Girardier en annonçant sa décision de se retirer du Conseil d'administration de la SOFRETES et précise qu'il rendra son mandat au CEA (et non à la SOFRETES) afin de pointer la responsabilité de ce dernier dans la situation.

Par la suite, la position de Durand et du COMES ne fait que se durcir vis-à-vis du CEA-SOFRETES et de leur proposition sociotechnique. Le conflit resurgit sans cesse dans tous les dossiers[2018]. Par exemple, en décembre 1980, il est acté pour le COMES que le centre d'essai de capteurs plans pour installations thermodynamiques prévu à Diakhao par la SOFRETES et la SINAES doit être transformé en centre d'essai de capteurs photovoltaïques pour préparer la SENELEC au futur transfert de l'installation de Photowatt de Niaga Wolof[2019]. Ce compte-rendu de mission au Sénégal évalue très négativement toutes les installations SOFRETES et rejette toutes possibilités de prolongations dans le temps de cette sociotechnique. Alors que la BOAD entend financer une station SOFRETES de 30 kW à Yare-Lao dans le FERLO au Nord-Est du Sénégal, le COMES prépare un avis défavorable :

> Dans l'état actuel des difficultés de mise en place des pompes thermodynamiques, de l'avenir incertain des moteurs à vis pour cette technique et du prix prévu pour une telle installation, on peut se demander s'il est raisonnable d'aller mettre en place une telle pompe thermodynamique dans un site difficile d'accès du Sénégal. Le monopole dont jouit SOFRETES vis-à-vis de cette technique est néfaste et trompeur. Il n'y a en effet pas de contre-proposition possible utilisant cette même technique et cette situation laisse supposer que la technique thermodynamique basse température a encore un avenir alors même que dans cette gamme de puissance des installations photovoltaïques coûtent moins cher et sont plus faciles d'entretien. Est-il dans l'intérêt de SOFRETES, du COMES et de la France de

[2017] *Ibid*.

[2018] Bien d'autres exemples viennent étayer les preuves de ce conflit tel celui du projet de DORI en Haute-Volta que le CEA mène auprès de l'OPEC pour financer une station mixte de force motrice pour VOLTELEC, l'entreprise nationale d'électricité de Haute-Volta. L'opération est discutée au sommet de l'État entre Monory, Galley, Durand et Kalmogo, le ministre voltaïque des Finances. Avant la réunion, le CEA met en garde le Directeur Général Adjoint du Cabinet de Monory afin d'éviter d'inclure le COMES dans ce projet qui risquerait de la faire échouer : « lors de l'entretien, le 19.3.80, avec le ministre Kalmogo, ce dernier nous a fait part d'associer à ce projet la partie française (COMES 50/50). Craignant une intervention jugée inopportune du COMES sur ce premier projet (appel d'offres ou autres suggestions comme photovoltaïque, ou réaction épidermique d'Henry Durand considérant que SOFRETES l'avait battu de vitesse en ce qui concerne la recherche de Fonds Arabes), nous avons essayé de convaincre le ministre de conserver ce premier projet sur financement OPEC (impact politique) ». Max Clémot, « Action fonds spéciaux OPEC », 21 mars 1980, archives privées fonds BCD (CEA).

[2019] COMES, Compte-rendu de mission au Sénégal, décembre 1980, Dossier « Sénégal 1976-1981 », Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 41.

> laisser se faire une telle installation qu'il faudra nécessairement supporter financièrement ensuite ? Faut-il informer précisément les Sénégalais et la BOAD des risques techniques encourus et des alternatives possibles ?[2020]

L'analyse des relations CEA/COMES dans le déroulement des opérations solaires à l'étranger révèle l'existence d'un système conflictuel d'acteurs (institutionnels mais aussi individuels), d'intérêts et de propositions sociotechniques. L'issue du conflit est fatale aux affaires de la SOFRETES et à ses convertisseurs (pertes de contrats et disqualification de la sociotechnique). La responsabilité du COMES est indéniable. Si le conflit oppose le CEA au CNRS dès avant la création du COMES, après celle-ci l'administration de mission solaire du gouvernement porte plutôt les intérêts du second auquel viennent s'ajouter ceux des partenaires industriels engagés dans la filière photovoltaïque. En 1979, la posture du COMES est renforcée par une réorientation de la politique publique solaire.

2. L'arbitrage ministériel de 1979

Au début de l'année 1979, le gouvernement redéfinit les axes de la politique publique solaire française. Les domaines prioritaires de R&D et de démonstration sont réexaminés. Un arbitrage est prononcé entre les sociotechniques jusque-là proposées. Le COMES est chargé d'en appliquer les modalités. Notre hypothèse est que le COMES et la DGEMP pèsent sur le processus décisionnel alors que le CEA peine à faire entendre ses arguments auprès du ministre de l'Industrie. Les archives de deux Conseil des ministres renseignent ce moment décisif de la politique publique solaire française.

En janvier 1979, le DGEMP prépare un dossier d'aide à la décision pour le ministre de l'Industrie, André Giraud, en vue d'établir les axes prioritaires de la politique de développement des applications de l'énergie solaire. Le ministre de l'Industrie doit présenter ses décisions lors du Comité interministériel du 12 février 1979, puis au Conseil des ministres du 14 février 1979.

[2020] *Ibid*., p. 14.

Selon les documents en notre possession, le processus décisionnel s'engage le 5 janvier 1979 avec un entretien entre le Président du COMES et le DG de la DGEMP[2021]. La répartition du budget du COMES en fonction des différents programmes engagés résulte de choix antérieurs à sa création (le 8 mars 1978)[2022]. Durand et de Wissocq en critiquent l'ordre des priorités qualifié de « douteux »[2023]. Ils souhaitent inverser les pôles de dépense : diminuer le budget alloué aux centrales thermodynamiques au profit d'une « politique industrielle plus ambitieuse en matière de conversion photovoltaïque » et soutenir davantage l'équipement en chauffe-eau sanitaire dans l'habitat[2024]. Le poids particulier que représente l'opération Thémis (le projet de centrale solaire thermodynamique à concentration des hautes températures à tour du CNRS-EDF-CETHEL) sur le budget solaire global implique selon eux de plutôt reconsidérer l'existence des trois autres « options complémentaires… S'agissant des systèmes à conversion thermodynamique »[2025]. Ils désignent précisément la centrale CEA-Bertin en Corse, le concentrateur THEK du CNRS et les machines SOFRETES[2026]. C'est donc parmi ces trois options qu'il faut trancher si la seconde priorité, après Thémis, est accordée au photovoltaïque pour les petites puissances : « il va de soi que si une priorité était donnée aux applications photovoltaïques sans doute plus prometteuses {souligné dans le document par le ministre[2027]}, des arbitrages devraient être faits entre ces différentes options, le budget du COMES n'étant pas en mesure, sauf dotation nouvelle spécifique, de les assumer à l'heure actuelle. »[2028] Cela étant, aucun argument sur les besoins à satisfaire et la manière d'y parvenir ne vient étayer leur analyse au-delà de rapports comptables. Pour finir, de Wissocq avertit le ministre de l'Industrie que la phase expérimentale (actions de R&D et opération de démonstration) des applications de

[2021] DG de la DGEMP, François de Wissocq, « Note pour le Ministre. Entretien avec M. Durand, Président du COMES. Préparation de la communication sur l'énergie solaire inscrite à l'ordre du jour du Conseil des Ministres du 14 février », 5 janvier 1979, Dossier « Conseils des Ministres janvier à mars 1979 », Archives nationales, Fonds André Giraud, répertoire 19880199, carton 4.
[2022] « Budget solaire », document joint en annexe à la note précédente.
[2023] *Ibid*., p. 3.
[2024] *Ibid.*
[2025] *Ibid.* p. 4.
[2026] Dans le « Budget solaire », le document joint en annexe à la note de de Wissocq, il est intéressant de remarquer que le pôle de dépense intitulé « Politique industrielle du COMES », doté de 4,5 MF, intègre un versement de 3 MF aux activités de la SOFRETES (sachant qu'il s'agit ici de la ventilation décidée avant la création du COMES, c'est-à-dire par la DEN).
[2027] André Giraud annote ce passage dans la marge : « en chiffre d'affaires mais est-ce vrai en énergie produite, le plus prometteur c'est le bois ». p. 4.
[2028] *Ibid*.

l'énergie solaire atteint désormais un stade « sinon de maturité, du moins de pré-industrialisation »[2029]. Il constate donc qu'il est nécessaire de passer à l'étape suivante, celle d'une politique industrielle (si et seulement si c'est l'objectif évidemment) : « la poursuite d'actions de recherche et de démonstration ne saurait suffire. Le COMES est aujourd'hui confronté à l'obligation d'arrêter ses options en matière industrielle »[2030].

Ces possibles orientations sont discutées lors d'une première réunion de travail au cabinet du Premier ministre, Raymond Barre, le 9 janvier 1979[2031]. Le COMES remet ensuite différentes notes de synthèse thématiques pour apporter des éléments au dossier. Le CEA présente également son analyse au ministre.

Dans une note du 12 janvier 1979, le Délégué à la Diversification du CEA présente la « Politique industrielle du CEA dans le secteur des énergies nouvelles »[2032]. Nous avons exploité en détail ce document au chapitre 5. Il faut en retenir que le CEA explique au ministre de l'Industrie quels sont les lacunes, les obstacles et les dangers qui empêchent l'industrialisation de la proposition sociotechnique de la SOFRETES en particulier. Les préconisations du CEA sur les mesures à prendre ne vont pas dans le même sens que celles du COMES que la DGEMP relaye. Le CEA demande explicitement que le gouvernement accorde une aide supplémentaire à la SOFRETES et que le COMES soutienne davantage ses activités à l'export (en l'état il ne la fait pas selon le CEA). Le conflit CEA/COMES se retrouve bien dans les documents qui composent le dossier du ministre, à la fois dans leurs contenus, qui s'opposent clairement, mais aussi dans l'asymétrie des informations qui traitent de la question des futures orientations de la politique publique solaire. Le corpus ne contient qu'un seul document de quelques pages du CEA alors que presque tous les autres sont émis par le COMES.

Dans sa note du 16 janvier 1979, le Président du COMES établit un état des lieux des réalisations dans le domaine thermodynamique[2033]. Concernant les basses

[2029] *Ibid.*
[2030] *Ibid.*
[2031] DG de la DGEMP, « Note pour le Ministre. Préparation de la communication du 14 février 1979 sur l'énergie solaire et les autres énergies nouvelles », février 1979, Dossier « Conseils des Ministres janvier à mars 1979 », Archives nationales, Fonds André Giraud, répertoire 19880199, carton 4.
[2032] Le Délégué à la Diversification du CEA, « Politique industrielle du CEA dans le secteur des énergies nouvelles », 12 janvier 1979, Dossier « Conseil des Ministres du 26 juin 1979 », Archives nationales, Fonds André Giraud, répertoire 19880199, carton 5.
[2033] Président du COMES, « Réalisations dans le domaine thermodynamique », 16 janvier 1979, Dossier « Conseil des Ministres du 26 juin 1979 », Archives nationales, Fonds André Giraud, répertoire 19880199, carton 5.

températures, il mentionne les installations SOFRETES mais restreint leur service au pompage de l'eau uniquement, il ne parle ni des applications de froid solaire, ni d'électricité, ni de géothermie, ni de dessalement. La PME n'est pas présentée comme une filiale du CEA. Durand écrit qu'elle « effectue surtout du montage, les principaux constituants de ses moteurs solaires étant sous-traités »[2034]. Dans sa note de synthèse sur l'énergie photovoltaïque, le Président du COMES choisit de défendre cette solution technique pour les petites puissances en insistant sur l'objectif de baisse des coûts industriels[2035]. Il établit un rapport de compétitivité du photovoltaïque avec le pétrole et le nucléaire, et non avec la filière solaire thermodynamique basse température. Il fait le parallèle avec l'industrie des circuits intégrés pour appuyer l'idée que le principe de courbe d'apprentissage est applicable aux cellules photovoltaïques et que c'est justement ce qu'il convient de faire en lançant dès à présent un plan d'industrialisation :

> L'importance donnée à la courbe d'apprentissage, et donc à la production, tend maintenant à donner la primauté à l'industrie qui devra assurer une production rapidement croissante et pourra ainsi diminuer ses coûts. A cet égard, l'année 1979 peut être qualifiée de l'an I de l'industrie photovoltaïque et devrait donc voir la création, en France, d'une politique industrielle dans ce domaine[2036].

André Giraud, nucléocrate, est sans doute d'abord sceptique sur l'enthousiaste solaire de Durand, photovoltaïcien de chez Philips, puisqu'il écrit à côté du titre de cette note de synthèse : « Hum ! »[2037]. Le ministre semble dubitatif sur la capacité du solaire à représenter à long terme une alternative au nucléaire et au pétrole comme Durand semble vouloir le croire. La question du choix à faire pour départager les deux filières solaires dans la gamme des petites puissances intéresse sûrement plus le Président du COMES que le ministre de l'Industrie.

En annexe, Durand présente les principaux industriels du secteur et leurs domaines d'activités. Premièrement, les « acteurs dignes de ce nom », fabricants de panneaux[2038]. Son ancien employeur, la RTC, est « le deuxième fabricant et premier exportateur mondial »[2039]. Leroy-Somer va débuter une chaîne de production en France.

[2034] *Ibid*., p. 1.
[2035] Le Président du COMES, « Note de synthèse sur l'énergie photovoltaïque », 22 janvier 1979, Dossier « Conseil des Ministres du 26 juin 1979 », Archives nationales, Fonds André Giraud, répertoire 19880199, carton 5.
[2036] *Ibid*., p. 1.
[2037] *Ibid*.
[2038] *Ibid*.
[2039] Le Président du COMES, *op. cit*., 22 janvier 1979, Annexe II.

L'organisation des intérêts financiers du groupe dans le solaire sont détaillés (Solarex, France Photon, Les Pompes Guinard). Sa filiale, Les Pompes Guinard, concurrent de la SOFRETES, est présentée comme « un marché captif » pour Leroy-Somer[2040]. L'origine de la présence de la CGE (actionnaire de la SOFRETES quelques mois plus tard) dans ce secteur est associée à sa filiale CIPEL, « fournisseur de presque tous les ensembliers français pour le stockage électrique »[2041]. La CGE se lance dans la fabrication de silicium. Deuxièmement, Durand présente les industriels qui fabriquent les matériaux et les composants des systèmes : la CIPEL, Thomson, Saint-Gobain et BSN, Rhône-Poulenc (qui se lance avec la CGE dans le silicium à usage solaire). Enfin, il dresse la liste des ensembliers, « une demi-douzaine de sociétés françaises qui se sont lancées depuis 1975 dans la conception et la réalisation de générateurs clefs en main »[2042]. D'abord les Pompes Briau et Guinard qui sont largement en tête sur le marché mondial, puis la CIPEL, la SERI-Renault et Philips. Durand préconise comme principale action de développement du marché les acquisitions directes auprès des industriels afin d'enclencher la courbe d'apprentissage[2043]. Il souhaite que le COMES mette en place une politique de garantie d'achat, ce qu'il a commencé à faire en assurant une procédure de garantie minimale de commande à RTC[2044]. Au final, c'est bien d'« un plan photovoltaïque réunissant les efforts des administrations intéressées, à l'instar du plan Composant » dont il est question[2045], « centré sur deux ou trois industriels du domaine des composants, et autant du domaine des ensembliers »[2046].

Une seconde réunion de travail a lieu au cabinet du Premier ministre, Raymond Barre, le 1er février 1979[2047]. Quatre points sont dégagés par la DGEMP autour desquels pourrait s'organiser la communication à venir d'André Giraud. D'abord, le concept d'« énergies nouvelles » n'est pas claire auprès de l'opinion publique. Ensuite, il faut « donner un contenu concret et immédiatement perceptible à la politique des Pouvoirs

[2040] *Ibid*.
[2041] *Ibid*.
[2042] *Ibid*., p. 3 de l'Annexe II.
[2043] Le Président du COMES, *op. cit*., 22 janvier 1979, Annexe V.
[2044] Le Président du COMES, *op. cit*., 22 janvier 1979, Annexe VI. Durand présente dans cette section ses recommandations de « stimulation du marché » et de « soutien à l'industrie ».
[2045] *Ibid*., p. 3 de l'Annexe VI.
[2046] *Ibid*., p. 4 de l'Annexe VI.
[2047] DG de la DGEMP, « Note pour le Ministre. Préparation de la communication du 14 février 1979 sur l'énergie solaire et les autres énergies nouvelles », février 1979, Dossier « Conseils des Ministres janvier à mars 1979 », Archives nationales, Fonds André Giraud, répertoire 19880199, carton 4.

Publics »[2048]. Donc il faut passer à une nouvelle étape « caractérisée par la mise en place d'une politique industrielle dans les deux domaines les plus prometteurs, mais aussi les plus soumis à la concurrence internationale : le photovoltaïque et le chauffage solaire »[2049]. Il est intéressant de rappeler ici que la SOFRETES n'a pas vraiment de concurrence dans sa filière thermodynamique basse température. Enfin, les nouvelles priorités de la recherche doivent soutenir le choix du photovoltaïque et les applications de la biomasse. La DGEMP édite un second document le 6 février 1979 qui arrête cinq ensembles de décisions[2050]. Le second, relative aux applications photovoltaïques prévoit un plan développement pour 1980-1985[2051]. Le COMES poursuivra donc ses actions de promotions de cette filière dans les PED avec l'aide des ministères de la Coopération et des Affaires étrangères[2052]. Son soutien direct aux industriels prendra la forme d'achats groupés garantis[2053]. Concernant la filière thermodynamique, seules les centrales à centration « Thémis et Corse seront engagées en 1979 »[2054]. La réunion interministérielle tenue à Matignon le 12 février 1979 entérine ces décisions[2055]. La communication officielle du ministre de l'Industrie du 14 février 1979 reprend les termes exacts de la note de la DGEMP[2056].

L'arbitrage a donc lieu, la filière des convertisseurs thermodynamiques solaires à basse température est écartée et avec elle la SOFRETES. L'avis du CEA n'a pas été suivi.

Les grands principes de cette réorientation de la politique publique solaire de la France sont repris et approfondis pour le Conseil des ministres du 20 juin 1979 et mis en forme dans un document intitulé « La politique énergétique solaire » qui fait donc office de volet solaire au référentiel de la politique publique de l'énergie[2057]. Il intègre une

[2048] *Ibid*., p. 2.
[2049] *Ibid*.
[2050] DGEMP, « Communication de M. le Ministre de l'Industrie sur l'énergie solaire du 14 février 1979 », 6 février 1979, Dossier « Conseils des Ministres janvier à mars 1979 », Archives nationales, Fonds André Giraud, répertoire 19880199, carton 4.
[2051] *Ibid*., p. 2.
[2052] *Ibid*.
[2053] *Ibid.*
[2054] *Ibid.*, p. 3.
[2055] Secrétariat général du gouvernement, « Compte-rendu », réunion interministérielle du 12 février 1979, Dossier « Comités interministériels 12 février 1979 », Archives nationales, Fonds André Giraud, répertoire 19880199, carton 4.
[2056] Conseil des ministres, « L'énergie solaire », communiqué du 14 février 1979, pp. 58-59, Dossier « Conseils des Ministres janvier à mars 1979 », Archives nationales, Fonds André Giraud, répertoire 19880199, carton 4.
[2057] République française, *La politique énergétique solaire*, mercredi 20 juin 1979. Ce document reprend les termes d'un autre, daté du jour précédent : Ministère de l'Industrie, « Communication de M. André

section très pédagogique qui propose les éléments de langage à utiliser auprès de la population : « La politique solaire de la France 20 questions – 20 réponses »[2058]. La proposition thermodynamique à basse température de la SOFRETES est mentionnée en trois lignes dès la première réponse à la première question portant sur les différentes filières existantes[2059]. Trois autres lignes lui sont consacrées à la question n°14 qui porte sur le descriptif des programmes et des réalisations dans le secteur photovoltaïque[2060]. Très étrangement, il ne s'agit pas d'intégrer le SOFRETES à cette filière (pourtant ce serait réaliste puisque l'entreprise s'engage dans cette voie *cf. supra* chapitre 4) mais simplement de faire une parenthèse sur l'ancienneté de l'expérience française dans le pompage de l'eau « toutes techniques confondues » afin d'appuyer la démonstration selon laquelle l'industrie française photovoltaïque en devenir repose sur un socle solide dans ce genre d'application[2061]. La SOFRETES est donc prise en témoin pour servir la proposition concurrente qui bénéficie de l'arbitrage ! Enfin, le discours tenu à la question suivante sur la filière thermodynamique cherche à disqualifier cette trajectoire. D'abord en expliquant que c'est « paradoxalement » à la fois la plus ancienne technique de conversion de l'énergie solaire connue et expérimentée mais aussi la moins mature techniquement et la plus chère, ce qui en repousse donc l'utilisation « au 21ème siècle »[2062]. La conversion à basse température au moyen de capteurs plans (rudimentaire et ancienne), « on pense alors aux nombreuses pompes solaires qui ont été installées au 4 coins du monde par un industriel français depuis bientôt 15 ans » (pas de nom) est opposée aux grandes centrales à tour, qui « représentent le dernier cri de la technologie »[2063]. Car c'est bien le choix de cette dernière technologie qui est retenue et non la proposition sociotechnique du CEA-SOFRETES qui n'est même pas clairement citée. En ce qui concerne les moyennes températures (50-300 kW), le descriptif des technologies existantes ne mentionnent que les centrales équipées de capteurs à concentration (type THEK du CNRS et CEA-Bertin en Corse). Rappelons pourtant que

Giraud, ministre de l'Industrie, sur l'énergie solaire », 19 juin 1979, Dossier « Conseil des Ministres du 26 juin 1979 », Archives nationales, Fonds André Giraud, répertoire 19880199, carton 5.

[2058] République française, *La politique énergétique solaire*, mercredi 20 juin 1979, Dossier « Conseil des Ministres du 26 juin 1979 », Archives nationales, Fonds André Giraud, répertoire 19880199, carton 5.

[2059] *Ibid*., partie 2 « *La politique solaire de la France 20 questions – 20 réponses* », p. 5.

[2060] *Ibid*., « *Question n°14* », p. 43.

[2061] *Ibid*.

[2062] *Ibid*., « *Question n°15* », p. 45.

[2063] *Ibid*.

la centrale de Diré (75 kW avec des capteurs plans) est mise en route quelques semaines après ce conseil des ministres de juin 1979 et qu'elle est inaugurée en grande pompe en décembre 1979 (*cf. supra* chapitre 3 et 5). Au moment de préciser les différents programmes publics engagés dans ces trois catégories de puissances, il est simplement spécifié que les dispositifs à basse température sont « commercialisés depuis de nombreuses années », ce qui sous-entend qu'il s'agit d'un produit vendu par une entreprise privée (mais le lecteur ne sait ni par qui, ni où, ni sous quelles formes, ni comment, ni pourquoi)[2064]. Or c'est faux. Comme nous l'avons bien démontré, les machines SOFRETES sont des prototypes intégrés à des opérations de politique étrangère et la société est une entreprise d'État. Rien de tout cela ne transparaît de ces quelques lignes qui sont rédigées pour nous faire comprendre qu'aucune action particulière des pouvoirs publics n'est engagée pour soutenir le développement de cette trajectoire technique qui semble déjà exister et être livrée à elle-même sur le marché (qui, rappelons-le, n'existe pas). Inversement, les actions du CNRS et de l'EDF sont précisées dans les domaines des moyennes et hautes températures.

Afin de légitimer l'arbitrage, ces éléments de langage du référentiel solaire national agissent comme une production institutionnelle d'ignorance de l'existence de la SOFRETES et de sa proposition sociotechnique.

Par la suite, le programme de développement d'une filière photovoltaïque est organisé selon un plan en deux phases : 1980-1982 et 1982-1986[2065]. Il est mis en œuvre par le COMES puis par l'AFME[2066]. Un choix est opéré entre les industriels. La CGE est

---

[2064] *Ibid*., p. 46.

[2065] AFME, Dossier « Plan photovoltaïque et prise de participation de l'AFME au capital de Photowatt », « Plan photovoltaïque 2ème phase 1982-1986, proposition d'action, 30 juillet 1982, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 1 ; DGEMP, « Compte-rendu de la réunion tenue à la DGEMP le 23 septembre 1982 relative au programme photovoltaïque », 24 septembre 1982, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19950371, carton 6 ; AFME, « Fiche 1. Argumentaire Programme et Plan photovoltaïque. Description et financement du programme (hors plan) », 21 septembre 1982, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19950371, carton 6 ; AFME, « Fiche 3. Argumentaire Programme et Plan photovoltaïque. Stratégie de déroulement calendaire », 23 septembre 1982 ; AFME, « Plan photovoltaïque, 2ème phase 1982-1986, proposition d'action », 10 janvier 1983, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 2.

[2066] AFME, Dossier « Plan photovoltaïque et prise de participation de l'AFME au capital de Photowatt », « Plan photovoltaïque 2ème phase 1982-1986, proposition d'action, 30 juillet 1982, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 1 ; Conseil d'administration de l'AFME du 25 novembre 1982, Dossier d'attribution d'aides financières, Société Photowatt, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 2 ; AFME, « Note de présentation au Conseil d'administration de l'AFME du 16 décembre 1982. Plan photovoltaïque 1982-1986 », 9 décembre 1982, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 2 ; AFME, « Plan photovoltaïque, 2ème phase 1982-1986, proposition d'action », 10 janvier 1983, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 2.

désignée pour constituer un champion national au moyen de sa filiale Photowatt (*cf. supra* chapitre 5 pour le rôle de la CGE dans les affaires de la SOFRETES)[2067].

Cette réorientation de la politique publique solaire nationale de 1979 s'accompagne d'une reprise en main du COMES et de ses actions par le gouvernement. Le ministre de l'Industrie, André Giraud, rappelle les objectifs qui doivent guider l'action internationale de la France dans le domaine des énergies nouvelles lors du Conseil des ministres du 30 juillet 1980 : le rayonnement de la France, l'aide au développement et des débouchés pour les industriels français[2068]. En septembre, de Wissocq, DG de la DGEMP, recadre l'action du Président du COMES, Henry Durand, à la suite du débat qu'a soulevé l'exposé sur l'action internationale du COMES de ce dernier en Conseil d'Administration, notamment son idée de créer une société de service internationale (*cf. infra* 3)[2069]. De Wissocq lui demande de ne plus présenter ses conclusions et ses propositions sans les avoir fait valider au préalable par le ministre de l'Industrie. Ce qui signifie que Durand ne semble pas suivre l'exacte ligne tracée par les orientations gouvernementales. Le DG de la DGEMP lui demande d'établir « une liste limitée de pays qui doivent constituer pour la France des zones d'efforts privilégiés » et de resserrer le contrôle sur tous les partenaires des opérations à l'étranger grâce à des modalités de coordination très précises sous l'autorité du COMES[2070]. Le 26 septembre, soit quatre jours avant cette lettre, le gouvernement modifie les statuts du COMES pour diminuer les pouvoirs du Président au profit de l'autorité d'un Directeur Général[2071]. Le poste n'est

[2067] AFME, Dossier « Plan photovoltaïque et prise de participation de l'AFME au capital de Photowatt », « Plan photovoltaïque 2ème phase 1982-1986, proposition d'action, 30 juillet 1982, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 1 ; DGEMP, « Compte-rendu de la réunion tenue à la DGEMP le 23 septembre 1982 relative au programme photovoltaïque », 24 septembre 1982, p. 3., Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19950371, carton 6. A cette date la répartition du capital de Photowatt est : 51 % SFP (51% SAFT, 31% SNEA, 18% RTC) et 49% SAFT. Soit : 75% SAFT, 16% SNEA et 9% RTC ; AFME, « Fiche 3. Argumentaire Programme et Plan photovoltaïque. Justification du déséquilibre France-Photon/Photowatt International », 21 septembre 1982, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19950371, carton 6 ; AFME, « Plan photovoltaïque, 2ème phase 1982-1986, proposition d'action », 10 janvier 1983, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 2.

[2068] Ministère de l'Industrie, « Note d'information : les énergies nouvelles », 30 juillet 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.

[2069] Lettre de François de Wissocq, DG de la DGEMP, à Henry Durand, Président du COMES, 30 septembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.

[2070] *Ibid*.

[2071] Ministère de l'Industrie, Décret n°80-767 du 26 septembre 1980, notamment l'article 14, *Journal officiel de la République française*, 28 septembre 1980, pp. 2255-2257.

pas confié à un homme du solaire mais à un polytechnicien appartenant au corps des ingénieurs des Télécommunications, Guy Lefrançois[2072].

A partir de l'automne 1980, de nouveaux instruments solaires au service de la politique étrangère de la France sont à l'étude, alors même que la normalisation des relations CEA/COMES est engagée. Les deux processus sont interdépendants, car pour les acteurs de l'action publique solaire à l'étranger, ils impliquent de s'entendre sur les modalités de la disparition de la SOFRETES.

3. La société « S »

Comme explicité au chapitre 5, les négociations d'une convention-cadre entre le COMES et le CEA débutent en octobre 1980. L'objectif est de normaliser leurs relations. Cet accord de coordination des actions au moyen d'une convention d'assistance technique à l'étranger définit les modalités, les domaines techniques et les zones géographiques d'intervention du CEA dans les opérations solaires françaises sous la tutelle du COMES[2073]. C'est une manière de contrôler l'activité solaire du CEA et de l'aligner avec les orientations de la politique publique solaire, notamment à l'étranger. La question se pose de savoir si la SOFRETES, filiale solaire du CEA à l'étranger, doit y être intégrée et sous quelle forme.

Dans un premier temps, il est envisagé un transfert d'une partie de ses activités non-industrielles (celles-ci sont arrêtées) et de son personnel entre le COMES et le CEA dans une nouvelle entité partagée. Une nouvelle version de la SOFRETES en quelque sorte, mais amputée de son volet fabrication pour se recentrer sur le conseil, l'ingénierie et la maintenance. Cela implique qu'elle sert, en amont, les intérêts avals des industriels détenteurs des technologies soutenues par la politique publique solaire, à savoir les propositions photovoltaïques et à concentration du CNRS et de Photowatt. La nouvelle SOFRETES ne serait plus qu'un intermédiaire d'influence au service de propositions

[2072] *Ibid.* ; « M. Guy Lefrançois est nommé Directeur général du COMES », *Le Monde*, 30 septembre 1979.
[2073] Convention cadre le 15.07.81 couvrant 81-85. Convention Assistance Technique à l'Étranger (ATE) notifié le 27.08.81 ; convention ATE 82, notifié le 07.04.82 ; convention ATE 83, notifiée le 07.07.83 ; convention ATE 84, notifiée le 12.09.84. CEA, « Compte-rendu de la réunion du 28 février 1985 à Cadarache. Contrat AFME-CEA (Convention ATE 85) », p. 2, 23 avril 1985, Archives nationales, AFME, répertoire 19940245, carton 245.

sociotechniques jusque-là concurrentes à ses convertisseurs des faibles gradients de températures naturelles.

Un déjeuner d'affaires entre le DG du COMES, l'AG et le Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles du CEA se déroule le 9 octobre 1980 afin d'envisager un protocole d'accord COMES-CEA[2074]. Le premier point abordé concerne le transfert d'agents. Le Chef du projet solaire du CEA, Bernard Devin, va être délégué au COMES à la tête du SAI à la place de Subrenat (agent du MAE). La situation de Max Clémot, le rapporteur d'affaires de la SOFRETES détaché du CEA, est discuté. Il est envisagé de la transférer à « un poste utile à la Banque Mondiale »[2075] (l'objectif est de capter les financements de l'aide internationale au développement, *cf. supra* chapitre 3). Il est spécifié que, le cas échéant, Devin et Clémot emporteraient avec eux au COMES certaines de leurs activités solaires actuelles au sein du CEA-SOFRETES. Le CEA resterait donc, par leur entremise, maître d'œuvre d'opérations solaires dans certaines régions du monde où il est bien implanté comme au Niger, en Égypte et en Polynésie. Quant à la SOFRETES, elle évoluerait « vers une activité pure de conseil, d'ingénierie, d'entreprise générale et d'entretien, à l'exclusion de toutes fabrications d'équipements »[2076]. Une réorganisation qui s'accompagnerait de l'entrée au capital de la nouvelle société du COMES, et peut-être d'Elf, afin de faire de cette nouvelle version de la SOFRETES, dénommée ici société « S », « l'outil (non exclusif) de la politique solaire française (exemple de Technip dans le domaine pétrolier) »[2077]. Enfin, la discussion fait état de la nécessité d'établir un contrat-programme « qui se substituerait aux actions coup par coup de collaboration technique entre le COMES et le CEA »[2078].

L'idée d'une société de service internationale (SSI) qui conseillerait les gouvernements étrangers et les organisations internationales afin de capter des financements pour en faire bénéficier des technologies et des entreprises françaises dans le domaine de l'énergie, d'abord conventionnelle, puis des énergies renouvelables ensuite, existe déjà au moment de cette rencontre entre le CEA et le DG du COMES récemment nommé.

[2074] Lettre de Guy Lefrançois, DG du COMES à M. Pecqueur, Administrateur général du CEA, 22 octobre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 6.
[2075] *Ibid*., p. 1.
[2076] Ibid., p. 2.
[2077] *Ibid*.
[2078] *Ibid*.

Le 25 février 1980, une réunion de déroule à Institut Français de l'Energie (IFE), pour discuter de la transformation d'un département de l'IFE, en une société anonyme, Transenerg, dont la mission serait d'exécuter des études technicoéconomiques de planification énergétique pour les gouvernements des pays du tiers-monde[2079]. Il s'agit donc d'une activité de conseil et d'ingénierie économique et financière dont l'objectif est d'orienter les politiques de l'énergie des pays pauvres, d'abord dans le sens des directives des organisations financières internationales, puis dans ceux des intérêts de la France et de ses entreprises (qui se doivent d'être les mêmes)[2080]. Les institutions qui s'engageraient dans le fonctionnement de Transenerg sont l'IFE, le Bureau d'Études Industrielles et de Coopération de l'Institut du Pétrole (BEICIP), le COMES, trois banques (la BNP, la Société Générale et la BFCE) et six organismes techniques couvrants les secteurs de l'électricité, du gaz, du charbon, des énergies nouvelles et du nucléaire (la question est posée d'ouvrir le capital au privé et pas seulement aux entreprises de l'énergie nationalisées). Le projet est soutenu par la DGEMP, présente à cette réunion, tout comme le sont Henry Durand, le Président du COMES, la DAFECO de l'EDF, le CEA et les Charbonnage de France. Les recettes potentielles de Transenerg proviendraient des prêts que la BM, le PNUD, la Banque Asiatique de Développement et l'aide bilatérale française accordent spécifiquement aux gouvernements des pays pauvres pour mettre en place des schémas directeurs de l'énergie, globaux et sous-sectoriels[2081]. Pour exécuter ces études-conseils à partir de 1981, Transenerg sous-traiterait, pour partie, à des experts sectoriels[2082]. En décembre 1980, le texte de la communication que le gouvernement français va présenter lors de la Conférence des Nations Unies sur les Sources d'Énergies Nouvelles et Renouvelables (CNUSENR) de Nairobi en août 1981 est formalisée par le COMES sous la direction de M. Desprairies, Président de l'IFP[2083]. Transenerg y est présentée aux bailleurs internationaux[2084]. En effet, la SSI intègre à son offre de

[2079] IFE, « Compte-rendu de la réunion du 25 février 1980 : Transenerg », Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 249.
[2080] Transenerg, IFE, « Note sur Transenerg », 25 février 1980, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 249. Ce document présente en détail le contenu des travaux de planification énergétique (définition et déroulement des phases) que les organismes internationaux ont prévus de financer.
[2081] Transenerg, « Réflexions du groupe de travail », 20 mars 1980, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 249.
[2082] *Ibid*.
[2083] République française, *Les énergies nouvelles et renouvelables, leur contribution à la croissance et au développement*, Communication du gouvernement français, décembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2084] *Ibid*., pp. 19-20.

coopération technique le volet sous-sectoriel ENR, donc solaire, de la planification énergétique. Pour renforcer sa présence auprès des gouvernements étrangers et des organisations internationales afin « d'exercer une plus grande influence sur les choix énergétiques à travers le monde », en juin 1981, le nouveau gouvernement socialiste donne pour mission aux représentants de la France à l'étranger de promouvoir l'existence de Transenerg[2085].

C'est dans ce contexte (arbitrage en faveur du photovoltaïque, création d'instruments de captation de l'Aide publique au développement, normalisation de la relation COMES/CEA et disparition programmée de la SOFRETES) que différents acteurs du solaires (Leroy-Somer-Pompes Guinard, ELF, CGE, CEA, COMES) et du financement de l'innovation (IDI) ont quasi-simultanément l'idée, au cours de l'année 1980, de proposer la création d'une seconde entreprise, une société « S », complémentaire de Transenerg, qui serait opérationnelle dans le sous-secteur des ENR et notamment le solaire. Les différents projets entrent en concurrence, voire en conflit et la SOFRETES en paye le prix fort.

Henry Durand, le Président du COMES, qui fait partie du tour de table à Transenerg, envisage dès le 8 septembre 1980 de créer une filiale opérationnelle du COMES, SOFRESOL, qui se verrait sous-traiter par Transenerg les dossiers solaires, alors que l'IDI travaille sur la question depuis le mois d'avril 1980 et que l'Élysée est au courant de son projet SOPROMES[2086]. Durand formalise son idée dans une note le 12 septembre 1980 afin de bien délimiter le champ d'action de « S » par rapport au COMES et aux industriels. « S » interviendrait uniquement comme consultant et expert pour des études de factabilité de programmes, d'architecture industrielle, d'études d'ingénierie et en tant qu'assistant des maîtres d'ouvrage[2087]. Le Président du COMES propose son idée au Conseil d'Administration du 19 septembre 1980, soit quelques jours avant la restructuration interne qui met en place une Direction Générale[2088]. Or, à partir de ce

[2085] Ministère des Relations Extérieures, « Transenerg », lettres aux ambassadeurs, 16 juin 1981, p. 4., Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 249.
[2086] IDI, « Solaire, projet SOPROMES, historique et situation actuelle », 2 février 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2087] Henry Durand, « Note sur la société ou structure « S » », 12 septembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2088] Le Président du COMES, « *Note à Monsieur le DG de l'Energie et des matières premières. Action internationale du COMES. Rôle de la SOFRETES* », 11 décembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.

moment-là, c'est Guy Lefrançois, DG du COMES, qui mène les négociations avec le CEA pour la normalisation de leurs relations, le fameux déjeuner du 9 octobre 1980 au cours duquel est évoqué la possibilité pour le COMES et le CEA de transformer la SOFRETES en une nouvelle entité « S ». Si l'idée semble reprendre celle de Durand et de l'IDI (nous reviendrons sur le projet de l'IDI), une différence majeure les oppose : la présence de la SOFRETES dans l'équation, car tous veulent la faire disparaître sauf le CEA qui souhaite la recycler pour la prolonger.

Lefrançois et le CEA poursuivent leurs négociations d'un protocole d'accord jusqu'au début de l'année 1981, période qui doit coïncider avec la signature d'une convention-cadre COMES/CEA définitive[2089]. Les parties examinent le maintien d'une base SOFRETES sur laquelle ériger « S » mais sans activité industrielle, l'usine de Montargis devant être vendue. Cependant, le Président du COMES entre en conflit avec son DG sur cette question.

En décembre 1980, Durand exprime à de Wissocq, DG de la DGEMP, son indignation quant à l'unilatéralisme du DG du COMES dans cette affaires et surtout son rejet de l'intégration du futur de la SOFRETES au projet « S »[2090]. Il dénonce une manœuvre du CEA pour prolonger l'existence de la SOFRETES. C'est effectivement le cas, mais les arguments avancés par Durand traduisent surtout son rejet brutal d'une entreprise, « il n'est même plus certain que le nom de SOFRETES ait encore quelque valeur » et d'une technique, « dont il est évident qu'elle a été peu fiable dans le passé, et dépassée aujourd'hui », auxquelles il s'oppose depuis longtemps[2091]. Il ajoute pour appuyer son évaluation négative des termes du projet négocié par le DG du COMES, qu'Elf refuse toute participation dans une structure dérivée de la SOFRETES. Durand se rapproche alors de l'IDI (*cf. supra* chapitre 2 et 5 sur l'Institut de Développement Industriel) est de son projet SOPROMES.

Le Président du COMES considère que son projet « S », qui mobiliserait le CEA, le COMES et Elf, est complémentaire de celui de l'IDI-Leroy-Somer-Les Pompes

[2089] Lettre de Lefrançois à Jacquard du 24 novembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 6 ; Lettre du DG du COMES à l'AG du CEA du 3 décembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 6 ; Lettre de Lefrançois à Jacquard du 12 décembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 6.
[2090] Le Président du COMES, « Note à Monsieur le DG de l'Energie et des matières premières. Action internationale du COMES. Rôle de la SOFRETES », 11 décembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2091] *Ibid*.

Guinard[2092]. Alors que « S » envisage de capter des financements internationaux, la SOPROMES s'occupe de financer la pénétration des industriels français du solaire en Afrique francophone. Durand propose d'étudier les modalités d' « une participation de sociétés strictement privées… Sous couvert de l'IDI », alors que cela n'est pas prévue au départ[2093].

Le DG de la DGEMP répond le lendemain à Durand pour tenter d'apaiser la situation tendue entre le COMES et le CEA sur la question SOFRETES[2094]. De Wissocq demande à Durand de bien vouloir attendre « l'achèvement de l'apurement des opérations passées et de la restructuration des activités de la SOFRETES » (*cf. supra* chapitre 5) pour être en mesure de définir clairement l'avenir de leurs relations. Nonobstant, il confirme qu'il est hors de question que l'entreprise poursuive ses activités industrielles et que le COMES s'engage auprès de la SOFRETES à l'heure actuelle. Les propositions d'une structure « S » du COMES et du CEA sont étudiées et commentées par la DGEMP qui essaye d'arbitrer pour identifier trois niveaux de responsabilités afin de dégager celui qui concernerait les éventuelles affaires de « S »[2095]. Premièrement, le COMES doit monopoliser la mission des contacts étatiques. Deuxièmement, les industriels du solaire ont la responsabilité exclusive des ventes (comprenons bien que la SOFRETES n'est plus sur le marché puisqu'elle n'est plus un industriel). Enfin, « S » persuade par ses consultations de la crédibilité des propositions des détenteurs de technologies. Pour cela, elle ne doit surtout pas se substituer aux industriels ni « s'allier avec des consortium industriels » car elle doit « offrir, pour ses prestations d'expertises et de consultance, une image d'indépendance et d'impartialité vis-à-vis des clients étrangers »[2096]. En bref, CEA-SOFRETES sont exclus des relations directes avec les décideurs pour les affaires solaires et interdits d'activités industrielles. En revanche, le rapprochement voulu par Durand du COMES et de l'IDI-Leroy-Somer-Elf dans le capital et l'administration de

[2092] Lettre du Président du COMES au DG de l'IDI du 15 décembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2093] *Ibid*.
[2094] DG de la DGEMP, « Note pour le Président du COMES : action internationale du COMES, rapports du COMES et de la SOFRETES », 18 décembre 1980, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2095] L'adjoint du DG de la DGEMP, « Structure « S » remarque sur les notes du COMES (5.I.81) et CEA (12 XII.80) », 28 janvier 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2096] *Ibid*.

« S » semble ne pas correspondre à la posture souhaitée par la DGEMP ou du moins avec « l'image » qu'elle doit se construire.

En février 1981, l'IDI fait le point sur l'historique, les avancées et les difficultés rencontrées par son projet SOPROMES[2097]. La CCCE, le FAC et le FED mettent en garde l'IDI lors de ses démarches préliminaires sur le lien trop visible de son projet avec des intérêts industriels prédéterminés tels ceux de Leroy-Somer-Les Pompes Guinard. Puisqu'il s'agit de répondre à des appels d'offre, il convient d'offrir des gages de neutralité. Elf (concurrent de Leroy-Somer avec Photowatt) ne souhaite pas non plus que les industriels soient associés au projet, « nous trouvions cette position plutôt étrange étant donnés les intérêts très importants d'Elf dans le domaine solaire, notamment en liaison avec la CGE »[2098]. L'IDI déplore surtout les dissentions internes au COMES entre la position de son Président, plutôt favorable à un rapprochement de « S » et de la SOPROMES, et celle de son DG trop influencé par le CEA qui exige que « le projet S reprenne toutes les activités solaires de sa filiale, la SOFRETES (40 personnes). En d'autres termes, le projet S ne pouvait être autre chose que la SOFRETES avec de nouveaux partenaires, et le CEA nous indiquait qu'il ferait ses meilleurs efforts pour qu'il en soit ainsi et pas autrement »[2099]. L'IDI précise que ce rôle d'ingénierie-ensemblier de la SOFRETES, doublé de la particularité de son offre technique sise dans la filière thermodynamique, « dont les applications ont un champs réduit », dérangent tous les partenaires (IDI, Leroy-Somer, Elf, FAC, CCCE, etc.). En réaction à ce bilan de l'IDI, le SAI du COMES en fournit une analyse critique approfondie au DG du COMES[2100]. Devin relève les faiblesses des arguments. La première étant que la filière photovoltaïque ne se prête pas du tout au transfert de technologie, au contraire il s'agit plutôt d'une nouvelle « dépendance technologique envers l'Occident. {…} En échange d'une dépendance d'approvisionnement vis-à-vis du fuel »[2101]. La seconde concerne la nature des tâches dévolues à « S » et leurs sources de financements correspondantes. Pour Devin, l'IDI ne reconnaît pas que cette société ne peut-être que subventionnée car elle ne gagnera jamais

[2097] IDI, « Solaire, projet SOPROMES, historique et situation actuelle », 2 février 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2098] *Ibid*., p. 3.
[2099] *Ibid*.
[2100] Bernard Devin, SAI du COMES, « Note pour Monsieur Lefrançois. Commentaires sur le projet SOPROMES. Document de l'IDI en date du 2.2.1981 », 3 mars 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2101] *Ibid*., p. 1.

d'argent, le marché des installations solaires n'existant pas, elle en fera donc économiser aux industriels en assurant leur promotion. Or, cette non-rentabilité du marché du solaire empêche les industriels de jouer par eux-mêmes le rôle d'ensemblier. C'est pourquoi pour Devin, la proposition du CEA n'est pas à écarter totalement. En effet, si « S » est un ensemblier subventionné, « dans le rôle politique que l'on veut faire jouer actuellement à l'énergie solaire », elle sera en mesure de répondre à des demandes, « un certain nombre de marchés, justement ceux qui seront l'expression de la politique française », là où les industriels ne le feraient pas[2102]. Il rappelle par ailleurs que M. Chavannes, le PDG de Leroy-Somer-Les pompes Guinard est non seulement le concurrent de la SOFRETES mais également administrateur de l'IDI (et futur ministre UDF *cf. supra* chapitre 5). Devin aborde également la place à accorder à la SOFRETES dans ce schéma[2103]. Il identifie clairement ce qui gêne chez la SOFRETES : « la compétence propre en thermodynamique, en système photovoltaïque et en petite hydraulique »[2104]. Cette activité de producteur pose problèmes aux autres industriels concurrents et contrarie l'idée d'une neutralité de la structure « S ». Mais pas plus que la présence d'Elf ou de Leroy-Somer.

Le DG de la DGEMP s'adresse au ministre de l'Industrie[2105] pour lui communiquer les termes du projet « S », ainsi que les controverses qu'il déclenche au sein de la relation COMES/CEA[2106]. De Wissocq propose au ministre un arbitrage clairement contre la position du CEA, et ajoute que « la création de liens privilégiés entre le COMES et la SOFRETES créerait de graves difficultés avec les autres industriels du secteur. Ainsi, par exemple, Photowatt, filiale photovoltaïque de CGE-SNEA ou Leroy-Somer Guinard comprendraient mal que le COMES prenne une participation chez un de leurs concurrents directs »[2107]. De Wissocq demande son agréement au ministre de

[2102] *Ibid*., p. 3.
[2103] Bernard Devin, SAI du COMES, « Note pour Monsieur Lefrançois. Structure S », 3 mars 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2104] *Ibid*., p. 3.
[2105] Se déroulent au même moment, à quelques mois des élections présidentielles, le 4 février 1981, les Assises du solaire à l'Assemblée nationale. André Giraud y présente la politique publique solaire de la France dont les orientations sont conformes à l'arbitrage de 1979. Ministère de l'Industrie, « Discours de Monsieur André Giraud, ministre de l'Industrie, aux Assises du Solaire », 4 février 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2106] Le DG de la DGEMP, « Note pour le ministre. Création d'une structure relai de prestations de service par le COMES et avenir de la SOFRETES », 13 février 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2107] *Ibid*., p. 3.

l'Industrie : « dans ce cas, une prise de participation du COMES au capital de SOFRETES est exclue et l'avenir de cette société devra être envisagé indépendamment de toute liaison privilégiée avec le COMES »[2108].

Fort de toutes ces analyses croisées (SOPROMES vue par l'IDI, posture du CEA et commentaires du SAI du COMES), le DG du COMES fait le point sur le télescopage des trois propositions à Jean-Claude Trichet, Conseiller technique du Président, en mars 1981 à la demande de celui-ci[2109]. Il suggère de fusionner le projet SOPROMES dans celui du COMES.

Une nouvelle étape est franchie dans la normalisation des relations COMES/CEA et sur la question de l'avenir de la SOFRETES quand De Wissocq, DG de la DGEMP et Commissaire du Gouvernement auprès du COMES, rend compte d'un nouvel arbitrage : il est décidé d'exclure la SOFRETES et la société « S » du protocole d'accord COMES/CEA[2110]. Cependant, les tensions suscitées autour du projet « S » restent vives. Les différentes parties ne s'accordent pas facilement et les restructurations de la SOFRETES se poursuivent allongeant l'agonie de l'entreprise (*cf. supra* chapitre 5). La CGE et Leroy-Somer « applaudissent au projet en voyant l'intérêt d'avoir un cheval de Troie de l'industrie française dans le monde international »[2111]. Cette posture des concurrents de la SOFRETES raisonne en contradiction avec le projet théorique d'une société « S » détachée d'intérêts particuliers, comme le COMES et la DGEMP aiment à le présenter depuis le départ (la question de la présence des pétroliers se pose tout autant puisque Photowatt regroupe la CGE et Elf). Après avoir écarté la SOFRETES, il ne reste en effet plus que les photovoltaïciens sur ce marché d'aide. Une nouvelle opposition surgit du côté du bureau d'étude SEMA (rappelons-nous de ses rapports d'évaluation des opérations de démonstration solaire au Sahel), le principal prestataire d'expertise ENR auprès des pouvoirs publics que nous avons déjà croisé à plusieurs reprises dans cette thèse. La SEMA perçoit négativement la présence d'un nouvel instrument de conseil sur le même marché[2112]. Enfin, Elf semble changer son fusil d'épaule et émet l'idée de se

[2108] *Ibid*.
[2109] Lettre du DG du COMES à Monsieur Trichet, Conseiller technique, Présidence de la République, « Projet SOPROMES », 12 mars 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2110] Lettre de Guy Lefrançois, DG du COMES, à l'AG du CEA, 17 mars 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20010454, carton 6.
[2111] Lettre du Président du COMES au DG de la DGEMP du 19 juin 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2112] *Ibid*.

retirer du projet considérant que sa nouvelle entité Elf/Solaire se suffirait à elle-même pour se placer à l'étranger[2113].

En novembre 1981, « S » devient le projet « INTERSOL ». Une réunion d'harmonisation se tient le 12 novembre 1981[2114]. Le CEA est isolé par les autres acteurs qui refusent sa proposition de fusionner INTERSOL et SOFRETES. Le CEA affirme que dans ces conditions la nouvelle SOFRETES concurrencera directement INTERSOL. Les positions se durcissent et amènent de nouvelles négociations qui proposent de confirmer la présence d'une nouvelle SOFRETES en aval des installations (activité de services suivi-maintenance) en échange d'une entrée du COMES au capital et de l'abandon par le CEA de toute velléité d'intervention en aval des industriels[2115]. L'autre difficulté toujours en suspens tient à la présence des pétroliers[2116] qui pourraient être intégrés au travers d'une société financière qui « serait un camouflage assez transparent »[2117]. En mars 1982, Henry Durand informe le ministre délégué auprès du ministre de l'Industrie chargé de l'Energie, Edmond Hervé (qui, rappelons-le, inaugure une station SOFRETES en Égypte en janvier), des dernières avancées du projet INTERSOL en ce qui concerne la répartition de son capital et ses liens avec SOFRETES et Transenerg[2118]. Cependant, le gouvernement prépare la création de l'AFME (en avril) et avec elle la dilution des orientations solaires dans la politique plus globale de maîtrise de l'énergie qui repose principalement sur son utilisation rationnelle (URE) et qui recentre le volet ENR sur une priorité accordée à la biomasse. C'est également le moment où la décision de la disparition définitive de la SOFRETES est prise (*cf. supra* chapitre 5). Le projet

[2113] *Ibid*.
[2114] Le Président du COMES, « Note sur le projet de création d'une société d'études dans le domaine des énergies renouvelables », 12 novembre 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35 ; COMES, « Projet INTERSOL. Compte-rendu de la réunion du 12 novembre 1981 », Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35 ; Le DG du COMES, « Compte-rendu de la réunion du 12 novembre 1981 sur INTERSOL », 17 novembre 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35 ; Le Président du COMES, « Compte-rendu de la réunion du 12 novembre 1981 sur INTERSOL », 19 novembre 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2115] Henry Durand, « Compte-rendu de la réunion INTERSOL du 27 janvier 1982 », 28 janvier 1982, Le DG du COMES, « Compte-rendu de la réunion du 12 novembre 1981 sur INTERSOL », 17 novembre 1981, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2116] La répartition provisoire du capital est : COMES 34 %, CEA 10 %, BEICIP 10 %, SNEA 10 %, TOTAL 10 %, IDI 12,5 %, CCCE 12,5 %, Transenerg 1%. *Ibid*., p. 3.
[2117] *Ibid*., p. 2
[2118] Lettre du Président du COMES à Monsieur le ministre délégué auprès du ministre de l'Industrie chargé de l'Energie, « Création d'une société d'études dans le domaine des énergies renouvelables », 2 mars 1982, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35. Le nouvel actionnariat se répartit comme suit : COMES 34 %, CEA 15 %, BEICIP 15 %, IDI 17,5 %, CCCE 17,5 %, Transenerg 1 %. Les pétroliers sont finalement écartés. *Ibid*., p.2.

INTERSOL se trouve donc à nouveau bloqué, il est suspendu par le gouvernement comme l'illustre très bien la demande du ministère de la Recherche et de la Technologie au COMES de revoir sa copie afin « de situer le projet dans un contexte plus vaste que l'énergie solaire »[2119]. Les rapports avec Transenerg et SOFRETES doivent donc être réévalués pour, avec cette dernière, envisager une fusion des activités de conseil d'INTERSOL avec celles de service qui devaient échoir à une nouvelle SOFRETES qui ne sera pas[2120].

Le CEA profite de cette opportunité de demande de fusion pour tenter une énième proposition de SSI sur « le noyau opérationnel » restant de la SOFRETES qui pourrait profiter du 3ème Programme FAC-AFME 1982 pour obtenir « une garantie partielle de ressources, en lui confiant un minimum d'affaires »[2121]. Le SAI de l'AFME, toujours dirigé par Devin, entreprend une analyse détaillée du bilan de la SOFRETES afin d'apporter des éléments de réponse à la Présidence de l'AFME pour qu'elle puisse se positionner vis-à-vis du CEA dans la nouvelle formule d'INTERSOL[2122]. La copie du Président[2123] du document confidentiel rédigé par Devin est annotée. Là où Devin reconnait le rôle de « pionnier » de la SOFRETES « ~~tant sur le plan technique, que sur le plan local où des équipes ont été formées et des antennes industrielles créées~~ », la phrase est barrée par le Président de l'AFME[2124]. C'est également le cas quand il précise que les installations SOFRETES ne sont pas prises en charge par les destinataires, « ~~pour des raisons variées qui ne sont pas toutes imputables à SOFRETES~~ »[2125]. Nonobstant ces remarques, Devin se dit peu favorable au maintien d'une filiale spécialisée dans les ENR au sein du groupe CEA sous la forme actuelle de SOFRETES. Il dresse un inventaire des

[2119] Ministère d'État, ministère de la Recherche et de la Technologie, Direction de la Politique Générale, M. Théry, à Henry Durand, 23 mars 1982, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2120] COMES, « INTERSOL, fusion des structures étude-conseil et service », 1er avril 1982, Archives nationales, COMES, répertoire 20050139, carton 35.
[2121] CEA, Délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles, « Pour une nouvelle entité », 3 juin 1982, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250, p. 4.
[2122] SAI de l'AFME, « Note de M. Pecqueur à M. Hervé en date du 22 juin 1982. Activité de SOFRETES dans l'énergie solaire », Confidentiel, 5 juillet 1982, copie de la Présidence, p. 4, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250.
[2123] Le Président de l'AFME est Michel Rolant, un proche de François Mitterrand, responsable confédéral de la CFDT. Lire la fiche de Rolant dans le Maitron : https://maitron.fr/spip.php?article174408. Voir également : LAPONCHE, Bernard, *op. cit*., 2015 ; WIEVIORKA Michel, TRINH Sylvaine, *Le modèle EDF*, La Découverte, 1989, notamment « Le contre-pouvoir de l'AFME », p. 17.
[2124] SAI de l'AFME, « Note de M. Pecqueur à M. Hervé en date du 22 juin 1982. Activité de SOFRETES dans l'énergie solaire », Confidentiel, 5 juillet 1982, copie de la Présidence, p. 1, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250.
[2125] *Ibid*.

actions à mener pour la liquider en insistant sur le fait que la nouvelle version d'INTERSOL impliquera le CEA, mais qu'elle ne reprendra « ni le patrimoine d'installation en cours, ni le savoir-faire technique » de la SOFRETES, en revanche des transferts d'agents sont envisageables[2126].

Le Conseil d'Administration de l'AFME du 30 septembre 1982 annonce que pour remplir sa mission à l'étranger de « fonction politique de contact et de définition des choix de programmes », l'agence a besoin « d'opérateurs spécialisés »[2127]. C'est pour cette raison que l'AFME entre au capital de Transenerg (pour les études globales) et de la Société Française pour la Maîtrise de l'Energie, la SOFRAME (pour les études sectorielles URE-ENR), le nouveau nom d'INTERSOL[2128]. Le rôle de la SOFRAME et l'organisation de son capital sont précisés au Conseil d'Administration du 16 décembre 1982[2129]. Le CEA disparaît du projet et il est proposé dans un premier temps que la SOFRAME s'occupe d'assurer le suivi d'une partie des opérations de la SOFRETES en cours pendant la disparition de l'entreprise[2130]. Un budget de 5 MF est requis. Finalement, le devenir des affaires de la SOFRETES est réglé en dehors de la mission de la SOFRAME (par un accord entre le Président de l'AFME et l'AG du CEA[2131]) qui peut dès lors bénéficier directement du reliquat des 5 MF[2132]. Cependant, la SOFRAME ne parvient pas à être opérationnelle en raison de « multiples oppositions », notamment l'arrivée de personnel issu de la SOFRETES et mis à disposition du SAI par le CEA qui semble rendre la chose impossible « tant que cette équipe restera au sein de l'AFME »[2133]. La SOFRAME disparaît en janvier 1984 « au profit d'un élargissement vers l'aval du

[2126] *Ibid*. Annexe « Évolution SOFRETES. Lignes directrices ».
[2127] Conseil d'administration de l'AFME du 30 septembre 1982, p. 19, Archives nationales, répertoire 19940249, carton 1 ; SAI de l'AFME, « Les orientations de l'action internationale », 20 septembre 1982, p. 17, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230.
[2128] *Ibid*., pp. 19-20.
[2129] Conseil d'administration de l'AFME du 30 septembre 1982, point 10 de l'ordre du jour « création de la SOFRAME », Archives nationales, répertoire 19940249, carton 1. L'actionnariat proposé est le suivant : AFME 51%, CCCE et Caisse des dépôts et des consignations 15% chacune, grandes banques nationales et Crédit coopératif pour un total de 19%.
[2130] *Ibid*.
[2131] *Cf. supra* chapitre 5 et chapitre 6 point 4 pour l'étude du règlement des dernières affaires en cours de la SOFRETES.
[2132] Michel Rolant, Président de l'AFME, « Projet de lettre au DG de la CDC et de la CCCE », 20 décembre 1982, Archives nationales, répertoire 19940249, carton 1.
[2133] SAI de l'AFME, Rapport d'activité 1983, Commentaire sur le budget 1984, Projet SOFRAME, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230.

champ d'activité de Transenerg » au moment exact de la liquidation administrative de la SOFRETES prononcée le 1er janvier 1984[2134].

Le projet « S » prolonge le conflit COMES/CEA à l'AFME. Il permet au gouvernement, à la DGEMP et à l'administration de mission d'en contrôler l'issue. La disparition de « S », concomitante à celle de la SOFRETES, emporte avec elle les dernières tentatives du CEA de sauvegarder les acquis de l'expérience SOFRETES. Le processus de négociations produit *in fine* de l'oubli d'une proposition sociotechnique.

Le processus d'irrécupérabilité que nous déconstruisons depuis le début de cette thèse est quasiment complet. Il ne reste qu'à régler le sort des derniers chantiers SOFRETES pour refermer le dossier.

4. De rouille et de sable

Comme explicité au chapitre 5, en mai 1982, la liquidation de la SOFRETES est arrêtée et le CEA étudie, en concertation avec l'AFME, les options possibles pour trouver une issue aux dossiers SOFRETES en cours. Le cas particulier de la centrale de Ryad a déjà été évoqué (versement d'un dédommagement), comme ceux de Diré[2135] et de Bakel (abandon pur et simple). Ainsi, en décembre 1982, l'accord-cadre AFME-CEA est signé et simultanément un groupe de travail AFME-CEA est créé pour examiner les contrats SOFRETES qui posent encore des problèmes et suggérer des solutions. La plupart des installations sont à cette date sous la responsabilité de leurs utilisateurs, c'est-à-dire qu'elles périclitent ou sont déjà abandonnées. Les dernières petites unités de pompage à être installées sont des installations photovoltaïques[2136]. Les dossiers en suspens les plus

[2134] *Ibid*.

[2135] Le site de la centrale de Diré est aujourd'hui en ruine. Seule la suprastructure des installations émerge des sables. Les matériaux des capteurs ainsi que la machinerie ont disparu, vraisemblablement recyclés par les populations. Le site fait l'objet d'une redécouverte par de jeunes Maliens, notamment via un travail associatif entre des Maliens de la diaspora française et le Mali. Daouda Maïga a réalisé un témoignage photographique (2014) et vidéographique (2017) sur place, consultables en ligne : https://fr.slideshare.net/daoudamaiga750/centrale-solaire-de-dir-au-mali;
https://www.youtube.com/watch?v=PLTZtyIW_3M&feature=emb_logo ;
https://www.youtube.com/watch?v=xbWsnUHP2ME&feature =emb_logo

[2136] Par exemple au Sénégal à Coubanao (conservation du poisson en chambre froide solaire), à Montrolland et à Tiangaye ; au Mali à Kolokani (2 pompes) ; en Haute-Volta à l'EIER ainsi que 3 nouvelles pompes dont une avec des modules Photowatt. SAI du COMES, Compte-rendu de réunion SOFRETES à Cadarache entre le CEA et le COMES du 23 février 1982, pochette « SOFRETES 1981-1983 », Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250.

importants sont donc ceux des quelques opérations de stations mixtes de force motrice qui n'ont pas encore trouvé d'issue, soit qu'elles sont inachevées, soit qu'elles sont en panne, ou bien qu'elles ne sont pas encore réceptionnées par le client. Il s'agit donc de machines thermodynamiques basse température.

En juillet 1982, le SAI de l'AFME propose une série d'actions pour accompagner la disparition de la SOFRETES[2137]. Premièrement, le CEA mène immédiatement un apurement du passif financier de la société. Deuxièmement, aucune nouvelle commande ne doit être prise afin d'arrêter définitivement l'activité commerciale. Troisièmement, la planification d'un programme transitoire qui prévoit la valorisation du capital humain au sein du CEA, de l'AFME et de « S », ainsi que la cessation totale de toutes les activités de la SOFRETES. Pour ce faire, les affaires en cours doivent être classées en trois catégories : A, B et C. En A, « les affaires à terminer selon le schéma d'origine (thermodynamique) pour des raisons d'usages, ou scientifique ou politique » nécessitent un engagement ferme du client sur sa prise en charge du matériel, c'est-à-dire des frais d'usage et de maintenance[2138]. Sinon, l'installation doit être classée en « C ». En B, « les affaires à rénover techniquement en raison de leur utilité évidente » sont remplacées par des systèmes photovoltaïques (donc par des industriels concurrents)[2139]. En C, les « affaires à abandonner avec démontage des installations » font l'objet de négociations avec les gouvernements clients, et avec les autres partenaires au sein des programmes d'aide public au développement qui les ont financées, pour trouver des solutions amiables[2140]. Pour finir, le SAI de l'AFME pose enfin la question cruciale du « savoir-faire industriel négociable »[2141]. Il s'agit de décider quoi faire de la technique thermodynamique solaire à basse température détenue par la SOFRETES. L'entreprise disparaît mais pas forcément la technique. Or, dans ce cas précis c'est justement ce qui survient. Trois *scénarii* sont envisagés.

[2137] SAI de l'AFME, « Note de M. Pecqueur à M. Hervé en date du 22 juin 1982. Activité de SOFRETES dans l'énergie solaire », Confidentiel, 5 juillet 1982, copie de la Présidence, Annexe « Évolution de la SOFRETES. Lignes directrices », Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250.
[2138] *Ibid*.
[2139] *Ibid.*
[2140] *Ibid.*
[2141] *Ibid.*

Le CEA rachète le savoir-faire. Cette version nécessite que le CEA transfère vers d'autres filiales certaines technologies. C'est d'ailleurs ce qu'il fait avec la technologie qui lui appartient pour partie (*cf. supra* chapitres 5 et 6). Les droits d'exploitation (brevets) sont vendus « au secteur industriel français correspondant ». Dans ce deuxième cas de figure, qui implique un redémarrage industriel de la même proposition sociotechnique par un concurrent, il n'est pas précisé de qui il s'agit dans le secteur : la CGE ? (Mais elle possède déjà cette technique, *cf. supra* chapitre 5), EDF ? Bertin, le partenaire dans la centrale Corse ? Le CETHEL, engagé dans Thémis aux côtés de l'EDF et du CNRS ? Leroy-Somer-Les pompes Guinard ? Etc. D'ailleurs, à proprement parlé, le secteur n'existe pas. Enfin, la troisième solution consiste à abandonner les brevets en cas de non-rachat. A terme, ils tombent alors dans le domaine public. Étrangement, c'est en les abandonnant à tout le monde que personne ne peut réactiver la promesse de filière thermodynamique solaire basse température, puisque seul l'État peut décider de le faire comme nous le prouve bien l'expérience SOFRETES. En laissant aller les brevets et les savoir-faire industriels de la SOFRETES, la proposition sociotechnique se retrouve à son point de départ : un industriel du type de Girardier peut recommencer l'aventure avec sa PME, mais il faut rejouer toute la partition. Pourtant, dans cette note d'orientation, Bernard Devin insiste sur l'attention particulière qui devrait être portée aux « techniques thermodynamiques basse température en liaison avec leur intérêt pour la géothermie et la récupération des rejets industriels »[2142]. Un choix qui n'est pas fait[2143].

Le SAI de l'AFME procède ensuite à une étude approfondie de la situation de tous les projets SOFRETES en les différentiant selon l'origine des financements : ceux dans lesquels le COMES-AFME est directement impliqué, ceux qui sont intégrés au programme FAC et les autres (voir le tableau des installations p. 346)[2144]. Ce recensement permet de les classer dans les trois catégories proposées précédemment, ainsi que de

[2142] *Ibid*.
[2143] La récupération et la valorisation des rejets thermiques de l'industrie est pourtant une préoccupation récurrente des Pouvoirs Publics depuis les années 1970 comme l'analyse Antoine Fontaine dans le cas des projets de valorisation des rejets thermiques de l'industrie nucléaire en Rhône-Alpes. FONTAINE, Antoine, « De la source à la ressource. Territoires, héritages et coopération autour de la valorisation de l'énergie solaire en Rhône-Alpes », thèse de doctorat en géographie, sous la direction de LABUSSIERE Olivier, NADAI Alain, SOUBEYRAN Olivier, Université Grenoble Alpes, 2018, « Section 1 : Les projets de valorisation des rejets thermiques de l'industrie nucléaire en Rhône-Alpes (1977-1985) », pp. 129-144 ; lire également FONTAINE Antoine, ROCHER Laurence, « Géographie de la chaleur. L'énergie de récupération comme ressource territoriale », *Erès Espaces et sociétés*, n°182, 2020/3, pp. 113-129.
[2144] SAI de l'AFME, « Situations des projets SOFRETES au 12 juillet 1982 », Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250.

dresser le bilan financier pour chaque opération. Cependant, bien que l'objectif soit la liquidation de l'entreprise et la continuité d'activité de la politique de coopération de la France en matière d'ENR et d'URE, ce qui demande d'assurer le suivi des anciennes opérations SOFRETES afin que leur issue ne soit pas défavorable à la poursuite de la relation bilatérale, le bilan des expérimentations de la SOFRETES dans le photovoltaïque est plutôt favorable. La diversification de l'entreprise dans la fabrication de pompes (Irrisol et Forasol, *cf. supra* chapitre 4), et d'éléments des modules assemblés aux cellules construits par d'autres, apporte des améliorations potentiellement généralisables à toute la filière. C'est par exemple le cas d'un adaptateur d'impédance prototypique du CNES que la SOFRETES met en place à Montrolland, puis que le CEA modifie pour les installations de Kanel, Diola et Kolokani[2145]. Or, cet élément du dispositif est fondamental, en ce qu'il permet de faire fonctionner différentes applications (compresseur et pompes par exemple) sur le générateur photovoltaïque quelques soient les caractéristiques électriques de la charge (qui n'est en effet pas toujours compatible). De plus, cet instrument est particulièrement bien adapté aux pompes volumiques qui ont un meilleur rendement que les centrifuges utilisées par la concurrence comme les Pompes Guinard (*cf. supra* chapitre 4). Paradoxalement, les MGS 2-1000 qui sont remplacés par des dispositifs photovoltaïques le sont plutôt par ceux de la concurrence.

Le 6 décembre 1982, Michel Rolant, le Président de l'AFME, propose à Michel Pecqueur, l'AG du CEA, de lancer la création du groupe de travail AFME-CEA pour répondre à la demande du ministre chargé de l'Energie, Edmond Hervé, de régler les affaires de la SOFRETES « sous le triple aspect des installations existantes, du savoir-faire industriel et des équipes »[2146]. Rolant propose que Bernard Devin, le Chef du SAI de l'AFME (finalement ce sera Christian Bompard) et Max Clémot, le chargé d'affaires internationales de la SOFRETES détaché du CEA, travaille à temps plein sur cette mission. Le Directeur délégué à l'Innovation et Valorisation Industrielles du CEA accepte par courrier le 9 décembre 1982 la proposition de Roland et lui indique les quatre affaires

[2145] Lettre de la Direction de la SOFRETES à l'AFME du 31 août 1982, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250.
[2146] Lettre du Président de l'AFME à l'AG du CEA du 6 décembre 1982, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250. Le ministre chargé de l'Energie adresse une lettre à l'AG du CEA le 4 novembre 1982.

qui posent le plus de problèmes : Bakel, Vignola, Diakahao et El Hamrawein[2147]. Le groupe de travail ainsi établi mène ses investigations jusqu'en février 1983 avec en ligne de mire l'objectif de proposer à leur tutelle gouvernementale un « éventail de solutions techniques et financières, sans oublier les incidences politiques »[2148]. Leurs conclusions sont rendues dans un rapport daté du 28 février 1983[2149].

L'étude est divisée en deux parties. Dans la première, des solutions sont proposées pour les quatre installations dont la SOFRETES est le maître d'œuvre et le fournisseur. La seconde passe en revue toutes les opérations traitées par la SOFRETES et un état de leur situation est établi avec éventuellement les suites à donner pour 1983/1984 (nous avons intégré ces informations à notre tableau de synthèse des installations SOFRETES ; *cf.* tableau des installations p. 346). Parmi les quatre affaires les plus délicates, seule la centrale de Vignola implique directement l'AFME en tant que maître d'ouvrage. A Diakhao il s'agit de la SENELEC, à Bakel de l'État sénégalais (contrat de réalisation Sénégal/FAC/US.AID) et à El Hamrawein en Égypte de l'EEA, l'électricien national (contrat de réalisation entre CEA/SOFRETES/AEE dans le cadre d'un accord intergouvernemental de coopération).

En guise de préambule, le groupe de travail décide de clarifier les conditions dans lesquelles leur mission se déroule, car les agents de l'AFME et du CEA impliqués considèrent que les objectifs des différentes parties prenantes ne sont pas vraiment compatibles, ce qui complexifie l'issu de chaque dossier :

> Le CEA pense que l'AFME doit jouer un rôle prépondérant, apporter son appui et sa contribution sans que le mot « financier » soit explicitement utilisé. Le ministre pense que l'AFME ne doit pas prendre en charge le passif passé et futur de la SOFRETES. L'AFME exprime son accord uniquement pour étudier les dossiers.[2150]

Nonobstant ces précautions liminaires, le groupe donne ses avis circonstanciés sur les difficultés rencontrées, les responsabilités des acteurs engagés et les solutions envisageables pour chacun des quatre dossiers.

[2147] Lettre du Directeur délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles du CEA au Président de l'AFME du 9 décembre 1982, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250.
[2148] Groupe de travail CEA/AFME, « Évolution de SOFRETES », 18 février 1983, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250. Ce document dresse un bilan intermédiaire de l'avancée des investigations du groupe de travail.
[2149] Groupe de travail CEA/AFME, Rapport du 28 février 1983, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250 et archives privées fonds BCD (CEA).
[2150] *Ibid*. Le document n'est pas paginé.

Le cas de la centrale de Vignola est particulier en ce que l'opération se déroule sur le territoire national, qu'il s'agit d'une technologie de moyenne puissance à concentration (CEA-Bertin), que l'EDF est impliquée en vue de la connexion au réseau et que l'AFME est le maître d'ouvrage (*cf. supra* chapitre 4). La responsabilité de Bertin est qualifiée de « très lourde et explique, pour l'essentiel, le grand retard »[2151]. Le montage financier pour achever la station prévoit un partage des coûts entre SOFRETES-CEA et l'AFME. La centrale est démarrée fin 1983 et abandonnée en 1986, comme Thémis (*cf. supra* chapitre 4).

La centrale de Diakhao est terminée mais la SENELEC demande « une mise en conformité de la station avec le Cahier des charges »[2152]. Le marché initial, passé en 1979, s'élève à 5.735.240 FF. En 1983, la SENELEC a réglé la moitié de la somme. La centrale est mise en route le 4 décembre 1981, mais des défaillances sur « certains composants électroniques de la régulation du chargeur de batteries et de la génératrice » (éléments qui ne sont pas du ressort direct de la SOFRETES) repoussent la réception qui est prononcée provisoirement le 16 décembre 1982 avec des réserves : « la SENELEC constate une usure anormale du moteur » d'Alsthom-Atlantique (*cf. supra* chapitre 4 et 5) et « les performances de la centrale sont égales à 50 % de celles prévues ».[2153] Contractuellement, si la mise en conformité n'est pas faite, la SENELEC met au rebu la station, ne verse pas les sommes dues et peut exiger le remboursement des montants déjà versés. Pour le groupe de travail AFME-CEA, l'objectif n'est pas la mise en conformité mais uniquement de porter la capacité journalière de la station à 70 % afin de limiter les pénalités (10% seulement), et d'encaisser le restant dû. Si l'avenir du solaire français au Sénégal réside plutôt dans la centrale Photowatt de Niaga-Wolof, à court terme une solution négociée à Diakhao doit conforter l'image de marque de l'industrie solaire française en général. En bref, il s'agit de ne pas perdre la face avec une installation thermodynamique déjà en place qui doit être *a minima* partiellement fonctionnelle afin d'assurer la continuité de la relation solaire franco-sénégalaise réorientée dans la filière photovoltaïque. La même posture est appliquée aux deux autres affaires.

La centrale de Bakel est abandonnée. Une étude destinée au gouvernement sénégalais pour le justifier doit être menée par la SOFRETES et garantie par le CEA.

[2151] *Ibid*.
[2152] *Ibid.* p. 3 de la section « Centrale de Diakhao – Sénégal ».
[2153] *Ibid*., p. 1 de la section « Centrale de Diakhao – Sénégal ».

Nous avons vu au chapitre 5 que la réception de cette étude déclenche un conflit entre le CEA-SOFRETES-SINAES (filiale de la SOFRETES au Sénégal) et l'AFME-MRE qui les recadre afin que les termes de l'évaluation mènent bien à l'abandon définitif de la trajectoire thermodynamique basse température.

Enfin, l'affaire de la centrale de dessalement d'El Hamrawein sur la Mer Rouge, inaugurée par le ministre français chargé de l'Energie le 17 janvier 1982, pose directement la question de la solution de remplacement photovoltaïque, « ce choix pouvant être éventuellement un choix politique de développement d'une filière »[2154]. L'analyse de l'historique du projet depuis 1977 révèle les nombreux manquements de la partie égyptienne (déroulé d'un contrat complexe, manque de moyens et de personnel, non-respect des engagements et des délais, problèmes administratifs, etc.) qui expliquent l'énorme retard du chantier jusqu'en 1982. La station est mise en route en mars 1981, mais la réception n'est pas prononcée en raison d'un défaut d'automatisme qui n'est pas prévu dans le contrat initial[2155]. La centrale est arrêtée pendant une année en raison de la corrosion du condenseur qui est changé, mais la pause prolongée conduit à la mise hors d'usage de l'ensemble de la boucle thermodynamique dont les soudures sont de mauvaise qualité. En août 1982, une mission d'expertise CEA-SOFRETES conclut au parfait état des capteurs et de l'unité d'osmose inverse, mais à la nécessité de changer la boucle thermodynamique. Les autorités égyptiennes sont consultées sur la fourniture d'un nouveau système opérationnel de remplacement et « à cette occasion l'EEA a confirmé sa volonté de voir une solution solaire au problème de dessalement d'eau saumâtre d'El Hamrawein, en indiquant sa préférence *a priori* pour une solution utilisant la filière thermodynamique sans rejeter catégoriquement la possibilité d'utiliser la filière photovoltaïque »[2156]. Il est demandé à la SOFRETES de préparer un document d'aide à la décision afin de mener une analyse « minirisque » entre une solution de remplacement thermodynamique et une solution photovoltaïque (qui n'existe pas en l'état, Photowatt

[2154] *Ibid*., p. 1 de la section « El Hamrawin (Egypte) ».
[2155] SOFRETES, « Centrale solaire d'El Hamrawein. Comparaison entre générateur thermodynamique et photovoltaïque », 2 mars 1983, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250.
[2156] Groupe de travail CEA/AFME, Rapport du 28 février 1983, p. 4 de la section « El Hamrawin (Égypte) », Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250 et archives privées fonds BCD (CEA).

serait alors chargée de la concevoir[2157]), sachant que la première est moins chère (2.205.500 FF contre 3.140.00 FF) et de deux mois plus longue (18 mois contre 16 mois)[2158]. Pour la SOFRETES, la fiabilité et l'adaptation au site du dispositif photovoltaïque n'est pas non-plus certaine car : « la présence obligatoire dans ce système d'un parc de batteries et d'un régulateur électronique conduit à penser qu'il n'aura pas une fiabilité supérieure à une solution thermodynamique. L'importante poussière provenant de la mine de phosphate du site aura sur le rendement du générateur photovoltaïque une incidence beaucoup plus néfaste que sur un générateur thermomécanique. »[2159] Selon le rapport du groupe de travail AFME-CEA, le principal critère qui devrait être retenu pour départager les solutions ne doit pas être forcément le prix, ni la préférence des Égyptiens mais : « la fiabilité et la qualité du Maître d'œuvre de ce nouveau projet (ingénierie et cahier des charges) et celles de l'industriel fournissant les équipements thermodynamiques ou photovoltaïques pourraient être les critères de choix. »[2160] Une remarque qui oriente plutôt la décision vers la solution photovoltaïque (l'AFME prendrait alors en charge l'achat des panneaux), puisque la SOFRETES qui est en cours de liquidation ne présente pas les meilleures garanties pour un maître d'œuvre.

L'étape suivante de la relation AFME/CEA consiste à se mettre d'accord sur un « schéma d'un protocole d'accord entre le CEA et l'AFME pour le règlement de SOFRETES » dans lequel le CEA s'engage à cesser les activités de SOFRETES et à maintenir sur le site de Cadarache (où la SOFRETES a été transférée) une équipe opérationnelle du CEA destinée à achever les affaires en cours conformément aux recommandations de l'évaluation du groupe de travail AFME-CEA[2161]. Un compte-rendu de visites de l'AFME à Cadarache fait état des problèmes d'un personnel issu de SOFRETES trop nombreux par rapport aux besoins et d'un grand manque de motivation des cadres qui espèrent être affectés à d'autres missions au sein du CEA[2162]. Le document précise que si aucune structure autonome particulière n'est envisagée pour assurer le suivi

[2157] SOFRETES, « Centrale solaire d'El Hamrawein. Comparaison entre générateur thermodynamique et photovoltaïque », 2 mars 1983, non paginé, section « 4. Solution photovoltaïque, 4.2 conception », Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250.
[2158] *Ibid*., pp. 7-8.
[2159] *Ibid*., section « 4.4 Fiabilité et adaptation au site ».
[2160] *Ibid*., p. 8.
[2161] Michel Roland, Président de l'AFME, *Schéma d'un protocole d'accord entre le CEA et l'AFME pour le règlement de SOFRETES*, 9 mars 1983, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250.
[2162] AFME, Christian Bompard, « Compte-rendu de mission », 18 mars 1983, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250.

des dernières opérations, comme c'est le cas puisqu'elles sont intégrées à l'accord-cadre CEA-AFME, il est peu probable que les objectifs soient atteints[2163]. En effet, les objectifs du CEA et de l'AFME sont toujours difficilement compatibles : « le CEA veut arrêter la SOFRETES à moindre coût, avec l'appui de l'AFME pour les quatre projets. L'AFME envisage d'apporter une participation en contrepartie de quoi elle doit obtenir le maintien d'une équipe opérationnelle. »[2164]

L'accord-cadre CEA-AFME est pourtant signé le 14 juin 1983[2165]. Nonobstant, les cas des stations de Diakhao et d'El Hamrawein ne trouvent pas de solutions rapides. Le CEA pousse toujours la solution thermodynamique pour El Hamrawein alors que l'AFME la rejette au profit du photovoltaïque[2166]. A la fin de l'année 1984, les affaires ne sont toujours réglées. Alors que le CEA semble enfin se ranger à une solution photovoltaïque avec Leroy Somer en Égypte, pour Diakhao il est envisagé d'abandonner toutes suites car la SENELEC ne semble pas remplir sa part du contrat :

> La station de Diakhao n'aurait pas été prise en charge ni occupée par SENELEC depuis plus d'un an. Il est vraisemblable que son état s'est à nouveau dégradé et je m'interroge sur l'opportunité de faire une mise de fonds sur cette affaire. Pour sa part, dans le contexte franco-sénégalais actuel, l'AFME serait favorable à une « conclusion en l'état » de Diakhao pouvant aller jusqu'au démontage d'un équipement qui ne suscite plus d'intérêt chez le client et ne bénéficie plus d'aucune dynamique industrielle.[2167]

En 1985, les négociations avec les Égyptiens s'étirent et l'AFME propose au CEA d'enclencher une procédure pour litige[2168]. Concernant la station de Diakhao, l'AFME se dit favorable au démontage tout en autorisant la SENELEC à récupérer les éléments[2169].

[2163] *Ibid*.
[2164] AFME, Christian Bompard, « Discussion de l'accord-cadre CEA-AFME », non-daté, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 250.
[2165] Lettre de Michel Roland, Président de l'AFME à Renon, AG du CEA, du 26 novembre 1984, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245.
[2166] Lettre de Bernard Devin du SAI de l'AFME au Président, Michel Rolant, du 7 janvier 1984, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245 ; CEN de Cadarache, Division d'étude et de développement des réacteurs, Département des réacteurs à eau, Service d'études énergétiques, « Programme pluriannuel 1984-1986 du Groupement pour les essais de pilotes énergétique de Cadarache. Programme 1984 de Recherche et d'Essais », novembre 1983, p. 8, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245
[2167] Lettre du Directeur délégué à l'Innovation et à la Valorisation Industrielles du CEA à Michel Rolant du 22 novembre 1984, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245 ; Lettre de Michel Roland, Président de l'AFME, à Renon, AG du CEA, du 26 novembre 1984, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 245, pour la citation.
[2168] CEA, « Compte-rendu de la réunion du 28 février 1985 à Cadarache. Contrat AFME-CEA (Convention ATE 85) », p. 3, 23 avril 1985, Archives nationales, AFME, répertoire 19940245, carton 245.
[2169] *Ibid*., p. 6

En 1986, l'alimentation photovoltaïque de l'unité de dessalement d'El Hamrawein est finalement en cours de montage sous la responsabilité de Photowatt alors que la station SOFRETES de réfrigération d'Assouan est abandonnée depuis quatre ans par les Égyptiens « totalement désintéressés »[2170]. En 1987, l'administration de mission du gouvernement se désengage complètement de tout projet au Sénégal et en Égypte[2171]. Le rapport bilan des activités du SAI de l'AFME pour 1987 établit désormais trois solutions « techniquement fiables » pour des actions de coopération Nord-Sud : « électrification rurale par micro-hydraulique, pré-électrification par le photovoltaïque, énergie à la ferme (biomasse TRANSPAILLE). »[2172] La section Afrique du rapport précise les priorités d'action[2173]. D'abord les opérations d'utilisation rationnelle des énergies conventionnelles qui prolongent les usages du combustible fossile. Puis celles des applications photovoltaïques de pré-électrification rurale (éclairage, télévision, télécom) et de pompage, mais seulement d'hydraulique villageoise, pas d'irrigation. Enfin, le développement de la biomasse dans des projets agricoles.

La chaleur du soleil d'Afrique est devenue irrécupérable. Les carcasses des installations de la SOFRETES rouillent et disparaissent lentement sous les sables.

Conclusion chapitre 6

Les relations conflictuelles entre les deux systèmes d'acteurs CEA-SOFRETES et COMES-CNRS-industriels du photovoltaïque (CGE-Elf-Leroy-Somer) semblent faire apparaître deux régimes technopolitiques (*cf. supra* introduction générale). La SOFRETES et ses convertisseurs thermodynamiques des faibles gradients de températures naturelles et industrielles sont écartés des possibles et des instruments du CEA au profit d'un autre groupe d'intérêts ; ce qui permet de prolonger les opérations solaires de politique étrangère mais avec des objets techniques aux caractéristiques socio-politiques bien différentes. Dit autrement, le conflit impacte l'avenir d'une possible filière

[2170] AFME, « Convention cadre AFME-CEA, ATE 86 », fiche « Égypte », novembre 1986, Archives nationales, AFME, répertoire 19940245, carton 245.
[2171] CEA, « Compte-rendu de la réunion CEA/AFME du 12 février 1987 à l'AFME. Contrat international ATE 1987 », 23 février 1987, p. 4., Archives nationales, AFME, répertoire 19940245, carton 245.
[2172] SAI de l'AFME, Bernard Devin, « Action internationale. Domaines d'intervention actuels », 12 août 1987, p.2, Archives nationales, AFME, répertoire 19940249, carton 230.
[2173] *Ibid*., section 1.3.1.

thermodynamique à basse température, mais la nature technopolitique des opérations solaires à l'étranger est inchangée, seuls les acteurs et les objets techniques changent. La volonté de faire disparaître la SOFRETES et son convertisseur dans ce conflit est confirmée par le fait que la société développe une proposition photovoltaïque. Or, si l'objectif n'était que celui de privilégier cette filière pour elle-même, il ne nécessiterait pas forcément la fin de l'entreprise la mieux implantée à l'étranger. D'autant plus que nous avons bien cerné au chapitre 5 que la CGE détient également la technologie thermodynamique basse température.

Le Président du COMES, Henry Durand, pèse sur l'arbitrage ministériel de 1979 là où le CEA échoue à faire entendre son point de vue. La politique publique solaire de la France écarte désormais les convertisseurs thermodynamiques de faibles gradients de températures naturelles et industrielles au profit d'une filière photovoltaïque progressivement confiée à CGE-Elf-RTC. Cette décision gouvernementale, qui choisit les propositions sociotechniques concurrentes, et qui impacte le marché d'aide publique au développement en ce sens, précipite le déclin de la SOFRETES et rend cohérente les forces centrifuges alors à l'œuvre au sein de l'entreprise et de ses affaires, notamment les actions néfastes de la CGE. Le conflit ne s'apaise pas pour autant.

Le projet « S » sert la normalisation des relations COMES/CEA en autorisant le règlement du conflit sur l'avenir de la SOFRETES à l'extérieur de la convention-cadre, qui elle s'attache à prolonger les orientations solaires qui doivent l'être, c'est-à-dire qui correspondent aux directives de la politique publique nationale en matière de R&D et d'opération de démonstration (photovoltaïque, biomasse, concentration). Le projet « S » fonctionne comme un espace de négociation restreint au temps court dans lequel doit disparaître la SOFRETES. Il joue le rôle de caisse de résonnance aux forces d'opposition à la SOFRETES qui rejettent méthodiquement tous les éléments existants de la trajectoire sociotechnique que le CEA essaye de prolonger dans une hypothétique nouvelle entité. *In fine*, avec l'abandon de son dernier avatar, « S » emporte avec elle dans l'oubli les derniers espoirs de certains agents du CEA de voir perdurer les objets et les savoir-faire de la SOFRETES. En ne cédant rien au CEA, et en écartant toute activité industrielle d'une possible intégration d'un reliquat de la SOFRETES à « S », ses concurrents détenteurs de technologie, le COMES-AFME et la DGEMP, trouvent là une modalité

d’application des directives gouvernementales dont les effets accompagnent la SOFRETES dans la tombe.

Enfin, ce qui reste des affaires étrangères de la SOFRETES en cours de sa liquidation est confiée à une énième confrontation AFME/CEA. Des solutions amiables sont trouvées, certaines installations sont modifiées en générateurs photovoltaïques par la concurrence, la plupart sont abandonnées.

La séquence décisionnelle que ce dernier chapitre déconstruit, à travers les étapes et les modalités d’un conflit, d’un arbitrage et d’une normalisation, éclaire les derniers déterminants du processus d’irrécupérabilité de la proposition sociotechnique d’une récupération des faibles gradients de températures naturelles et industrielles que la SOFRETES, entreprise d’État, met en application. Elle démontre l’implication du sommet de la hiérarchie politique et administrative dans cette affaire publique.

Conclusion de la partie III

Cette troisième et dernière partie caractérise les étapes et modalités du processus d'irrécupérabilité par lequel la SOFRETES et sa proposition sociotechnique disparaissent, sont ignorées et oubliées. Elle décrit la méthode employée par le gouvernement français et les leaders sectoriels des industries de l'énergie pour gouverner les acteurs et les objets qui récupèrent et convertissent la chaleur solaire dans les régions arides et pauvres au sein d'un système technique alternatif qui fonctionne selon des logiques inverses.

En l'espace de quelques années, l'entreprise d'État et ses objets techniques passent du statut d'instruments de séduction politique au service du rayonnement de la France (Partie II) à celui d'exclus de la politique publique solaire nationale (Partie III).

Les stratégies des différents actionnaires et partenaires de l'entreprise se combinent avec certaines décisions à l'échelon gouvernemental et les modalités de leur mise en application à l'échelon administratif afin de contrôler la SOFRETES et sa proposition sociotechnique.

Le système d'acteurs très complexe par lequel la SOFRETES et ses machines existent anime un espace de positions où s'expriment des forces centripètes, des forces centrifuges, des conflits institutionnels et interpersonnels, des arbitrages et leurs effets. Manipuler de l'intérieur et de l'extérieur, la société est soumise aux vents contraires qui la fissurent.

Une séquence d'actions dans le temps court est identifiée qui infléchit la politique publique solaire nationale en défaveur de la SOFRETES à partir de 1979, et ses modalités d'application organisent progressivement la cessation de ses activités et leur oubli dans une dynamique de normalisation des relations CEA/COMES-AFME.

Dans ce schéma compréhensif, l'administration de mission solaire (COMES puis AFME) et la DGEMP ne jouent pas uniquement le rôle d'exécutant, mais influence l'arbitrage ministériel en défaveur de la technique thermodynamique solaire basse température, défendue par certains agents du CEA qui ne parviennent pas à faire entendre leurs arguments. Les deux régimes technopoliques en conflit que nous avons mis en évidence au chapitre 6 s'apparentent à des coalitions de causes qui s'affrontent afin

d'influencer la décision politique, chacune étant structurée autour d'une proposition sociotechnique qu'un groupe d'experts légitime[2174].

Il est désormais parfaitement clair que l'histoire des convertisseurs thermodynamiques des faibles gradient de températures naturelles et industrielles de la SOFRETES est celle de l'existence politique d'une entreprise d'État et non celle d'une PME qui ne parvient pas à vendre un produit fiable sur un marché.

[2174] Nous renvoyons à l'introduction générale pour notre présentation de la notion de régime technopolitque ainsi qu'à l'introduction de la partie III pour celle de l'ACF.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

Désorienter l'analyse des relations entre l'État et l'énergie solaire

La science politique française n'a pas encore vraiment pris les relations entre l'État et les convertisseurs solaires pour objet. Les quelques travaux qui proposent une histoire de l'énergie solaire ou des énergies renouvelables en France n'envisagent pas les différentes dimensions de l'existence politique de la machine : ni du politique dans l'objet, ni de l'objet dans le politique. C'est pourquoi cette thèse souhaite ouvrir un nouveau champ de réflexion par l'analyse sociohistorique couplée de la machine et de l'action publique, notamment en matière de choix des solutions techniques solaires et de leur mise en œuvre, mais également en proposant de « désorienter » les approches habituelles qui questionnent la politique de l'énergie.

Le premier décalage que nous avons proposé est de s'intéresser à une PMI-PME provinciale du secteur traditionnel du pompage de l'eau et à sa proposition sociotechnique solaire disparue et ignorée. Il ne s'agissait pas d'étudier ce qui existe, mais ce qui n'existe pas/plus. Cela a pu sembler, du moins au départ, orienter l'analyse sur des acteurs, sur des lieux et sur des machines très périphériques en regard des éléments habituellement mis au centre de l'attention quand il s'agit de s'intéresser à la politique de l'énergie. C'est-à-dire observer au centre, à partir de l'offre, les techniques en usages et leurs grands acteurs industriels et administratifs. C'est-à-dire écrire une macro-histoire de la politique de l'énergie dans la course au progrès et à la puissance. Dans notre cas, écrire l'histoire d'une modeste entreprise, dont les traces sont minces, en relation avec un laboratoire africain de la banlieue de Dakar (le CERER existe toujours), et y trouver finalement enfouie une relation singulière entre l'État et un moteur solaire thermodynamique s'est révélé être plutôt déstabilisant. Car soudainement, l'analyse qui évolue aux marges du système politico-énergétique, se retrouve rabattue sur le centre décisionnel. Et au fond nous constatons qu'il n'y a pas de détour et que l'approche inductive très micro et sociohistorique de l'action publique se révèle payante. La SOFRETES et son impossible moteur solaire d'Afrique sont bien tout à la fois l'affaire d'une PMI familiale de Montargis, d'un laboratoire universitaire sénégalais, d'une entreprise minière coloniale, d'une oasis mauritanienne, de l'État français, de l'État mexicain, et bien plus encore des

pétroliers, des atomistes, des électromécaniciens, des motoristes, etc. Lorsque l'on découvre la place occupée par le CEA, aux commandes d'une PME qui vend une pompe solaire de 1 kW à un gouvernement étranger, comment peut-on benoitement penser que cette machine n'a pas d'intérêts (mais lesquels) et qu'elle ne fonctionne pas ? Mais tout cela est-il si surprenant ? L'eau n'est-elle pas l'esclave du feu[2175] comme l'écrit Alain Gras ?

> N'oublions pas que la première machine thermique véritable fut une pompe, la pompe de Newcomen. Ainsi fut fondée la nouvelle manière d'être au monde de cet élément liquide, sur lequel va jouer le développement technologique : l'eau devient servante du feu dans la machine à vapeur, qui sert à l'extraire elle-même des profondeurs souterraines. {…} De nos jours, l'eau s'est transformée en un bien industriel, et sa gestion est dévolue à des entreprises qui ont le monopole de la distribution. Les réseaux sont indispensables. {…} Pourtant, ce ne sont pas les réseaux en tant que tels qui sont énergivores, mais la mécanisation, puisque l'eau est fabriquée[2176].

Alors pourquoi ne pas inverser, pour partie, la logique initiale et mettre le feu du ciel au service de l'eau ? L'eau s'affranchit et avec elle les usagers ; ce pourrait-être un instrument de contestation. Dans ce cas, on comprend mieux pourquoi l'État et les acteurs du feu (le CEA, le maître du feu nucléaire ; la CFP-Total, le maître du feu fossile ; la CGE, le maître du feu électrique, etc.) s'y intéressent.

Notre deuxième décalage consiste à considérer que l'objet technique en général et la pompe solaire SOFRETES en particulier, possèdent des caractéristiques sociales et des potentiels politiques, puisque l'accès à l'énergie est une relation sociale, puisque l'énergie implique la domination et le rapport de force, puisque l'énergie est exercice du pouvoir, puisque les instruments techniques servent un dessein. Certes, la machine n'est pas neutre, et ce n'est pas une réalité nouvelle dans le champ des sciences sociales qui s'intéressent à la technique. Mais il faut aller plus loin en posant la question de la forme que prend la relation technopolitique au moteur solaire thermodynamique à basse température et à ses avatars lorsque des gouvernements s'en saisissent dans les années 1970. Car c'est bien de gouverner une sociotechnique contestataire dont il est en fait question. Oui, peut-être est-ce dans les potentiels politiques qu'offre la machine solaire SOFRETES que se loge sa capacité de subversion et la raison la plus profonde à sa disparition. Ne dérange-t-elle pas d'abord par l'ouverture à une souveraineté énergétique

[2175] GRAS, Alain, *op. cit*., 2007, p. 86.
[2176] *Ibid*., pp. 86-88.

et alimentaire alternative pour les populations rurales pauvres des régions arides isolées, par la perspective de plus de la justice sociale, plus de participation par le bas aux problèmes locaux et à la gestion de la ressource ? Bref, ne dérange-t-elle pas par l'idée du « soleil au service de l'homme »[2177], du soleil au service de citoyens en contexte ? Il s'agirait alors de grandes idées logées dans des détails.

Relisons le grand anthropologue de la nature Philippe Descola lorsqu'il raisonne sur la genèse du changement et les conditions requises pour qu'une technique nouvelle soit intégrée aux relations sociales dominantes :

> Toute technique est avant tout une relation médiate ou immédiate entre un agent intentionnel et de la matière inorganique ou vivante, y compris lui-même. Pour qu'une technique nouvelle apparaisse ou soit empruntée avec quelques chances de succès, il faut donc assurément qu'elle présente une utilité réelle ou imaginaire et qu'elle soit compatible avec les autres caractéristiques du système où elle prend place. {…} En ce sens, un choix technique suppose tout à la fois une reconfiguration d'éléments déjà présents et l'application d'un type spécifique de relation à des entités qui n'étaient pas auparavant concernées par lui[2178].

On peut donc observer la multiplication des objets techniques (d'inventions) comme autant d'instruments qui prolongent un schème de relations techniques instituées. L'innovation serait une nouvelle manière de faire la même chose. Mais il est plus délicat d'intégrer un nouvel objet instituant un schème relationnel qui n'était pas dominant jusqu'alors. Dans ce cas de figure, l'innovation serait alors une autre solution pour ne pas faire la même chose, pour opérer un changement.

Notre troisième décalage a consisté à entrer dans l'analyse de l'existence politique de la SOFRETES et de son impossible moteur solaire par celle de la politique étrangère et notamment de son volet coopération. Or, les questions d'énergie se traitent plus volontiers à partir des ressources minières, de la grande industrie, du réseau, de la centrale, des coûts, de la croissance, etc., c'est-à-dire par les approches des sciences physiques et économiques d'une grandeur mesurable par les nombres, dont se saisit l'expert des approvisionnements en combustibles et en politique (macro) économique plus généralement. La question de l'énergie solaire est en somme victime de l'orientation quantophrénique à l'œuvre dans le gouvernement par les nombres des problèmes publics,

[2177] Il s'agit du nom donné au congrès, dédié aux application de l'énergie solaire, que l'UNESCO organise à Paris en 1973, lors duquel Girardier présente la pompe-école de Chinguetti en Mauritanie. Nous en avons montré l'importance au chapitre 1.
[2178] DESCOLA, Philippe, *Par-delà nature et culture,* 2005, p. 655.

c'est-à-dire à « la tendance à limiter les représentations des phénomènes ou des objets aux seules représentations quantifiées, à nourrir les processus de décision politique de ces seules représentations quantifiées, et à largement utiliser des critères quantitatifs comme outil de la mise en œuvre et de l'évaluation des politiques »[2179]. Les éléments empiriques de notre étude prouvent en effet que c'est de l'Afrique sahélienne et du Mexique qu'il convient de poser le problème solaire. L'effort de décentrement est important et il faut s'autoriser à envisager que « l'invention » vient de là où il n'existe pas de grands laboratoires et de grands industriels, pire encore, qu'elle n'est pas destinée aux dominants et qu'elle en conteste la position. C'est dire que la question qui se pose ici sur l'énergie n'est pas celle à laquelle les lois de la physique et de l'économie répondent directement sans controverses possibles. C'est dire que l'existence politique de la proposition sociotechnique de convertir les faibles gradients de températures naturelles présents partout sur Terre ne peut se comprendre qu'en révélant ce qui se passe entre l'État français et quelques États du tiers-monde des années 1960-1980, dans quelques lointaines campagnes des zones les plus arides et pauvres du monde. C'est bien la place qu'occupe la petite pompe solaire à piston d'1 kW dans la politique de puissance[2180] de la France qu'il convient de questionner pour comprendre les modalités de son existence, puis celles de sa disparition.

Notre quatrième décalage, en cohérence avec ce qui précède, a été d'accorder à l'action publique la responsabilité de l'irrécupérabilité de cette solution technique face aux besoins essentiels des hommes. L'invention, l'inventeur et le marché n'en sont pas responsables. L'étatisation du problème et de sa solution sont totales, ce qui déroge à

[2179] Nous remercions Marc Delepouve pour nous avoir permis de consulter sa thèse. DELEPOUVE, Marc, « Le GIEC, une dialectique science et politique. De la quantophrénie et de l'imprévisible », thèse de doctorat en histoire des techniques, sous la direction de BOCQUET Bertrand et RUANO-BORBALAN Jean-Claude, CNAM, 2023. On peut lire également : SUPIOT, Alain, *La Gouvernance par les nombres. Cours au Collège de France (2012-2014)*, Paris, Fayard, 2015 et PORTER, T.M., *Trust in Numbers : The Pursuit of Objectivity in Science and Public Life*, Princeton University Press, 1995.

[2180] Serge Sur définit la puissance « comme une capacité – capacité de faire ; capacité de faire faire ; capacité d'empêcher de faire ; capacité de refuser de faire » (SUR, Serge, *Relations internationales*, Paris, Éditions Montchrestien, 2000, p. 229). La politique étrangère d'un État aurait pour objectif de renforcer cette capacité d'action extérieure vis-à-vis des autres et sur le système lui-même. Elle est « l'instrument par lequel un État tente de façonner son environnement politique international, (…) d'y préserver les situations qui lui sont favorables et modifier les situations qui lui sont défavorables » (BATISTELLA, Dario, *Théorie des relations internationales*, 4ème édition mise à jour et augmentée, Paris, Presses de la Fondation nationale des sciences politiques, 2012, p. 373 ; BATISTELLA Dario, SMOUTS Marie-Claude, VENNESSON Pascal (dir.), *Dictionnaire des relations internationales*, Paris, 2ème édition, Dalloz, 2006). Toute politique étrangère serait donc une politique de puissance (MARCHESIN, Philippe, *op. cit*., 2021).

certains récits sur l'innovation, le progrès, le marché et la neutralité de la décision technique, dont le premier objectif est de dépolitiser la question du choix de l'objet technique.

En suivant des pistes éloignées des sentiers habituellement empruntés par les études de la politique de l'énergie, qui privilégient les approches macro-économiques et sectorielles de la politique publique d'offre des services énergétiques, notre étude sociohistorique très micro, multifactorielle et contextualisée, révèle une histoire peu convenue de l'action publique solaire française des années 1960 aux années 1980. Elle amende ainsi quelque peu le « récit national » de l'énergie.

De quelques résultats de la recherche menée

Cinq grands résultats d'investigation concernant notre objet nous semblent pouvoir être formulés.

Premièrement, l'installation et la disparition des machines solaires thermodynamiques basse température de la SOFRETES est une préoccupation d'État qui remonte à loin. La puissance publique accompagne déjà les expérimentations de l'agent de l'EDF Nizery et de l'universitaire Masson en Afrique après la Seconde guerre mondiale alors qu'ils sont à l'origine de l'initiative de l'ingénieur-entrepreneur Jean-Pierre Girardier dans les années 1960 au Sénégal et en France. En 1973, l'État a le contrôle de l'activité de son entreprise dès la création de la SOFRETES. L'action publique gouverne la récupération et la conversion de la chaleur perdue naturelle en freinant constamment son industrialisation. D'abord par l'entremise de sa politique de recherche nationale et coloniale (la trajectoire thermodynamique basse température en est progressivement exclue), puis avec sa politique d'aide à l'innovation et aux PME (filialisation de la SOFRETES par la grande industrie), ensuite, par sa politique de coopération (opérations solaires de politique étrangère) et enfin par sa politique publique solaire (arbitrage ministériel de 1979 en faveur du photovoltaïque et des hautes températures concentrées).

Deuxièmement, les opérations de politiques étrangères qui sont construites avec la SOFRETES et son moteur solaire sont technopolitiques. Elles « sur-politisent » les

installations de démonstration en utilisant l'entreprise et ses objets techniques à des fins éloignées des problèmes d'accès à l'énergie pour les populations pauvres des zones arides. L'étude démontre que ce sont ces opérations politiques qui, organisées dans un temps court, portent préjudices au fonctionnement des machines dans le temps long. Leurs systèmes d'acteurs envisagent la SOFRETES et son moteur comme des instruments d'influence pour pousser leurs multiples intérêts (électoralistes, marchands, diplomatiques, etc.). Ainsi, les conditions requises pour leur bon fonctionnement ne sont-elles pas réunies et les mal-fonctionnements occasionnés biaisent les évaluations qui n'en tiennent pas compte, se bornant à y voir des dysfonctionnements techniques.

Troisièmement, la disparition de la SOFRETES et de ses machines ne repose donc pas sur des insuffisances techniques des dispositifs. Ce résultat implique d'établir une autre lecture de la « longue marginalité socioéconomique et de la subordination sociotechnique »[2181] des convertisseurs solaires. Autrement dit, si, en ouvrant la machine en contexte, elle apparaît socialement bien pensée techniquement, et techniquement bien pensée socialement, alors elle n'est pas écartée pour mauvais services, mais pour d'autres raisons que nous avons identifiées dans notre enquête, notamment au chapitre 3. La question se pose alors de savoir qui sont les experts au service de la puissance publique qui assurent l'évaluation de cette proposition. L'étude démontre que deux régimes technopolitiques sont en conflit : CEA-SOFRETES et CNRS-COMES (AFME)-industriels du photovoltaïque. La coalition de cause qui s'organise contre les opérations CEA-SOFRETES, et le prolongement de cette potentielle trajectoire, parvient à infléchir la décision gouvernementale en sa faveur.

Quatrièmement, la SOFRETES est la cible d'actions contre-commerciales, contre-industrielles et contre-gestionnaires menées par ses actionnaires, ses concurrents et ses partenaires (qui sont souvent les mêmes), dans le temps court, et de fabrication institutionnelle d'ignorance et d'oubli, dans le temps long.

In fine, la séquence d'action publique qui fait exister la SOFRETES et ses machines a pour effet de désactiver les capacités politiques de la sociotechnique proposée en la rendant « irrécupérable ». Nous appelons « irrécupérabilité » le processus d'action publique par lequel une solution technique, pourtant cohérente et disponible dans le temps court, devient inaccessible dans le temps long car écartée, ignorée et oubliée. Il est devenu

[2181] CAILLE, Frédéric, *op. cit*., 2020, p. VII.

impossible sur le plan matériel et cognitif de réactiver cette trajectoire solaire décrédibilisée et supprimée des alternatives existantes. La récupération de la chaleur perdue de faible intensité est retirée du marché de la chaleur, elle n'est pas considérée comme utile. Seules les hautes températures et la lumière peuvent l'être. Pour paraphraser Vincent Devictor, lorsque celui-ci analyse les ressorts politiques du contrôle par l'État de l'irruption de la question de la crise de la biodiversité : pour gouverner la chaleur perdue, la puissance publique a inventé une politique solaire sans politique et sans solaire, en dépolitisant les enjeux du choix d'objets techniques chosifiés[2182]. La question de la nature de la relation entre le savoir scientifique et technique et le pouvoir est alors posée dans le gouvernement de la chaleur perdue et plus largement des problèmes publics.

De la continuité : solarité divergente et régime de savoir-pouvoir

Le « problème solaire » (l'existence d'une proposition sociotechnique alternative à dépolitiser) ne débute pas sa carrière politique au moment du choc pétrolier de 1973. Comme nous l'avons montré, la SOFRETES est fondée juste avant et elle crée une situation politique en raison de la visibilité internationale de sa pompe solaire en fonction à Chinguetti et de l'action du gouvernement mexicain. La situation dépasse clairement les événements qui se déroulent sur le marché du pétrole, lesquels jouent simplement ici le rôle de caisse de résonnance très conjoncturelle. L'État français est confronté au choix des convertisseurs thermodynamiques de la chaleur perdue naturellement depuis le XIX^{e} siècle, et Frédéric Caille démontre que les inventions de Mouchot ont un impact dans les sociétés industrielles. Elles déclenchent des évaluations, des soutiens, des oppositions et des rejets, vraisemblablement minorées par la fabrique institutionnelle d'ignorance à l'œuvre dans l'écriture de l'histoire des rapports entre l'État et le solaire. Les gouvernants sont déjà mobilisés autour des possibles et des impossibles alternatives solaires aux fossiles, et pas seulement en France. Si le solaire se retrouve à l'agenda dans le contexte de l'augmentation brutale des prix des produits pétroliers, de l'accélération du programme électronucléaire et de la contestation écologiste au début des années 1970, les pouvoirs publics ne partent pas de zéro lorsqu'ils lancent les opérations de gouvernement

[2182] DEVICTOR, Vincent, *Gouverner la biodiversité ou comment réussir à échouer*, Versailles, Quae, 2021, pp. 9-12.

de la contestation. Ils s'appuient sur une solarité divergente déjà bien établie, héritée, que leurs actions ne font que consolider. Non seulement les pouvoirs publics participent à la fabrication des savoirs scientifiques et techniques solaires, mais ils en contrôlent les prolongements industriels et prennent les décisions en matière de choix des techniques énergétiques.

La charge des représentations du solaire est déjà très lourde en 1970. Aujourd'hui, ces représentations sont l'aboutissement d'un long récit solaire des origines, à la fois littéraire, historique, scientifique, technique et politique. C'est-à-dire qu'un ensemble de signifiants et de signifiés caractérise les impossibles historiques solaires, et qu'il s'appuie sur des pratiques. Les tentatives solaires passées ne peuvent pas ne pas avoir été confrontées à l'exercice du pouvoir. Une question solaire s'est forcément posée à chaque fois. Des travaux de recherche supplémentaires sont nécessaires pour éclairer toutes ces rencontres et leurs issues.

La continuité et non le changement semble donc caractériser l'existence politique de l'énergie solaire et de ses applications. La solarité divergente se prolonge depuis le XIX^{e} siècle selon trois dimensions : d'abord techniquement, par les objets et les principes ; puis par les configurations d'acteurs (administrations, industriels, inventeurs) ; et enfin par les représentations qui composent le volet solaire du référentiel de la politique publique de l'énergie. Le non-choix solaire est ainsi devenu une réalité normative, à tel point que sa légitimité va de soi. Or, l'histoire du solaire n'est pas écrite comme celles de controverses, d'oppositions et d'alternatives politiques, mais uniquement comme celle de technologies immatures et faibles, fruits d'inventeurs isolés sans grands moyens. C'est sans doute là la plus grande victoire de l'expertise, d'être parvenue à dépolitiser le solaire dans toute son épaisseur historique, au point que sa mémoire soit damnée et pleine de trous.

La différence entre les années 1970-1980 et les périodes précédentes repose sur le fait que cette fois les pouvoirs publics s'engagent institutionnellement par des actions bruyantes, telle la création électoraliste du Commissariat à l'Énergie Solaire (COMES) en mars 1978, juste avant les législatives. Ou encore avec le programme de recherche national solaire du CNRS (le PIRDES et sa centrale à concentration Thémis), puis avec le Plan photovoltaïque national et son champion Photowatt (filiale de la CGE et d'Elf), et enfin au moyen d'opérations de démonstration spectaculaires à l'étranger. Surtout, une

réponse étatique ferme est engagée face à la forte incertitude engendrée par les installations de la SOFRETES. Ses objets donnent une prise très matérielle aux tenants d'une solarité des possibles, réactivant alors fortement la solarité divergente. L'incertitude est d'autant plus grande que des gouvernements passent commande directement auprès d'un petit industriel, éloignant ainsi considérablement du centre et du territoire métropolitain le petit moteur solaire fonctionnel. Ce qui est aussi un avantage, puisqu'il se qualifie alors seulement pour les régions arides isolées et pauvres du monde. La capacité de séduction politique de la solarité des possibles au service de l'homme se voit instrumentalisée par les tenants de la solarité des impossibles dans une politique de puissance au service du rayonnement de la France.

Or, les sachants et les gouvernants ne s'ignorent pas. La fabrique du savoir solaire par l'expertise publique participe au gouvernement technique des questions sur l'énergie. Il existe un régime de savoir-pouvoir qui fabrique la solarité des impossibles et l'irrécupérabilité des propositions sociotechniques qui le contestent afin d'assurer sa propre reproduction. Ce régime de savoir-pouvoir qui invente une politique solaire n'a pas vocation à développer des solutions alternatives. C'est donc bien une politique sans politique et sans solaire qui est mise en œuvre. Nos résultats convergent fortement avec ceux obtenus par Devictor lorsqu'il mobilise le concept de savoir-pouvoir de Michel Foucault pour rendre compte du système d'acteurs, de savoirs et de rapports de forces dominant qui s'empare du problème de la biodiversité pour ne pas le résoudre car il n'en a pas la vocation. Lisons ce qu'il écrit et permettons-nous de remplacer « biodiversité » par « solaire » :

> Telle est l'idée soufflée par Michel Foucault qui nous a aidé à comprendre à quel point savoir et pouvoir sont intriqués. Savoir et pouvoir s'impliquent directement l'un l'autre[2183]. Autrement dit, une partie de la manière dont le savoir se constitue sur les impossibles solaires (sur la crise de la biodiversité pour Devictor) est probablement surdéterminée, imprégnée, par un modèle politique qui fabrique la destruction des possibles solaires (de la biodiversité pour Devictor)[2184].

En dernière instance, l'existence politique de la SOFRETES et de son « impossible moteur solaire » que cette thèse révèle, plaide contre une science au service de la dépolitisation des choix des techniques énergétiques et pour la controverse autour

[2183] FOUCAULT, Michel, *Dits et écrits*, tome II, Paris, Gallimard, 1994, p. 757, cité par DEVICTOR, Vincent, *op. cit*., 2021, p. 11.
[2184] DEVICTOR, Vincent, *op. cit*., 2021, p. 11.

d'une solarité divergente volontairement ignorée par la fabrique et l'exercice du savoir-pouvoir qui gouverne le solaire. Car regardons les choses en face, la controverse sur le convertisseur thermodynamique des faibles gradients de températures naturelles n'existe pas puisque, premièrement, la sociotechnique est irrécupérable, et, deuxièmement, il y a consensus sur les impossibles solaires : « l'illusion du consensus est fatale à la démocratie, car un processus démocratique sain exige la reconnaissance d'intérêt divergents et la reconnaissance de la légitimité d'un conflit ouvert au sujet d'intérêts divergents. »[2185] Si cette thèse sur un passé ignoré devait revêtir un caractère programmatique pour un futur actualisé, à l'heure des récits sur la transition énergétique et des revendications pour plus de participation citoyenne aux décisions en matière de choix énergétique, elle demanderait à la science politique d'ouvrir la controverse sur le régime de savoir-pouvoir qui gouverne la recherche de la chaleur perdue.

Car chercher à comprendre pourquoi et comment la chaleur perdue est devenue irrécupérable n'est probablement pas seulement un exercice académique, tout comme la manière dont l'histoire de la SOFRETES n'est pas discutée peut s'entendre au-delà des oppositions académiques ordinaires. Est-il excessif de considérer l'énergie comme un enjeu considérable pour l'avenir du monde et de nos sociétés ? Est-il sans conséquence pour des scientifiques de reproduire le récit solaire dominant ? Où commencent la sincérité scientifique, les nécessités de financements et de carrières, dans un domaine au sein duquel, comme ce travail le montre, l'État regarde d'aussi près ce qui se dit et se fait ?[2186] N'y aurait-il pas aussi une responsabilité des scientifiques dans l'émergence de la vérité technique, historique et politique sur les énergies dans l'espace public[2187] ? Si l'objet technique, ici le moteur solaire, n'est pas neutre, alors faire de la science en étudiant cet objet l'est-il ? Y aurait-il un amalgame entre « neutralité » et « partialité » dans la définition d'une science engagée à défendre publiquement ce qu'elle croit être une certaine idée de la vérité ? Comme l'explique Sylvain Laurens à propos des scientifiques des années 1930-1950, « il y a toute une époque où l'on n'opposait pas spécialement l'engagement pour la science et la politique… Aujourd'hui on considère

[2185] *Ibid*, pp. 56-57. Devictor citant PETERSON M.N., PETERSON M.J., PETERSON T.R., « Concervation and the myth of consensus », *Conservation Biology*, 19(3), 2005, pp. 762-767.
[2186] ORTAR Nathalie, LOLOUM Tristan, *op. cit*., 2019, « Éthique de l'énergie », paragraphes 8-13.
[2187] LAURENS, Sylvain, *Militer pour la science*. Les mouvements rationalistes en France (1930-2005), Paris, EHESS Éditions, 2019.

qu'un bon savant serait un savant qui serait complètement neutre ou apolitique, ce qui du point de vue de cette génération, qui a construit la science en France, serait un non-sens »[2188]. Or ce type de positionnement, nous l'avons vu, se retrouve dans les travaux des savants de la communauté scientifique solaire internationale des années 1950-1970, et notamment dans la pratique scientifique et technique du professeur Henri Masson et de Jean-Pierre Girardier lui-même (*cf. supra* chapitre 1). La neutralité et l'honnêteté du chercheur vis-à-vis de ses résultats n'impliquent pas d'écarter la possibilité de politiser et de publiciser ces derniers. Car c'est peut-être ici que la place marginale de la pensée sociotechnique et technopolitique sur l'énergie dans les sciences sociales francophones contemporaines trouve en définitive son origine, dans cette remise en cause de « l'autonomie que la science avait conquise peu à peu contre les pouvoirs politiques ou mêmes économiques et, partiellement au moins contre les bureaucraties d'État »[2189]. C'est-à-dire, en somme, dans la remise en cause de notre droit d'enquêter.

[2188] https://www.ehess.fr/fr/media/sylvain-laurens-présente-livre-militer-pour-science-publié-aux-éditions-lehess. Voir aussi la conférence donnée à l'Institut d'Astrophysique de Paris : https://www.youtube.com/watch?v=i1WF2cCCwec

[2189] Pierre BOURDIEU, cité dans LAURENS, Sylvain, « L'autonomie des sciences sociales en état d'urgence ? État des lieux de la situation française dix ans après le colloque Droit d'enquêter », *Sociologie et sociétés*, 52(1), p. 47. https://doi.org/10.7202/1076721ar

SOURCES

ARCHIVES PRIVEES (conservées par l'association PHESO)

- ALEXANDROFF Georges et Jeanne-Marie (architectes conseils de la SOFRETES).
- Fonds BCD (CEA) : BLIAUX Jean (ingénieur CEA), CLEMOT Max (ingénieur CEA, détaché à la SOFRETES) et DURAND Jean-Paul (ingénieur CEA, détaché à la SOFRETES).
- DUFOUR Pierre (ingénieur SOFRETES).
- GIRARDIER Jean-Pierre (fondateur et PDG de la SOFRETES).
- JACQUET-PIERROULET Marc (technicien SOFRETES).
- LACAILLE (ingénieur SOFRETES).
- NERGUTI Djelal (technicien SOFRETES).
- Fonds usine Mengin (ses documents sont restés entreposés, à l'abandon, à l'usine Mengin de Montargis dans la ZI d'Amilly de 1973 à 2020).

Ces archives privées ont été regroupées dans un fonds déposé à l'association PHESO (Promotion et Histoire de l'Energie Solaire, association loi 1901 reconnue d'utilité publique) qui le conserve et le met à la disposition du public. Elles peuvent être consultées sur demande auprès de PHESO. Les demandes peuvent être adressées à PHESO sur le site web https://afrisol.hypotheses.org. Un projet de constitution en fonds d'accès public, déposé dans un centre d'archives nationales, est en cours.

ENTRETIENS

Entretiens menés par Alexandre Mouthon

- AVILLA Jean (technicien SOFRETES), 22 avril 2021.
- ALLEAU Thierry (ingénieur CEA), juin-juillet 2018.
- ARDITI Maryse (physicienne, membre du parti écologiste), avril 2018.
- BOURGEOIS Bernard (Économiste à l'Institut économique et juridique de l'énergie de Grenoble en 1981), 18 septembre 2018.
- CESSOT Claude (responsable commercial chez Brambilla, maison de commerce internationale implantée en Chine dans les années 1970-1980), 9 novembre 2018.

- CLEMOT Max (ingénieur CEA), plusieurs rencontres et conversations téléphoniques, juin-novembre 2018.
- DE GROMARD Christian (ingénieur électricien, AFME), 25 mars 2019.
- DEVIN Bernard (ingénieur CEA, AFME), août-septembre 2018.
- DURAND Jean-Paul (ingénieur CEA), octobre 2018-mars 2019.
- FRAGET Marc (ingénieur et docteur en gestion, DG de la SINAES, la filiale sénégalaise de la SOFRETES, puis assistant de Jean-Pierre Girardier au Centre Régional d'Énergie Solaire de Bamako, il intègre ensuite le COMES-AFME), 13 décembre 2018.
- GIRARDIER Jean-Pierre (ingénieur et fondateur de la SOFRETES). Voyage au Sénégal avec Monsieur et Madame Girardier en avril-mai 2016 ; rencontres avec Madame Girardier en 2019.
- HURTEAU Félix (ingénieur chez Renault en 1975-1978. Il fut responsable commerciale à l'étranger pour les pompes SOFRETES), 27 novembre 2018.
- JACQUET-PIERROULET Marc (technicien à la SOFRETES). Relations très suivies depuis 2015 au sein de l'association reconnue d'utilité publique PHESO (Promotion et histoire de l'énergie solaire). Marc JACQUET-PIERROULET en est un des membres les plus actif. Il nous a apporté une aide précieuse pour la compréhension des conditions de travail sur le terrain des opérations ainsi que du fonctionnement des machines.
- LAPONCHE Bernard (polytechnicien, physicien, syndicaliste CFDT, Directeur Général de l'AFME), 17 septembre 2018).
- MARBACH Christian (polytechnicien, ingénieur des Mines, haut-fonctionnaire du ministère de l'Industrie), 12 octobre 2018 et 13 décembre 2018.
- MARTIN Jean-Marie (économiste, il dirige l'IEJE de Grenoble dans les années 1970-1980), 13 août 2018 et 27 mai 2019.
- MERCIER Jean-Roger (polytechnicien et docteur en physique énergétique, Banque mondiale), janvier-juin 2018.
- NERGUTI Djelal (technicien Sofretes), 18-19-20 août 2020. Djelal Nerguti nous a apporté une aide précieuse et régulière, notamment pour obtenir les archives de l'usine Mengin.
- NDOYE Macumba Tine et NDOYE Malik (chef de village, responsable de pompe, et autres habitants de Medina Dakhar, Centre Sénégal), entretiens menés par Frédéric Caille et Alexandre Mouthon le 5 mai 2016.

- Chef de village et habitants de Mont-Rolland (Centre Sénégal), entretiens menés par Frédéric Caille et Alexandre Mouthon le 5 mai 2016.
- Collaborateurs ingénieurs et techniciens du CERER à Dakar, Sénégal, entretiens menés par Frédéric Caille et Alexandre Mouthon le 6 mai 2016.

Entretiens menés par Frédéric Caille

Notre thèse bénéficie des informations recueillies par Frédéric Caille lors de ses entretiens et de ses visites de terrain. Les documents ci-dessous sont extrais de CAILLE, Frédéric, « L'énergie solaire au Musée ? Éléments d'une lecture énergopolitique du projet muséal Sofretes » *in* CAILLE, Frédéric (dir.), *op., cit*., 2020, pp. 32-33.

Liste des entretiens filmés avec les acteurs et témoins des activités de la Sofretes (France, Niger, Sénégal)

- Massaer Ngaye (ingénieur électricien directeur technique Sinaes – filiale Sofretes au Sénégal) : 10 mai 2018
- .../ Ba (collaborateur Sofretes puis chercheur au CERER) : 9 mai 2018
- Alain Liébard (élève de Georges Alexandroff puis architecte conseil Sofretes, président-fondateur de la FONDEM) : 10 décembre 2015
- Albert-Michel Wright (ingénieur, directeur de l'ONERSOL et ancien ministre de l'énergie du Niger) : 4 avril 2018
- Atou Diao (chef de village de Diagle, nord Sénégal) : 5 mai 2018
- Walli Faye, chef de pompe, et autres habitants de Bondie Samb (Est Sénégal) : 27 avril 2015
- Thierno Fall, enseignant et ancien maire de Diakhao (Est Sénégal) : 26 avril 2015
- Chef de village et habitants de Mont-Rolland (Centre Sénégal) : 5 mai 2016
- Macumba Tine Ndoye et Malik Ndoye, respectivement chef de village et responsable de pompe, et autres habitants de Medina Dakhar (Centre Sénégal) : 5 mai 2016 / 11 avril 2019
- Collaborateurs ingénieurs et techniciens CERER : 6 mai 2016 / 23 avril 2018
- Danièle Parquet (épouse de Philippe Parquet, ingénieur collaborateur Sofretes) : 2 octobre 2019
- Georges et Jeanne-Marie Alexandroff (architectes conseils de la Sofretes, pionniers de l'architecture solaire) : 3 novembre 2015 / 15 décembre 2016 / 12 décembre 2018
- Hugues Gabin (dessinateur industriel Sofretes) : 3 octobre 2019
- Issakah Youm (directeur CERER Dakar) : 23 avril 2018
- Jacques Bourachot (ingénieur responsable Sofretes Haute-Volta 1978) : 9 octobre 2019
- Jean Bliaux (ingénieur CEA, directeur du Service d'étude sur l'énergie solaire de Cadarache) : 20 juin 2016
- Jean-Paul Durand (ingénieur CEA détaché durant 5 ans auprès de la Sofretes) : 4 novembre 2015
- Jean-Pierre Girardier (créateur-directeur) : 7 juillet 2015

- Jelal Nerguti (technicien-monteur Sofretes) : 2 octobre 2019
- Marc Frager (ingénieur directeur de la Sinaes – filiale Sofretes au Sénégal) : 12 décembre 2018
- Marc Jacquet-Pierroulet (technicien-monteur, formé en ferronnerie et ayant travaillé avec Abdou Moumouni au Niger, qui réalisera le plus grand nombre des installations de la Sofretes) : 15 juillet 2016 / 21 décembre 2016
- Marc Vergnet (ingénieur directeur technique Sofretes) : 13 décembre 2018
- Max Clemot (ingénieur CEA détaché durant 5 ans auprès de la Sofretes) : 14 décembre 2016
- Pierre Brousse (ancien maire de Chaudes-Aigues) et Georges Bartomous (ancien instituteur, créateur du Musée de la géothermie) : 9 août 2019
- Pierre Dufour (ingénieur responsable fabrication Sofretes) : 12 décembre 2018
- Simone Gaffé (assistante administrative Sofretes et secrétaire de Jean-Pierre Girardier) : 2 octobre 2019

Sites visités (ordre chronologique)

Sites Sofretes

- CERER Dakar (ancien IPM), IUT Dakar, Diakhao, Bondie Samb, Medina Dakhar, Mont-Rolland, Diagle, Chaudes-Aigues, Montargis

Autre site de collaboration

- CNES (ancien ONERSOL) Niamey Niger

- BARTOMOUS Georges (ancien instituteur, créateur du musée de la Géothermie à Chaudes-Aigues), 9 août 2019.
- YOUM Issakah (Directeur du CERER, Dakar, Sénégal), 23 avril 2018.
- Directeur de l'usine Mengin, juin 2019.

TEMOIGNAGES ECRITS

Témoignage de Jean-Paul Durand, Max Clémot et Jean-Pierre Girardier sous la forme d'un mémoire non publié écrit en 2009-2010 : remis en main-propre et commenté par Max Clémot et Jean-Paul Durand, enrichi de leurs documents de travail intermédiaires (fonds BDC).

BREVETS INDUSTRIELS

Brevets français

Brevet de Henri MASSON et Jean-Pierre GIRARDIER

- « Moteur solaire », 28 mai 1965, n°1485515.

Brevets des Établissements Pierre Mengin SA (28 brevets de 1909 à 1988) dont des brevets Mengin Frères, Établissements Pierre Mengin, SOFRETES-Mengin et Société Nouvelle des Établissement Pierre Mengin.

- Brevet de Jean-Paul DURAND et Bernard CHABOT (SOFRETES-Mengin), « Vanne à commande étanche », 13 décembre 1979, n°7930588.
- Brevet de Bernard CHABOT, Gilles LE TRON et Alain POCHON (SOFRETES-Mengin), « Installation de pompage de l'eau au fond d'un puit utilisant l'énergie solaire », 17 juillet 1981, n°8113963.
- Brevet de Pierre Boulet (le mandataire est Brevatome), « Machine de contrôle et de tri de linge contaminé », 20 décembre 1985, n°8409314.

Brevets SOFRETES

- Brevet de Jean-Paul DURAND, Jean-Pierre GIRARDIER et Dominique MERCIER, « Station de production d'énergie solaire, et dispositif d'insolation s'y rapportant », 25 novembre 1976, n°7635556.
- Brevet de SOFRETES, TOTALGAZ, Gaz De France (GDF), « Procédé perfectionné de chauffage de locaux avec ou sans production d'eau chaude sanitaire, par de l'énergie solaire avec une autre source d'énergie et récupération, et installation comportant application de ce procédé », 12 mars 1979, n°7906290.

Brevets de Georges ALEXANDROFF (19 brevets)

- Brevet de Georges et Jeanne Marie ALEXANDROFF, « Éléments de toiture pour la captation de l'énergie solaire », 10 février 1970, n°7004559.
- Brevet ANVAR, de Georges et Jeanne Marie ALEXANDROFF, « Habitation à chauffage solaire », 25 avril 1975, n°7513001.

- Brevet de Georges ALEXANDROFF, Alain LIEBARD et la société SUPERFLIXT, « Dispositif formant absorbeur ou émetteur de chaleur, assurant le transfert de la chaleur absorbée ou émise en particulier en échange avec l'atmosphère ambiante », 2 octobre 1979, n°7924462.
- Brevet de Georges ALEXANDROFF et Alain LIEBARD, « Perfectionnement aux échangeurs thermiques destinés alternativement à chauffer ou refroidir un fluide par l'action des phénomènes climatiques », 25 juin 1980, n°8014077.
- Brevet de Georges ALEXANDROFF et Alain LIEBARD, « Panneaux étanches destiné simultanément à la captation de l'énergie solaire et à l'isolation thermique », 25 juin 1980, n°8014078.
- Brevet de Georges ALEXANDROFF et Alain LIEBARD, « Stockage thermique à basse et moyenne température », 25 juin 1980, n°8014079.
- Brevet de Georges ALEXANDROFF, Alain LIEBARD, et Marc Vergnet, « Capteur solaire pour le chauffage et le stockage par passage directe d'eau sanitaire et procédé de fabrication de ce capteur », 12 novembre 1981, n°8121144.
- Brevet de Georges et Jeanne Marie ALEXANDROFF, et Alain LIEBARD, « Module énergétique à cycle ouvert utilisant des sources naturelles d'eaux chaude et froide », 16 décembre 1983, n°8320167.

Brevets de Marc VERGNET

- Brevet de Marc VERGNET, « Pompe perfectionnée », 4 juillet 1973, n°7324533.
- Brevet de Marc VERGNET, « Perfectionnement aux pompes solaires », 22 août 1973, n°7330667.
- Brevet de Marc VERGNET, « Pompe perfectionnée », 21 juin 1974, n°7421593.
- Brevet de Marc VERGNET, « Pompe perfectionnée », 27 décembre 1977, n°7739288.
- Brevet de George ALEXANDROFF, Alain LIEBARD, et Marc Vergnet, « Capteur solaire pour le chauffage et le stockage par passage directe d'eau sanitaire et procédé de fabrication de ce capteur », 12 novembre 1981, n°8121144.

Brevet de Michel BREMONT

- Brevet ANVAR de Pierre THUREAU et Michel BREMONT, « Dispositif de pompage utilisant l'énergie solaire », 19 octobre 1973, n°7337374.

- Brevet ANVAR de Pierre THUREAU et Michel BREMONT, « Dispositif de pompage utilisant l'énergie solaire », 5 juillet 1974, n°7423399.
- Brevet ANVAR de Pierre THUREAU et Michel BREMONT, « Dispositif de pompage utilisant l'énergie solaire », 12 juillet 1974, n°7424278.

Brevets de Renault Moteur Développement (RMD)

- Brevet de Renault Moteur Développement, « Installation de transformation d'énergie », 11 juillet 1975, n°7521813.
- Brevet de Renault Moteurs Développement, « Groupe moto-pompe à membranes », 6 août 1976, n°7624061.
- Brevet de Renault Moteurs Développement, « Échangeur de chaleur, notamment pour le captage de l'énergie solaire et son procédé de fabrication », 11 mars 1977, n°7707269.

Brevets d'Augustin MOUCHOT

- Brevet de Augustin MOUCHOT, « Un appareil dit : héliopompe, destiné à élever de l'eau », 4 mars 1861, n°48633.
- Brevet de Augustin Mouchot, « Un système de générateur solaire », 18 août 1871, n°92474. Deux additions à ce brevet, en 1872 et 1875.
- Brevet de Augustin MOUCHOT et Abel PIFRE, « De nouveaux procédés d'utilisation de la chaleur solaire », 11 octobre 1878, n°126910.
- Société centrale d'utilisation de la chaleur solaire, « Des perfectionnements aux appareils destinés à l'utilisation de la chaleur solaire », 30 mars 1883, n°154562.

Brevets français de Frank SHUMAN

- Frank SHUMAN, « Perfectionnement aux machines à vapeur », demandé le 28 septembre 1912, délivré le 7 décembre 1912, n°448846.
- Frank SHUMAN, « Nouveau procédé et appareil d'utilisation de la chaleur solaire », demandé le 22 février 1912, délivré le 4 mai 1912, n°440494.
- Frank SHUMAN, « Perfectionnement aux machines à vapeur à piston double », demandé le 21 février 1912, délivré le 4 mai 1912, n°440465.

Brevets « moteurs solaires » déposés de 1849 à 1984 (année de la liquidation de la SOFRETES)

- MOISON, « Emploi de la chaleur du soleil comme force motrice, et application spéciale de ce principe à un appareil industriel », 21 mars 1849, n°8074.
- FAUCHER, « Système de moteur solaire », 5 juin 1863, n°1863.
- GEISENBERGER et CHERPIT, « Appareil destiné à produire de la force motrice en enlevant le calorique à une source de chaleur quelconque, soit l'air ambiant, l'eau, etc. », 11 septembre 1871, n°92727.
- Isidoro CABANYES, « Moteur aéro-solaire », 24 août 1906, n°369199.
- Max KOLLER (résidant en Égypte), « Appareil pour produire de la vapeur d'eau à l'aide de la chaleur solaire », 18 juin 1913, n°456406.
- Maurice LABOUREUR, « Moteur cyclique à pression transformant en énergie cinétique l'énergie calorifique solaire emmagasinée dans les éléments (eau, air, etc.) par simple échange de chaleur, sans combustible », 28 décembre 1915, n°483282.
- Jean-Joseph-Georges BERLAND (Algérie), « Procédé pour l'utilisation de la chaleur solaire comme source d'énergie par auto-vaporisation », 15 septembre 1922, n°556333.
- Tito ROMAGNOLI (Italie), « Pompe actionnée par la chaleur solaire », 11 octobre 1923, n°571829.
- Louis-Félix REGNAULT et Paul-Louis REGNAULT, « Mode d'utilisation et de distribution de l'énergie solaire », 16 décembre 1924, n°603623.
- Tertullien THIPLOUSE, « Système de station hydraulique de puisage pour distribution d'eau et principalement pour l'irrigation des exploitations agricoles par l'emploi de l'énergie solaire transformée en force motrice », 21 décembre 1928, n°668355.
- Henri-Marie-René BARJOT, « Cycle et installation thermodynamique permettant de produire de l'énergie mécanique dans les régions désertiques tropicales par l'utilisation de la chaleur solaire », 25 juillet 1942, n°979510.
- Henri et Raoul BERNAT, « Appareil moteur utilisant l'énergie solaire », 17 septembre 1946, n°934256 et 27 novembre 1947, n°56938.
- Hubert Guy De DAMPIERRE, « Moteur à dilatation principalement destiné à l'utilisation de l'énergie solaire », 14 avril 1947, n°945751.
- William Arthur MARTIN (USA), « Chaudière à énergie solaire associée à un moteur fluidique fonctionnant en circuit fermé », 28 mars 1975, n°7510062.

- École nationale supérieure d'arts et métiers centre de Paris et Bernard GIRONNET, « Moteur à vapeur à course alternative utilisant l'énergie solaire », 1er décembre 1975, n°7536705.
- Daniel PATRAUD, « Solaire/vent liaison courant moteur », 17 novembre 1975, n°7536253.
- Brevet CEA de Thierry ALLEAU et Robert MORACCHIOLI, « Circuit amélioré d'alimentation en fluide condensable d'un moteur solaire », 11 mars 1976, n°7607005.
- École nationale supérieure d'arts et métiers centre de Paris et Lucien VIVIER, « Moteur à vapeur pour fluide à faible écart de températures », 16 juillet 1976, n°7621764.
- Brevet CALIQUA de Michel COEYTAUX, « Procédé d'utilisation de la chaleur récupérable sur des moteurs thermiques, dans les cycles de conversion thermodynamiques de l'énergie solaire », 5 décembre 1977, n°7736485.
- Brevet CEA de Francis FORRAT, « Dispositif de stockage inertiel de l'énergie solaire, utilisant un volant à inertie variable », 20 juillet 1978, n°7821491.
- François CESARI, « Procédé de production d'énergie à l'aide du froid et de la chaleur naturels et par l'utilisation de gaz à température de liquéfaction inférieur à O°C, ou autre liquide vaporisable », 30 juin 1978, n°7820134.
- Michel George LACOUX et Alain André Michel GARNIER, « Dispositif de transformation d'énergie permettant d'utiliser l'énergie solaire pour le pompage de fluides », 3 novembre 1978, n°7832043.
- École nationale supérieure d'arts et métiers centre de Paris, de Robert DUCHAMP, Dominique GARSAUD, et Christian DELAUNAY, « Moteur solaire sans piston ni lubrification », 5 juin 1978, n°7816718.
- Jean-Louis WAZNY, « Procédé de production de vapeur a basse température pour moteur à vapeur permettant d'économiser tous combustibles et d'utiliser les rayons solaires en direct », 28 mai 1979, n°7915233.
- Brevet ANVAR de Pierre THUREAU, « Dispositif de pompage d'eau mû par l'énergie solaire », 14 juin 1979, n°7915233.
- Joseph DUKESS (US), « Appareil à énergie solaire », 25 juillet 1979, n°7919160.
- Etienne BAUDINO, « Dispositif motocompresseur solaire à fonctions multiples », 27 juillet 1979, n°7920424.

- Brevet REOSC de André BAYLE, « Procédés et dispositifs pour convertir l'énergie solaire en énergie mécanique », 06 juillet 1979, n°7917595.
- Laruelle ROLAND, « Moteur thermique utilisant la dilatation d'un fluide », 13 avril 1979, n° 7909423.
- Serge PRAT, « Moteur solaires à soufflets », 31 janvier 1980, n°8002402.
- Charles WURMFELD, « Moteur à gaz destiné à utiliser l'énergie thermique solaire emmagasinée dans un fluide atmosphérique, ses applications notamment à une installation de production d'énergie et a un véhicule », 27 février 1981, n°8103939.
- Brevet ANVAR de Raymond SERLET et Pierre THUREAU, « Groupe de pompage à moteur mu par un fluide vaporisé par l'énergie solaire, avec un distributeur à commande électrique », 06 mars 1981, n°8104479.
- Brevet SORELEC de Claude LEROY, « Moteur solaire », 25 août 1981, n°8116253.
- Roger REMY, « Moteur solaire à pistons alternatifs », 3 août 1982, n°8213821.
- Brevet SORELEC de Djelouah SALAH, « Moteur solaire notamment pour le pompage de l'eau et la production d'énergie électrique ou mécanique », 7 octobre 1982, n°8216824.
- Brevet de GRINAKER EQUIPMENT COMPANY de Arnold Anthony De BEER, « Moteur solaire », 15 novembre 1982, n°EP82306063.
- Guy Jacques DUBURG, « Moteur magneto-solaire », 17 décembre 1982, n°8221170.
- Marc ALBERTINI, « Moteur solaire à exposition alternative », 13 octobre 1983, n°8316436.
- Roger REMY, « Moteur solaire et son application », 03 août 1983, n°EP83902531.
- Senji OIGAWA, « Procédé et dispositif de production d'énergie », 16 novembre 1983, n°JP8300412.
- Brevet de LINDE FROID CLIMATISATION de Claude DUBOIS, « Ensemble de dispositifs utilisant l'énergie solaire pour le pompage de l'eau ou autres applications », 11 avril 1984, n°8407824.
- Barry W. JOHNSTON, « Système collecteur solaire à boucle fermée entrainant un moteur à vapeur à écoulement unique et à mise en marche automatique », 06 août 1984, n°EP84903211.

La base de données *European Patent Office* donne 449 résultats pour « *Solar Engine* » de 1948 à 2020. Certains des brevets français ci-dessus y sont recensés mais pas tous, ce qui en révèle les limites (dans une recherche d'exhaustivité), mais qui en souligne aussi l'intérêt, puisque cette liste permet néanmoins de mesurer la continuité des propositions de « moteur solaire » à l'échelle mondiale. Nous noterons par exemple la présence de la firme transnationale anglaise ROLLS ROYCE qui brevette une turbine solaire à compresseur en 1979 : *Solar Heated Gas Turbine Plant* (10 mai 1979, n°GB2006878), la même année que la mise en fonction de l'unité solaire SOFRETES de Diré au Mali.

Brevets étrangers

Brevets américains de Charles G. ABBOT

- Charles G. ABBOT, « Unlimited quantity of power from solar radiotion secured with zero atmospheric pollution », déposé le 24 mars 1971, breveté le 20 juin 1972, n° 3670717.
- Charles G. ABBOT, « Apparatus for converting solar energy to low cost power », déposé le 28 juillet 1970, breveté le 11 avril 1972, n°3654759.
- Charles G. ABBOT, « Apparatus for converting solar energy to electricity », déposé le 22 octobre 1965, breveté le 2 avril 1968, n°3376165.
- Charles G. ABBOT, « Solar heater », déposé le 15 mars 1957, breveté le 29 septembre 1959, n°2906257.
- Charles G. ABBOT, « Solar heater », déposé le 7 juillet 1938, breveté le 01 juillet 1941, n°2247830.

Brevets américains de Edward A. AGNEW, « Solar engine », déposé le 8 mai 1948, breveté le 21 avril 1953, n°2636129.

Brevet américain de Carl G.O. BARR, « Apparatus for producing motive power etc by means of heat of sun », 9 juin 1896, n°561755.

Brevets américains de George W. DEITZLER et John S. HITTEL

- George W. DEITZLER (Solar Heat Power Compagny of California – 1883), « Apparatus for utilizing solar heat », déposé le 12 août 1881, breveté le 9 mai 1882, n°257560.
- George W. DEITZLER (frigoriste), « Combined water-cooler and refrigerator », déposé le 22 avril 1881, breveté le 13 septembre 1881, n°247020.
- John S. HITTEL et George W. DEITZLER auraient déposé le 20 mars 1877 un brevet solaire, mais nous ne l'avons pas identifié formellement.

Brevets américains de Frank SHUMAN liés à la récupération, au transfert, et à la conversion de la chaleur (consultables comme pour tous les brevets américains à *US Patent and Trademark Office,* www.uspto.gov).
Pour certains de ces brevets, le temps écoulé entre les dates de leurs dépôts et celles de leurs publications officielles pose question.
- Frank SHUMAN, « Steam Engine », déposé le 9 janvier 1914, breveté le 10 octobre 1916, n°1200893.
- Frank SHUMAN et Charles Vernon BOYS, « Sun Boiler », déposé le 30 septembre 1912, breveté le 25 septembre 1917, n°1240890.
- Frank SHUMAN, « Steam Engine », déposé le 9 mars 1910, breveté le 06 mars 1917, n°1218219.
- Frank SHUMAN, « Utilizing heat for the development of power », déposé le 20 juillet 1907, breveté le 05 septembre 1911, n°1002768.
- Frank SHUMAN, « Utilizing waste heat of distillation », déposé le 01 mai 1907, breveté le 23 mai 1911, n°992814.
- Frank SHUMAN, « Utilizing waste heat of compressors », déposé le 18 mars 1907, breveté le 21 mai 1910, n°979579.

Brevets anglais de Frank SHUMAN
- Frank SHUMAN, « Solar pump », 25 octobre 1911, n°23634.
- Frank SHUMAN, « Solar pump », 1910, n°28273.
- Frank SHUMAN, « Solar engine », 20 décembre 1907, n°28130.

Brevet allemand de Frank SHUMAN

Frank SHUMAN, « Verfahren und vorrichtung zur ausnutzung der sonnen- wärme zur verdampfung von wasser zum betriebe von kraftmaschinen (Equipment and Apparatus for the Utilization of Solar heat for the Evaporation of Water and its Recovery in a Power Apparatus) », 17 février 1914, n°270549.

Brevets américains de Henry Elmer WILLSIE (frigoriste, il déposa également de nombreux brevets d'appareils à produire du froid)

- Henry Elmer WILLSIE, « Solar apparatus », déposé le 3 juin 1904, breveté le 9 mars 1915, n°1130871.
- Henry Elmer WILLSIE, « Apparatus for utilizing solar heat », déposé le 19 juin 1903, n°1130870.

Brevets américains de Edward TAUER, « Closed cycle power generating apparatus », déposé le 22 novembre 1963, breveté le 29 novembre 1966, n°3287901.

Brevets américains de A.G. GILKO, « Engine powered by low boiling liquid », déposé le 23 mars 1976, breveté le 22 mars 1977, n°4012911.

Brevets américains de Israël SIEGEL

- Israël SIEGEL, « Low temperature engine », déposé le 7 avril 1976, breveté le 16 août 1977, n°4041705.
- Israël SIEGEL, « Solar differential temperature motor », déposé le 10 novembre 1975, breveté le 19 juillet 1977, n°4036019.

Brevets américains de William F. KYRYLUK

- William F. KYRYLUK, « Solar heat transducteur apparatus », déposé le 14 février 1968, breveté le 2 juin 1970, n°3514942
- William F. KYRYLUK, « Solar heat concentrator », déposé le 28 décembre 1964, breveté le 18 octobre 1966, n°3279457.
- William F. KYRYLUK, « Solar motor », déposé le 26 février 1962, breveté le 16 juin 1964, n°3137125.

Brevet américain de Edward T. HALL, « Solar motor », déposé le 25 juin 1963, breveté le 03 janvier 1967, n°3296469.

Brevet américain de Charles HADDOX DRANE JR., « Apparatus for utilizing solar heat », déposé le 6 mai 1927, breveté le 17 juin 1930, n°1765136.

Brevets américains de Richard J. ROWEKAMP (10 brevets solaires dont)

- Richard J. ROWEKAMP, « System for converting solar energy into useful energy », déposé le 04 mai 1962, breveté le 13 octobre 1964, n°3152442.
- Richard J. ROWEKAMP, « System for converting solar energy into mechanical energy », déposé le 28 juin 1956, breveté le 31 janvier 1961, n°2969637.

Brevet américain de Harry A. TOULMIN Jr., « Methode and apparatus for generating electrical power from solar energy », déposé le 21 décembre 1954, breveté le 16 décembre 1958, n°2864879.

Brevets américains de Duane SHEROCK, « Solar operated device », déposé le 15 mai 1963, breveté le 03 décembre 1963 (?), n°3112862.

Brevets américains de Robert L. SCRAGG, Alfred B. PARKER,

- Robert L. SCRAGG, Alfred B. PARKER, « Solar reactor combustion chamber », déposé le 3 juin 1976, breveté le 31 janvier 1978, n°4070861.
- Robert L. SCRAGG, Alfred B. PARKER, « Solar reactor engine », déposé le 10 février 1976, breveté le 31 mai 1977, n°4026112.
- Robert L. SCRAGG, Alfred B. PARKER, « Solar reactor engine », déposé le 20 juin 1975, breveté le 24 mai 1977, n°4024715.
- Robert L. SCRAGG, Alfred B. PARKER, « Solar reactor steam generator method and apparatus », déposé le 01 avril 1975, breveté le 21 décembre 1976, n°3998205.

Brevets américains de E.H. MCHENRY

- E.H. MCHENRY, « Solar heat motor », déposé le 2 juin 1909, breveté le 2 mai 1911, n°991161.

- E.H. MCHENRY, « Solar heat motor », déposé le 17 mai 1909, breveté le 21 février 1911, n° 984585.
- E.H. MCHENRY, « Apparatus for obtaining power for solar heat », déposé le 30 septembre 1897, breveté le 9 octobre 1900, n°659450.

Brevet américain de John ERICSSSON, « Air engine », déposé le 19 février 1880, breveté le 30 mars 1880, n°226052.
https://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_846994

Brevet américain de Melvin. L. SEVERY, « Apparatus for obtaining continuous power from the sun », déposé le 25 novembre 1892, breveté le 11 avril 1893, n°495163.

Brevet américain de Hutchings E. LE ROI (Pure Oil Compagny), « Apparatus for the utilization of solar energy », déposé le 25 juillet 1957, breveté le 28 juin 1960, n°2942411.

Brevet américain de Frank H. MONKS, Melvin L. SEVERY, « Apparatus for utilizing solar energy », déposé le 5 mai 1893, breveté le 30 octobre 1894, n°528255.

Brevet américain de Ernest C. KETCHUM (Solar Power Compagny), « Apparatus for utilizing solar heat », déposé le 21 mai 1902, breveté le 28 février 1905, n°784005.

Brevet américain de William L. R. EMMET (General Electric Compagny), « Apparatus for utilizing solar heat », déposé le 01 janvier 1909, breveté le 03 janvier 1911, n°980505.

Brevet américain de Reginald A. FESSENDEN, « Power plant », déposé le 08 mars 1909, breveté le 27 février 1917, n°1217165.

Brevet américain de Edgar P. BROWN, « Solar motor », déposé le 12 décembre 1903, breveté le 11 avril 1905, n°787145.

Brevet américain de Walter James HARVEY, « Solar motor », déposé le 7 septembre 1918, breveté le 9 août 1921, n°1386781.

Brevet américain de Arthur V. FOLSOM, « Solar steam-generator », déposé le 14 février 1919, breveté le 06 juillet 1920, n°1345758.

Brevet américain d'Alexis BEURRIER, « Apparatus for rising fluids by solar heat », déposé le 23 décembre 1901, breveté le 29 novembre 1904, n°776106.

Brevets américains de Filiberto A. BONAVENTURA, LA MESA, E. DONALD, « Solar energy pump », déposés le 27 octobre 1951 et le 5 novembre 1951, brevetés le 14 septembre 1954, n°2688922 et n° 2688923.

Brevet américain de Alva L. REYNOLDS, « Solar water-lifting apparatus », déposé le 10 décembre 1888, breveté le 13 août 1889, n°408929.

Brevets américains et canadiens de Aubrey G. ENEAS

- Aubrey G. ENEAS, « Solar generator », déposé le 20 août 1900, breveté le 26 mars 1901, n°670917.
- Aubrey G. ENEAS, « Solar generator », déposé le 16 août 1899, breveté le 26 mars 1901, n°670916.
- Aubrey G. ENEAS, « Solar motor », déposé le 14 février 1901, breveté le 02 avril 1901, n°CA70756.

Brevet américain de Roger W. WARREN (Westinghouse Electric Corporation) qui fait référence aux brevets de Shuman, « Solar electric power plant and an improved thermal collector of solar energy », déposé le 25 février 1975, breveté le 20 juin 1978, n°4095428. Rappelons que Westinghouse Electric Corporation est l'entreprise qui commercialisa en France, sous licence, les réacteurs nucléaires à eau pressurisée (PWR) du Plan Messmer. General Electric (GE) proposa la technologie à eau bouillante (PWR). La technologie française dite « graphite-gaz » fut définitivement écartée en 1969.

Brevet américain de Charles Abel Louis TELLIER, « Apparatus for utilizing atmospheric or solar heat for raising water », déposé le 2 février 1887, breveté le 29 juillet 1890, n°433055.

Brevets soviétique (URSS) de Vyacheslav Ivanovich SMIRNOV

- Vyacheslav Ivanovich SMIRNOV, « Solar motor », déposé le 11 décembre 1932, breveté le 31 décembre 1933.
- Vyacheslav Ivanovich SMIRNOV, « Solar motor », déposé le 21 janvier 1932, breveté le 31 janvier 1933, n°SU29084.
- Vyacheslav Ivanovich SMIRNOV, « Solar motor », déposé le 27 août 1930, breveté le 31 octobre 1931, n°SU23698.

Brevet Espagnole de Jose Yalla CONTE, « Solar motor », déposé le 02 septembre 1930, breveté le 16 octobre 1930, n°ES119789.

Brevets Espagnoles de Isidoro Olcinellas CABANYES

- Isidoro Olcinellas CABANYES, « Air-solar motor », déposé le 12 juillet 1906, breveté le 16 septembre 1906, n°ES38695.
- Isidoro Olcinellas CABANYES, « Air-solar motor », déposé le 14 novembre 1905, breveté le 16 décembre 1905, n°ES37137.
- Isidoro Olcinellas CABANYES, « Air-solar motor », déposé le 05 septembre 1902, breveté le 16 décembre 1902.

Brevets ORMAT

L'entreprise israélienne a déposé 87 brevets en France (base brevets INPI) de 1974 (Ormat Turbines 1965 Ltd) à 2020 (ORMAT Tech Inc). Les brevets ne mentionnent pas directement dans leurs titres « l'énergie solaire » mais ils décrivent des applications de récupération, de transfert, et de conversion de chaleur qui interviennent dans des cycles de Rankine, et qui, à ce titre, peuvent être utilisés dans des dispositifs de transformation de la chaleur solaire.

- Ormat Turbines 1965 Ltd, brevet européen, « Système de lubrification pour une installation d'énergie à fluide organique », déposé le 21 octobre 1981, délivré le 05 mai 1982, n°0050959.
- Ormat Turbines 1965 Ltd, « Condenseur et groupe en comportant application », déposé en Israël le 05 septembre 1972, déposé en France le 31 août 1973, délivré le 13 février 1976, n°7331646.

- Ormat Turbines 1965 Ltd, « Injecteur alimentant en liquide sous faible pression un récipient de pression supérieur », déposé en Israël le 05 septembre 1972 (40296), déposé en France le 31 août 1973, délivré le 02 janvier 1976, n°2274203.
- Ormat Turbines 1965 Ltd, « Installation de transfert de chaleur », déposé en Israël le 20 septembre 1972 (40390), déposé en France le 13 septembre 1973, délivré le 01 avril 1974, n°7332888.

Brevet américain de Harry Z. TABOR et Lucien BRONICKI (fondateur de ORMAT en 1965), « Power generatings unit », déposé le 16 septembre 1965, délivré le 23 juillet 1968, n°3393515.

Brevet américain de Lucien BRONICKI (fondateur de ORMAT en 1965)
- Lucien BRONICKI, « Solar pond power plant and method of operating the same as a part of an electrical generating system », demandé le 15 septembre 1981, délivré le 8 mai 1984, n°4446700.
- Lucien BRONICKI, « Solar energy power station », déposé le 04 août 1980, délivré le 22 mars 1983, n°4377071.

Brevet français de Lucien BRONICKI et Henri NOEL (du Loiret), « Groupe turbo-alternateur ou motopompe ou motoventilateur ou motocompresseur pour liquides ou gaz », demandé le 9 juin 1965, délivré le 17 juillet 1967, n°1492785. Nous plaçons ici ce brevet bien qu'il soit français.

Brevets solaires allemands du XIX^{e} siècles cités par A. Eggers-Lura, p. 193 (voir référence)
- « Einrichtung zur bethatigung einer pumpvorrichtung durch die sonnenwarme (Equipment for the Activity of a Pump Apparatus for Solar Heat) », 15 août 1885, n°34749.
- R. SCHULTZ, « Neuerungen an sonnenkraftmaschinen (Innovations in Solar Machines) », 19 ocotbre 1880, n°14078.

L’ouvrage MACHOVEC, George, « Solar Energy Index », The Arizona State University Solar Energy Collection, Pergamon Press, 1980, répertorie des brevets solaires américains (et internationaux) selon leurs différentes applications (jusqu’à 1979). Cependant, l’exhaustivité semble impossible et notre répertoire ci-dessus complète le travail de recension de Machovec.

ARCHIVES NATIONALES

Les notices ci-dessous sont extraites des répertoires des Archives nationales consultées.

Ministère de l'Industrie

1.

Industrie ; Direction générale de l'industrie ; Direction industries métallurgiques, mécaniques, électriques ; Sous-direction équipement (1976-1980) - Sous-direction équipement, matériels d'équipement (1981-1982) - Sous-direction matériels d'équipement (1983-1986)
Intitulé « APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE L'EXPLOITATION DE L'ENERGIE SOLAIRE »
Répertoire (19910399/1-19910399/17)

Dont :
Carton /2 SOFRETES 1972-1979.
Carton /6-14 Aides du COMES, 1978-1982.
Carton /16 SOFRETES 1976-1981.

2.

Industrie ; Direction générale de l'industrie ; Service biens d'équipement industriel (1958-1988)
Répertoire (19910397/1-19910397/77)

Dont :
Carton /6 État des lieux des pompes marché français 1973-1983.
Carton /18 Alsthom 1981-1985.
Carton /28 Bertin 1968-1984.
Carton / 33 Giordano 1983, Guinard 1969-1983.
Carton /43 Rateau 1969-1984.

Carton /48 SOFRETES 1977-1984.
Carton /62 Mengin 1983-1985.

3.

Industrie ; Direction générale de l'énergie et des matières premières ; Direction gaz, électricité, charbon ; Chargé de mission auprès du directeur (1980-1982)
Répertoire (19830713/1-19830713/3)

Ces documents portent sur les grands thèmes débattus à l'Assemblée nationale de mai 1981 à juillet 1982 en matière de politique énergétique.

Dont :
- Débat sur l'énergie à l'Assemblée nationale les 6 et 7 octobre 1981. Rapport HUGON. Documents préparatoires. Sept - oct. 1981.
- Colloque national "Énergie, démocratie et collectivités locales", Tours, 23 - 24 avril 1982 - Textes des communications. Avril 1982.

4.

Ministère de l'Industrie (1962-1985)
Répertoire (19890567/1-19890567/8)

Rares sur énergie et « confidentielles » (30 ans)

Dont :
Carton /1 Politique industrielle 74-83.
Carton /2 Aides à l'innovation 1976-1979.
Carton /6 Situation et politique énergétique 1973-1984 ; Rapport Bourjol ; Colloque énergie Charbonnel 1973.
Carton /8 dossier « Énergies nouvelles 1975-1982 ».

5.

Industrie ; Cabinet et services rattachés au Ministre ; Cabinet ; Bureau du Cabinet

(1972-1975)
Répertoire (19771408/1-19771408/134)

Cabinet de Jean Charbonnel, Ministre du Développement industriel et scientifique (1972-1973), puis de Michel d'Ornano, Ministre de l'Industrie et de la Recherche (1974-1977).

Dont :
Carton /8 Colloque Énergie. 1973 ; Dossier général sur l'Énergie (Kornblum) : 1974 ; Chrono A. de M. ISAUTIER (énergie) : 1973-1974.
Carton /12 CEA Rapport annuel - Documentation. 1971-1974 ; Problèmes sociaux du CEA : salaires, syndicats, Carrières : 1969-1970 et 1972-1973.
Carton /69 Congrès du soleil : énergie solaire : notes et documentation, allocution de Charbonnel : 1973.

6.
Industrie ; Cabinet et services rattachés au Ministre ; Cabinet ; Conseiller technique (1978-1985)
Répertoire (19880199/1-19880199/70)

Fond André Giraud (Ministre de l'Industrie 1978-1981)

Dont :
Carton /4 Conseil des Ministres : communication sur l'énergie solaire, 14 février 1979.

Carton /5 Conseil des Ministres, 26 juin 1979.
Dossier politique énergétique solaire 20 juin 1979.
Sommet de Tokyo sur l'énergie.
Communication sur l'information en matière nucléaire.
Communication sur la consommation d'électricité et l'équipement de production électrique.
Carton /12 Comités interministériels sur énergie solaire, 12 février 1979.

Carton /66 Relations bilatérales : Afrique et Moyen-Orient.

7.

Industrie ; Direction générale de l'énergie et des matières premières ; Direction des hydrocarbures ; Service relations internationales (1964-1984)
Répertoire (19910666/1-19910666/2)

Dont :
Carton /2 Relations avec l'Iran 1976-1978.

8.

Industrie ; Direction générale de l'énergie et des matières premières ; Direction des hydrocarbures ; Service économique et financier (1959-1989)
Répertoire (19950371/1-19950371/15)

Dont :
Carton /6 Énergies de substitution et autres énergies. 1978-1984.

Commissariat à l'énergie solaire (COMES 1978-1982) – Agence française pour la maîtrise de l'énergie (AFME 1982-1992)

9.

Agence française pour la maîtrise de l'énergie (1971-1992)
Répertoire (19940249/1-19940249/257)

Dont :
Carton /1-/3 Conseil d'administration de AFME 1982-1983.
Carton /100 COMES : rapports d'activité, 1978-1979, 1980, 1981.
Carton /118 Groupe long terme de l'énergie IXe plan 1971-1988 (Rapports des Commission énergie au Plan : VI, VII, VIII ; Filière solaire en France : bilan et perspectives de la filière 1985-1987 ; etc.).
Carton 165 Relations avec divers organismes et sociétés.

• Bouygues, 1987

• CEE, 1982-1987

• Total-CFP, 1983-1987

• Thomson, 1985-1987

• Saint-Gobain, 1982-1987

• Renault, 1983-1987

• Leroy-Somer, 1983-1985

• Rhône-Poulenc, 1983-1986 • PSA, 1983-1987

• Lyonnaise des Eaux, 1987 • GDF, 1983-1987

• Framatome, 1987

• Creusot-Loire, 1983-1986

• ELF, 1982-1986

Carton /166 Relations avec divers organismes et sociétés.

Bouygues-AFME : notes, 1987

• CGE-AFME : accord cadre, 1982-1987

• TOTAL CFP : comités de coordination, accords-cadres, 1983-1987

• Thomson-AFME : notes, 1985-1987

• Saint-Gobain-AFME : conventions, comité, accords-cadres, coordination, 1982-1987

• Renault-AFME : conventions, 1983-1987

• Leroy Somer-AFME : accords-cadres, demande de subventions, 1983-1987

• Rhône Poulenc-AFME : conventions, 1983-1987

• Peugeot SA-AFME : notes, 1983-1987

• Lyonnaise des eaux-AFME : accords-cadres, 1987

• GDF-AFME : notes, 1983-1987

• Framatome-AFME : accords-cadres, 1987

• Creusot-Loire-AFME : notes, 1983-1986

Carton /230-/231 Politique du service action internationale 1981-1992.

Carton /234 Missions et coopération de AFME à l'étranger : Afrique, 1983-1989.

Carton /245 Commissariat à l'énergie atomique (CEA), 1978-1987.

Carton /246-/247-/248-/249 Centre régional d'énergie solaire (CRES de Bamako), 1981-1987.

Carton /250 Relations avec les différentes entreprises, dont : SOFRETES 1981-1983.

10.

Agence française pour la maîtrise de l'énergie (AFME) et organismes antérieurs (AEE, COMES) (1948-1990)

Répertoire (20050139/1-20050139/173)

Dont :

Carton /17 Dossier Premier ministre 1975-1978 ; dossier Matignon 1979 ; rapports COMES sur l'énergie solaire et propositions de recherches.

Carton /31 Commissariat à l'énergie solaire (COMES), Service des relations internationales, minutiers chronologiques 1979-1982.

Carton /35 Solaire communication, promotion, comites techniques, divers, 1977-1983.

Carton /42 Commissariat à l'énergie solaire (COMES), Service action internationale 1979-1982.

Carton /48 Dont : études et notes SOFRETES et COMES, dossiers de projets 1980-1982.

Carton /88-/89 Énergie solaire à Ajaccio, au lieu-dit Vignola (Corse), 1975-1984.

Carton /146 Colloque franco-iraquien sur l'énergie solaire. Bagdad du 27 au 30 novembre 1982.

11.

Commissariat à l'énergie solaire (COMES) (1972-1983).

Répertoire (20010454/1-20010454/42)

Dont :

Caton /6 Relations du COMES avec la Présidence de la République, les ministères, les organismes et entreprises publics et privés (dont le CEA), 1975-1982.

Carton /19-/20 Soutien à la filière de valorisation de l'énergie solaire en France. Projets de la DEN abandonnées 1979-1982

Carton /31 Coopération internationale dans le domaine de l'énergie solaire : Algérie.

Carton /32 Coopération internationale dans le domaine de l'énergie solaire : Brésil.

Carton /33 Coopération internationale dans le domaine de l'énergie solaire : Égypte, EAU.

Carton /39 Coopération internationale dans le domaine de l'énergie solaire : Maroc, Mexique.
Carton /41 Coopération internationale dans le domaine de l'énergie solaire : Sénégal.

Ministère de la Coopération

12.
Coopération ; Direction des politiques du développement ; Service des politiques bilatérales ; Bureau Afrique centrale (1959-1983)
Répertoire (19840224/1-19840224/21)

Dont :
Carton /6 Énergies nouvelles au Tchad, 1973-1979.

13.
Coopération ; Direction du développement ; Service Enseignement,
Culture, Recherche (1935-1984)
Répertoire (19930442/1-19930442/174)

Dont :
Carton /156 Tutelle des organismes : rapports.

Projet énergie renouvelable, énergie atomique, énergie solaire, correspondance, note, rapport du COMES (Commissariat à l'énergie solaire), compte-rendu de mission, 1977-1980. Étude pour la mise en œuvre d'un complexe solaire éolien au Parc national du BANC D'ARGUIN, station d'IWIK menée par la SOFRETES (Société française d'études thermiques et d'énergie solaire). Problème de financement de la SOFRETES, prise en charge du budget par la coopération française (sous-direction de la recherche scientifique), correspondances, notes, tableaux, comptes-rendus de mission, notes manuscrites, 1980-1981.

14.

Coopération ; Cabinet et services rattachés au Ministre ; Cabinet ; Chargé de mission (1959-1985)

Répertoire (20000137/1-20000137/75)

Dont :
Carton /19 Sénégal, Hydraulique.
Carton /50 Niger.

15.

Coopération ; Direction du développement économique ; Fonds d'aide et de coopération ; Secrétariat du comité directeur (1959-1979)
Répertoire (19980545/1-19980545/272)

Un vaste répertoire de 284 pages qui permet d'identifier les subventions FAC attribuées par Pays. Utile pour apprécier la place très marginale accordée aux projets solaires.

Dont :
Carton /61 et /63 Panorama des chantiers SOFRETES au Sahel pour l'année 1977.
Carton /71 Programme Sahel Énergies Nouvelles bilan 1977.
Carton /73 Programme Sahel Énergies Nouvelles bilan 1978.

16.

Coopération ; Direction du développement économique ; Sous-direction infrastructures, industries (1962-1985)
Répertoire (20000231/1-20000231/28)

Dont :
Carton /6 Énergies solaires et renouvelables.
Carton /9 Les dossiers géographiques : Burkina-Faso.
Carton /16-/17-/18 Les dossiers géographiques : Mali et Mauritanie.

Carton /19 Les dossiers géographiques : Niger.
Carton /26 Les dossiers géographiques : Sénégal.

Ministère de la Recherche

17.
Recherche ; Recherche et technologie (1975-1988)
Répertoire (19910783/1-19910783/27)

Dont :
Carton /1 Réunion du Comité à l'énergie atomique du 6 mai 1975 : SOFRETES.
Carton/2 Réunion du Comité à l'énergie atomique du 10 juillet 1980 : SOFRETES-MENGIN.
Carton /3 Réunion du Comité à l'énergie atomique du 10 décembre 1981 : SOFRETES-MENGIN.

18.
Recherche ; Direction générale de la recherche et de la technologie ; Direction du financement de la recherche ; Sous-direction interventions financières ; Bureau gestion administrative et financière (1966-1986)
Répertoire (19890225/1-19890225/4)
Il s'agit de dossiers d'Aide au développement

Dont :
Carton /1 Crédit accordé à la SOFRETES et aux Pompes Guinard.

19.

Recherche ; Centre national de la recherche scientifique (CNRS) ; Direction des programmes et de la stratégie - Direction des études et des programmes (1974-2001)

Répertoire (20040463/1-20040463/177)

Dont :
Carton /25 Rapports d'activité du PIRDES-PIERSEM, 1976-1984.
Carton/62 Énergies renouvelables : Relations avec l'Institut économique et juridique de l'énergie de Grenoble (Isère), (1977-1981).

Conseil économique et social

20.

Archives du Conseil économique et social. Service archives et distribution : avis, rapports et études (1976-1987)

Répertoire (19970205/1-19970205/82)

Dont :

Carton /14 n° 1978-01, Rapporteur : LUNEAU Maurice, Titre : Les énergies nouvelles et les utilisations nouvelles de l'énergie, moyens d'améliorer l'approvisionnement énergétique et de préserver l'environnement, Nature du texte : rapport, Section : Industrie et commerce, Mode de saisine : saisine gouvernementale, Date d'adoption : 23/11/1977.

Archives CEA-Cadarache

Frédéric Caille a sollicité plusieurs fois le service des archives du CEA-Cadarache afin de s'enquérir de l'existence de documents SOFRETES-Mengin qui auraient été conservés à la suite de son déménagement sur le site de Cadarache. Il fallut être très insistant pour obtenir de bien maigres informations. Le service en charge ne fit rien pour faciliter les choses, bien au contraire. Pour finir nous apprîmes qu'aucun inventaire n'était disponible.

Seuls quelques documents épars seraient entreposés, sans classement, à Cadarache. Frédéric Caille, à force d'insistance, parvint à obtenir un rendez-vous sur site (un vieux hangar au fond d'une cours) pour consulter ces documents. Le service des archives refusa alors de donner une évaluation de la quantité et de la nature des documents conservés, n'autorisant la consultation que de six cartons présentés comme un « échantillon ». Aucune reproduction ne fut permise. Ces restrictions d'accès à des archives publiques, ainsi que leurs conditions de consultations, ne permettent donc pas d'apporter la preuve de l'existence des documents consultés et de leur contenu, puisqu'aucun inventaire officiel n'existe et qu'aucune copie n'est possible. Le refus de l'administration de collaborer à un travail de recherche en permettant l'accès à des archives publiques questionne. Gabriel Hecht rencontra des obstacles similaires dans ses demandes d'accès aux archives du CEA (HECHT, Gabrielle, *op. cit*., 2016, pp. 365-370 par exemple). Cet état de fait bien dommageable confirme que s'intéresser à l'action publique solaire française dans les années 1970-1980 est un sujet sensible. Nous dénonçons avec Frédéric Caille ces actions contre-historiographiques qui participent grandement à construire ce que nous conceptualisons dans cette thèse comme l'irrécupérabilité d'une sociotechnique et notamment la production d'ignorance et d'oubli qui la nourrit.

ARCHIVES ASSEMBLEE NATIONALE (du plus récent au plus ancien)

- Assemblée nationale, Rapport d'information parlementaire, L'Institut français du pétrole, n°3461, 12 décembre 2001.

- Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Rapport sur *l'évolution de l'industrie des semi-conducteurs*, par Louis Mexandreau, 1989.

- *Journal Officiel de la République française*, 25 janvier 1982, p. 296.
Question 4275, 26 octobre 1981, de M. Jean-Jacques Léonetti, Énergie (énergie solaire).

- *Journal Officiel de la République française*, 28 septembre 1980, ministère de l'Industrie, pp. 2255-2257.

- *Journal Officiel de la République française*, 30 mai 1980, p. 1450.
Intervention de M. André Tourné, 29 mai 1980, Énergie solaire.

- *Journal Officiel de la République française*, 26 mai 1980, p. 2169.
Questions 29490, 21 avril 1980, de M. Philippe Marchand, Machines-outils (entreprises : Loiret).

- *Journal Officiel de la République française*, 3 mars 1980, p.801.
Questions 26856, 3 mars 1980, de M. Daniel Boulay, Machines-outils (entreprises : Loiret).

- *Journal Officiel de la République française*, 9 juin 1979, p. 4880.
Question de M. André Tourné, 8 juin 1979, Énergies nouvelles.

- *Journal Officiel de la République française*, 10 mai 1979, p. 3558.
Intervention de M. André Tourné, 9 mai 1979, Énergie solaire.

- *Journal Officiel de la République française*, 5 avril 1979, p. 2246.

Intervention de M. Paul Quilès, 4 avril 1979, Économies d'énergie et utilisation de la chaleur.

- *Journal Officiel de la République française*, 18 janvier 1979, p. 629.

Arrêté ministériel du 29 décembre 1978.

- *Journal Officiel de la République française*, 25 novembre 1978, p. 8353 et 8391.

Question de M. Michel Aurillac à M. Jean-Pierre Prouteau, le 24 novembre 1978, Développement de l'énergie solaire.

Question 5766, 2 septembre 1978, de M. Michel Aurillac, Énergie solaire (chauffe-eau).

- *Journal Officiel de la République française*, 9 septembre 1978, p. 5012.

Questions 3149, 16 juin 1978, M. Joseph Franceschi, Énergie solaire (recherches et perspectives).

- *Journal officiel de la République française*, 14 mai 1975, p. 2668.

Intervention de M. Robert Fabre, 14 mai 1975, Politique de l'énergie.

- *Journal Officiel de la République française*, 31 octobre 1974, p 5652.

Intervention de M. Xavier Deniau, 30 octobre 1974, Qualité de vie.

ARCHIVES SENAT (du plus récent au plus ancien)

- N°439, Sénat, Session ordinaire de 1997-1998, Rapport de la commission d'enquête chargée de recueillir des éléments relatifs aux conditions d'élaboration de la politique énergétique de la France et aux conséquences économiques, sociales et financières des choix effectués, Jacques Valade, Président, Henri Revol, Rapporteur.

- N°69, Sénat, Première session ordinaire de 1984-1985, Annexe au procès-verbal de la séance du 19 novembre 1984, Rapport général fait au nom de la commission des Finances, du Contrôle budgétaire et des Comptes économiques de la Nation, sur le projet de loi de finance pour 1985, adopté par l'Assemblée nationale. Par M. Maurice Blin, Sénateur, rapporteur général. Tome I, le budget de 1985 et son contexte économique et financier.

- *Journal Officiel de la République française*, mardi 20 novembre 1984, Débats parlementaires, Sénat, Première session ordinaire de 1984-1985, compte-rendu intégral, 24ème séance, lundi 19 novembre 1984, p. 3230.

- N°97, Sénat, Première session ordinaire de 1982-1983, Annexe au procès-verbal de la séance du 22 novembre 1982, Avis présenté au nom de la Commission des affaires économiques et du Plan, sur le projet de loi de finances pour 1983, adopté par l'Assemblée nationale, Tome VI, Recherche scientifique, Par Pierre Noé, Sénateur, p. 49.

- *Journal officiel de la République française*, mercredi 2 décembre 1981, Débats parlementaires, Sénat, compte rendu intégral, 36ème séance, mardi 1er décembre 1981.

- Sénat, Première session ordinaire de 1981-1982, Annexe au procès-verbal de la séance du 7 octobre 1981, Déclaration de politique générale du Gouvernement De M. Pierre Mauroy, Premier Ministre, sur son programme d'indépendance énergétique, lue par M. Roger QUILLIOT, ministre de l'Urbanisme et du Logement.

- N°76, Sénat, Première session ordinaire de 1978-1979, Annexe au procès-verbal de la séance du 21 novembre 1978, Avis présenté au nom de la Commission des Affaires économiques et Plan, sur le projet de loi de finance pour 1979, adapté par l'Assemblée nationale, Tome IV, Énergie, Par M. Jean-François PINTAT, 46 p.

- N°76, Sénat, Première session ordinaire de 1978-1979, Annexe au procès-verbal de la séance du 21 novembre 1978, Avis présenté au nom de la Commission des Affaires

économiques et Plan, sur le projet de loi de finance pour 1979, adapté par l'Assemblée Nationale, Tome V, Recherche scientifique et technique, par M. Pierre NOE, p. 23-27.

- N°31, Sénat, Première session ordinaire de 1978-1979, Annexe au procès-verbal de la séance du 13 octobre 1978, Rapport d'information sur les enjeux et les conditions des équilibres extérieur de la France, par M. Edgard PISANI, Tome III, Auditions et contributions, première partie.

Compte rendu de l'entretien de M. Edgard Pisani avec M. Jean-Pierre Bérard (ANVAR), 22 juin 1978, p. 757-764.

Audition de M. Mallet (Pompes Guinard), 18 avril 1978, p. 217-231.

Audition de M. Chavannes (Leroy-Somer), 25 avril 1978, p. 232-261.

Audition de M. Pierre Aigrain (Gouvernement), 23 mai 1977, p. 61-74.

- N°375, Sénat, Seconde session ordinaire de 1976-1977, Annexe au procès-verbal de la séance du 16 juin 1977, Rapport d'information fait au nom de la Commission des Finances, du Contrôle budgétaire et des Comptes économiques de la Nation sur le fonctionnement et l'évolution du Commissariat à l'énergie atomique, par M. Yvon Coude Du Foresto.

- N°65, Sénat, Première session ordinaire de 1976-1977, Annexe au procès-verbal de la séance du 23 novembre 1976, Rapport général fait au nom de la Commission des Finances, du contrôle budgétaire et des Comptes économiques de la Nation, sur le projet de loi de finances pour 1977, adoptée par l'Assemblée Nationale, par René MONORY, Sénateur, Rapporteur général, Tomme III, Les moyens des services et les dispositions spéciales, Annexe n°15, Industrie et recherche, Rapporteur spécial : M. Jacques Descours Desacres.

ARCHIVES TELEVISION

Interview télévisée de Jean-Pierre GIRARDIER dans le magazine de TF1 « L'Enjeu » du 17 avril 1980. https://afrisol.hypotheses.org

VOYAGE D'ETUDE

Nous avons effectué un voyage d'étude au Sénégal en mai 2016 avec Frédéric Caille et Monsieur et Madame Girardier. A Dakar, nous nous sommes rendus à l'ancien laboratoire de physique météorologique du professeur Masson et de Jean-Pierre Girardier, aujourd'hui dénommé le CERER. D'anciens collaborateurs sénégalais aux premières recherches solaires étaient présents. Nous avons pu identifier les lieux d'expérimentation des premières pompes solaires des années 1960, dont il ne reste quasiment aucune trace si ce n'est quelques éléments épars. Ce séjour de terrain fut également l'occasion d'échanger avec Jean-Pierre Girardier sur son passé, notamment au cours des journées du colloque « Du soleil pour tous », organisé à l'Université de Dakar par Mamadou Badji et Frédéric Caille. Des déplacements dans deux villages, à Mérina Dakar et à Mont-Rolland, qui furent équipés de pompes solaires SOFRETES dans les années 1970-1980, nous permirent de constater la disparition des installations et de recueillir les témoignages d'habitants (et de chefs de village) qui furent impliqués dans le montage et dans le fonctionnement des pompes. Un compte-rendu de ce voyage d'étude fut publié dans le journal *Le Monde Afrique* en 2017, ainsi que dans les actes du colloque de Dakar (voir notre bibliographie).

DOCUMENTS AUDIOVISUELS

CHEVET, Brigitte, *Les voleurs de feu : qui a peur de l'énergie solaire ?*, film, 52 min, Rennes, 2016.

SAGUIROU, Malam, *Aime, Souffre, Potasse*, Dangarama Production.

Marc Jacquet, technicien-monteur des pompes solaires SOFRETES au Mexique et en Afrique, a conservé des films Super 8 de plusieurs installations. Il a également retrouvé par l'intermédiaire d'un tiers (un ancien ingénieur de la plateforme solaire du CEA à Cadarache) des films Super 8 qui furent jetés dans une poubelle du CEA à la liquidation de la SOFRETES. Le premier film est celui du montage de la pompe de Chinguetti en 1973 en Mauritanie. Le second est un film officiel du gouvernement mexicain du Président Echeverria de promotion du programme solaire *Tonatiuh* en 1973-1975.

ÉVENEMENTIEL

Le 13 décembre 2018, une maquette de la pompe solaire SOFRETES, le moteur MGS 2000, entra au Musée des Arts et Métiers de Paris sous le patronage de l'association loi 1901 PHESO (Promotion et histoire de l'énergie solaire). Cet événement fut l'occasion de réunir de nombreux témoignages d'acteurs SOFRETES (techniciens, ingénieurs, administrateurs, etc.).
https://www.arts-et-metiers.net/musee/objet-la-une-pompe-solaire-sofretes
http://afrisol.hypotheses.org/

WEB (sites outils)

LE MAITRON
http://maitron-en-ligne.univ-paris1.fr

LE WHO'S WHO
https://www.whoswho.fr/

WIKILEAKS
https://wikileaks.org/plusd/?qproject[]=ps&qproject[]=cg&qproject[]=cc&qproject[]=fp&qproject[]=ee&q=&qfconcept=SOLAR+POWER#result

1707 « *Solar Power » diplomatic cables* de 1973 à 1979 (Kissinger cables et Carter cables) du Département d'État à Washington replacent l'énergie solaire dans les relations diplomatiques des États-Unis avec leurs partenaires commerciaux et stratégiques. Le spectre est très large : France, URSS, OTAN, Japon, Israël, Iran, Arabie Saoudite, États du Golfe, Mexique, Brésil, Soudan, etc. Les installations SOFRETES sont mentionnées comme dans les cas des programmes solaires iraniens, saoudiens et mexicains.

GSES (Gruppo per la storia dell'energia solare) (2014).
« Archivio nazionale sulla storia dell'energia solare », en ligne : http://www.gses.it

KCORC
Le Knowledge Center Organic Rankine Cycle, http://www.kcorc.org/en/

PUBLICATIONS INSTITUTIONNELLES

AFME, ministère des Relations extérieures, *Le pompage photovoltaïque*, décembre, 1986.

AFME, *Maîtrise de l'énergie et recherche : quel bilan ? Quel avenir ?*, La Documentation française, 1987.

Agency for International Development (AID), *Development Management in Africa : The Case of the Bakel Small Irrigated Perimeters Project in Senegal*, AID Evaluation Special Study No. 34, December 1985.

AREVA, Document de référence 2001.

AREVA, Documents comptables annuels, Bilan au 31 décembre 2004.

Banque africaine de développement (BAD), *50 ans au service de l'Afrique 1964-2014*, BAD, 2014.

BIMPONG BOTA Kofi, WEINSTEIN Jay, WALTON Jesse D., *Proceeding Of The African Solar Energy Workshop*, May 21 – 26, Atlanta University, Georgia Institut Of Technology, U.S.A., 1979.

BOURJOL Maurice, LE LAMER Christian, *Énergie et démocratie*, Rapport au ministre Délégué auprès du ministre chargé de l'Energie, La Documentation française, 1982.

Bulletin officiel des annonces civiles et commerciales, 1980, pp. 38, 79.

Bulletin officiel des annonces légales obligatoires, Publications périodiques, Sociétés commerciales et industrielles (comptes annuels), Participation du Commissariat à l'énergie atomique « AREVA », 28 mars 2005.

Bulletin officiel des annonces légales obligatoires, Publications périodiques, Sociétés commerciales et industrielles (comptes annuels), Participation du Commissariat à l'énergie atomique « AREVA », bulletin n°43, 9 avril 2007.

CEA, « The three ways to exploit solar energy », *Clefs CEA*, N°44, 2000-2001.

CEA, CNRS, INSTN, « Le soleil au service de l'approvisionnement en eau des pays arides, École d'été de Cadarache, Vol. 1 et 2, 6-11 septembre 1982.

CEA Industrie, Exercice 1998.

CEA Industrie, Exercice 1988.

CEA Industrie, Exercice 1986.

CEA, Rapport annuel, 1983.

CEA, Rapport annuel, 1980.

CEA, Rapport annuel, 1979.

CEA, Rapport annuel, 1978.

CEA, Rapport annuel, 1974.

Centre allemand d'inter-technologie appropriée, *Solar Water Pumps, Technical Potentialities, International R & D Activities*, 1978.

Checchi and Company and Brookhaven National Laboratory, *Senegal Food and energy Study : Energy Use and Opportunities for Energy-related Improvments in the Food System*, 1980.

Club du Sahel, CILSS, *L'énergie dans la stratégie de développement du Sahel, Situation – Perspectives – Recommandations*, octobre 1978.

Commission des Communautés Européennes, *Europe solaire au service du développement*, Special Newsletter of the Directorate General (VIII) for Development, avril, 1982.

Commission des Communautés Européennes, Conférence internationale, *L'énergie solaire au service du développement*, Varese, Italie, 26-29 mars 1979, Commission des Communautés Européennes, Paris, Technique et Documentation, 1980.

Commission of the European Communities, *Energy Research and Development Programme*, Status Report 1977, July 1977.

COMINAK, Brochure de présentation de la société et de ses activités, 1978.

Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH), Dixième réunion du Conseil, Bamako, Compte rendu du Conseil des Ministres, 19-27 février 1980.

Comité interafricain d'études hydrauliques (CIEH), *Les moyens d'exhaure en milieu rural (Tchad)*, Mars 1977.

Conseil économique et social, *La mise en valeur des acquis de l'industrie nucléaire*, Avis adopté au cours de la séance du 28 mars 1984.

Cour des Comptes, Rapport de la Cour des Comptes de 1984.

CURRAN, H.M., *The Use of Organic Working Fluids in Rankine Engines*, Prepared for U. S. Department of Energy, Hittman Associates, Inc., September 1979.

DAVIS, Michael C., *Middle East : Special Studies, 1982-1985*, University Publications Of America, 1985.

Électricité De France (EDF), Direction de l'équipement, Division de l'Information et de la Communication, *Force motrice et froid par l'énergie solaire*, J 39 N, EDF, Paris, Décembre 1980.

Électricité De France (EDF), *Électricité De France et l'énergie solaire*, EDF, Paris, Janvier 1980.

Électricité De France (EDF), Direction de l'équipement, Division de l'Information et de la Communication, en collaboration avec le Commissariat à l'énergie solaire (COMES), *L'énergie solaire et l'habitat : secteur résidentiel et tertiaire : production d'eau chaude sanitaire solaire*, EDF, Paris, 1980.

Électricité De France (EDF), Direction de l'équipement, Département Sites, environnement, Information, Division information sur l'énergie, *Dossier : Solaire et Habitat*, J-41, EDF, Paris, Décembre 1978.

Électricité De France (EDF), *Que peut-on attendre de l'énergie solaire ?*, Division Information sur l'énergie, EDF, Paris, 1978.

Électricité De France (EDF), Direction des études et recherches, *L'énergie solaire*, Section informatique et mathématiques appliquées, EDF, Paris, 1975.

Energy Research and Developement Administration (ERDA) for U.S. Department of Commerce, *Solar Energy Update*, Abstracts 1-228, January 1977.

FAO/DANIDA, *Workshop on Water Lifting Devices in Asia and The Near East*, Bangkok, 4-14 December 1979.

FAO, *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture*, 1983.

FAO, *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture*, 1976.

Fond africain de développement, *Rapport d'achèvement de projet, Centre régional d'énergie solaire de la Communauté économique de l'Afrique de l'Ouest*, mars 1995.

Fondation Chirac et République du Mali, Solidarité pour l'eau dans les pays du bassin du Niger, Synthèse du Forum, Bamako, 17-18 octobre 2011.

German Foundation for International Development, International Conference, *Appropriated Technologies for Semiarid Areas : Wind and Solar Energy for Water Supply*, Berlin West, 15-20 septembre 1975.

Global Water Initiative, *Étude comparative de la valeur actuelle du barrage de Sélingué et de la situation du bilan financier de l'État*, Juin 2017.

Groupe SAEP/NSE, *Les grands projets africains*, 1983.

Guide du Pétrole, Paris, Technip, 1988.

Houston University, Houston, Texas, and Texas Tech University, Lubbock, Texas, For U. S. Government, *Report on the Symposium and Workshop on the 5 MWt Solar Thermal Test Facility*, Houston, Texas, May 17-19, 1976.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 2004*, n°24, novembre 2005.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 2003*, n°18, novembre 2004.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 2001*, n°7, avril 2003.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 2002*, n°12, décembre 2003.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 2000*, n°204, novembre 2001.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 1999*, n° 189, octobre 2000.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 1998*, n°165, décembre 1999.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 1997*, n°148, décembre 1998.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 1996*, n°135, novembre 1997.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 1995*, n°124, janvier 1997.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 1994*, n°93, décembre 1995.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 1993*, n°77, décembre 2012.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 1992*, n°64, février 1994.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 1991*, n°57, avril 1993.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 1990*, n°47, avril 1992.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 1989*, n°36, janvier 1991.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 1988*, n°25, avril 1990.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État, au 31 décembre 1987*, n°280, janvier 1989.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 1986*, n°264, décembre 1988.

INSEE, Archives et Documents, *Répertoire des entreprises contrôlées majoritairement par l'État au 31 décembre 1984*, n° 170, juillet 1986.

INSEE, Archives et Documents, Liste par secteurs des principales concentrations réalisées dans l'industrie française : 1er semestre 1985, n°158, mars 1986.

INSEE, Archives et Documents, Liste par secteurs des principales concentrations réalisées dans l'industrie française : 2ème semestre 1981, n°45, mars 1982.

Institut de Protection et de Sureté Nucléaire (IPSN), Rapport annuel d'activité, 1980.

INstitut des Sciences et Techniques Nucléaires (INSTN), *Atelier sur la formation dans le domaine de l'énergie solaire, 14-17 novembre 1983*, Cadarache.

Lawrence Livermore Laboratory, *Solar Technology Applications : A Survey Of Solar Powered Irrigation Systems*, April 17, 1978.

McGraw-Hill Inc., *Future Energy Sources, National Development Strategies*, Volume 1, Mideast and Africa, 1982.

Ministère de la Coopération (Direction des programmes), ministère de l'Industrie et de la Recherche (Délégation aux Énergies Nouvelles), *Énergie nouvelle pour le Sahel*, Rapport technique, Mai 1975.

Ministère de l'Environnement et du Cadre de vie, COMES-Plan construction, *Projets pour 1000 maisons solaires*, Éditions du Moniteur, 1981.

Ministère de l'Industrie, Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières (DGEMP), *Énergies*, 1979.

Ministère de l'Industrie et de la Recherche, Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), *Les moyens d'exhaure pour puits et forages d'eau*, juin 1983.

Ministère de l'Industrie, Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières (DGEMP), Services des matières premières du sous-sol, BRGM, Service géologique national, Département géothermie, *La géothermie à la Conférence des Nations-Unies sur les énergies nouvelles et renouvelables*, Activité française, 1981.

Ministère des Relations extérieures (coopération et développement), Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie (AFME), SEMA, *Énergies renouvelables au Sahel. Évaluation des projets*, mai 1982.

Mission d'évaluation de l'Office du Niger pour le ministère des Relations extérieures, coopération et développement, Avril 1985.

MOTOROLA Inc., RAGSDALE Clyde, QUASHIE Prosper, *Market Definition Study of Photovoltaic Power for Remote Villages in Developing Countries*, For NASA and US Department of Energy, October 1980.

NASA, STEIGELMANN William, ASMON Itil, for U.S. Department of Energy, Conservation and Renewable Energy, Division of Solar Thermal Energy Systems, *Market*

Assessment of Photovoltaic Power systems for Agricultural Applications in Mexico, July 1981.

NASA, *Energy. A Continuing Bibliography With Indexes*, Issue 20, 1979.

Nations Unies, Département des affaires économiques et sociales, *Sources nouvelles d'énergie et production d'énergie*, Rapport sur les travaux de la Conférence des Nations-Unies sur les sources nouvelles d'énergie, Énergie solaire, énergie éolienne, énergie géothermique, Romme, 21-31 août 1961, New York, 1962.

National Academy of Sciences, *L'énergie et le développement rural. Ressources renouvelables et options techniques pour les pays en développement*, Rapport d'un groupe de travail ad hoc du Comité consultatif sur les innovations techniques, Conseil de la science et de la technologie pour le développement international, Commission des relations internationales., Washington D.C., 1977.

Oak Ridge National Laboratory, Energy Research and Development Administration (ERDA), National Science Fondation, *Inventory of Energy Research and Development : 1973-1975*, Committee on Science and Technology, U.S. House of Representatives, Ninety-Fourth Congress, Second Session, January, 1976.

Observatoire des entreprises nationales, *Le secteur public industriel en 1984*, 1985.

OCDE, *La politique scientifique et technologique pour les années 1980*, 1981.

OCDE, *La technologie contestée : participation du public et prise de décision en matière de science et de technologie*, Rapport de recherche, OCDE, 1979.

OCDE, INTERFUTURS, *Face aux futurs : pour une maîtrise du vraisemblable et une gestion de l'imprévisible*, juin 1979, COURCIER, Michel, « Les scénarios économiques mondiaux à l'horizon 2000 ».

OCDE, *Uranium : ressources, production et demande*, Rapport, OCDE, 1977.

OCDE, JEQUIER Nicolas, *Appropriate Technology. Problems and Promises*, 1976.

OCDE, *Perspectives énergétiques jusqu'en 1985*, Volumes 1 et 2, Paris, OCDE, 1974.

Organisation météorologique mondiale (OMM), Bulletin de l'OMM, janvier, 1977.

OMVS (Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal), *Projet Énergie Manantali : évaluation environnementale*, Rapport final, septembre 1995.

ONU, *Proceedings of the Symposium on Solar Science and Technology*, 25 November - 4 December 1980, Bangkok, Thailand, 1981.

ONU, Conseil économique et social, Commission économique pour l'Afrique, Séminaire régional sur l'énergie solaire, *Sommaire des activités et des réalisations en matière d'utilisation de l'énergie solaire en Afrique*, Niamey, Niger, 8-13 janvier 1979.

ONU, Conseil économique et social, Commission économique pour l'Afrique, *Coopération entre l'OPEP et les pays africains en développement*, Deuxième réunion africaine sur l'énergie, Accra (Ghana), 8-19 novembre 1976.

ONU, *Actes officiels de la Conférence des Nations Unies sur les sources nouvelles d'énergie. Énergie solaire, énergie éolienne et énergie géothermique, Rome, 21-31 août 1961*, Nations Unis, New York, 1963.
- Le volume 1 des « Séances générales », avec notamment :
DE BREUVERY E.S., « Les sources nouvelles d'énergie dans le cadre du développement énergétique », GR/1(GEN).
ABDEL-RAHMAN, I.H., « Les aspects sociaux des sources d'énergie », GEN/11.
AILLERET, P., « L'abondance des flux naturels d'énergie et les choix entre les moyens de les capter », GEN/12.

ANGELINI, A.M., « Réflexions sur la valeur économique de l'énergie d'origine géothermique, éolienne et solaire, en particulier après transformation en énergie électrique », GEN/1.
HARTLEY, H., « L'énergie, gage de progrès pour les pays sous-développés », GEN/4.
KAPUR, J.C., « Considérations sociales et économiques ayant trait à la mise en œuvre de l'énergie solaire dans les régions sous-développées », GEN/ 4.
MUELLER, H.F., « Les problèmes posés par la fourniture d'énergie aux pays sous-développés, en tenant particulièrement compte des sources nouvelles de force motrice », GEN/7.
- Les volumes 4, 5, et 6 sont dédiés à l'énergie solaire, avec notamment :
Le Point II.C.1 « Utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie mécanique et d'électricité » (Présidence de Henri MASSON), Volume 4.
TABOR Harry, « Utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie mécanique et d'électricité au moyen de moteurs alternatifs et de turbines », GR/9, pp. 9-16.
TABOR Harry, BRONICKI L. Y., « Petite turbine pour centrale autonome à énergie solaire », S/54, pp. 68-81.

ONUDI, KETTANI Ali, *Meeting of the Consulting Group on Solar Energy Research and Application (COSERA)*, Beijing, China, December 11-15, 1989.

ONUDI, *Étude de faisabilité d'une unité industrielle de production de matériel solaire*, *Mali*, décembre 1984.

ONUDI, *Madagascar. Énergies nouvelles et renouvelables*, février 1982.

ONUDI, *Expertise sur la planification, la mise en valeur et l'utilisation des sources d'énergie nouvelles et renouvelables en République Centrafricaine*, novembre 1982.

ONUDI, *Techniques d'utilisation de l'énergie solaire, Série Mise au point et transfert des techniques*, n°5, 1980.

ONUDI, *Rapport de la Mission en Haute-Volta*, *Développement et promotion de sources d'énergie non conventionnelles*, 19-24 mars 1979.

ONUDI, *Programme de recherches relatif aux applications de l'énergie solaire au Sénégal, au Mali et au Niger*, *Rapport final*, 1978.

ONUDI, *Information Sources on Non-Conventional Sources of Energy*, Guides to Information Sources, n°30, 1978.

ONUDI, International Forum on Appropriate Industrial Technology, Working group n°11, *Appropriate Technology for Rural Energy*, New Dehli/Anand, India, 20-30 November, 1978.

ONUDI, *Expert Group Meeting on the Existing Solar Technology and the Possibilities of Manufacturing Solar Equipment in Developing Countries, Conclusions and Recommendations*, February 14-18, 1977.

ONUDI, *Projet d'unité pilote pour la production d'équipement simple à énergie solaire*, Première conférence des États membres de l'O.C.A.M sur le développement du machinisme et de l'outillage agricole, 1977.

ONUDI, *The development of solar energy utilization in developing countries*, December, 1976.

ONUDI, *Report on the activities of the Brace Research Institute and their relation to development and technology transfer*, October, 1976.

ONUDI, *Examen des possibilités et des besoins de création d'installations pilotes de démonstration et de fabrication d'outils agricoles, instruments aratoires et machines agricoles simples à traction animale dans les pays de la zone soudano-sahélienne*, mars, 1976.

ONUDI, *Assistance pour la création d'une entreprise fabricant des appareils utilisant l'énergie solaire, Sénégal*, février, 1976.

PNUE, *Report of the government council on the work of its fourth session 30 March – 14 April 1976*, UN, New York, 1976.

Premier ministre, Délégation aux énergies nouvelles (DEN), *L'énergie solaire*, n°110, Service d'information et de diffusion, mars 1976.

Rapport de la commission d'enquête parlementaire sur les sociétés pétrolières opérant en France, Paris, Union Générale d'Éditions, 1974.

République du Niger, ministère des Travaux publics, des Transports et de l'Urbanisme, *Office de l'énergie solaire* (ONERSOL), date ?.

SEMA-METRA, ORGATEC, FGU-KRONBERG/AHT, *Centre Nationale d'Énergie Solaire (CRES), étude de factabilité,* CEAO, CILSS, 15 septembre 1981.

Société nouvelle des Éditions France Outremer, *Europe Outremer*, volume 640-641, 1983, p. 48.

Solar Energy Research Insitute (SERI) for U.S. Department of Energy, *Solar Law Reporter*, Volume 3, N°1-2-3-4-5-6, 1981.

Solar Energy Research Insitute (SERI) for US. Department of Energy, *Solar Energy Legal Bibliography – Second Update*, May 1981.

Solar Energy Research Insitute (SERI) for US. Department of Energy, *Final report : Comparative Ranking of 0.1 – 10 MWe Solar Thermal Electric Power Systems*, Volume II, Supporting Data, July 1980.

Solar Energy Research Insitute (SERI) for U.S. Department of Energy, ASHWORTH John H., NEUENDORFFER Jean W., *Matching Renewable Enrgy Systems to Village-Level Energy Needs*, June 1980.

Solar Energy Research Insitute (SERI) for US. Department of Energy, *Solar Energy Legal Bibliography – Update*, June 1980.

Solar Energy Research Insitute (SERI) for U.S. Department of Energy, HAWKINS Donna, *Energy in Mexico. A profile of solar energy activity in its national context*, 1980.

Solar Energy Research Insitute (SERI) for U.S. Department of Energy, *Reaching Up, Reaching Out, A Guide to Organizing Local Solar Events*, 1980.

Solar Energy Research Insitute (SERI) for U.S. Department of Energy, ASHWORTH John A., *Renewable Energy for the World's Poor. A Review of Current International Developement. Assistance Programs*, October 1979.

Solar Energy Research Insitute (SERI) for US. Department of Energy, LAITOS Jan, FEUERSTEIN Randall J., *Regulated Utilities and Solar Energy : A Legal-Economic Analysis of the Major Issues Affecting the Solar Commercialization effort*, June 1979.

Solar Energy Research Insitute (SERI) for US. Department of Energy, *Solar Energy Legal Bibliography – Final Report*, March, 1979.

Solar Energy Research Insitute (SERI) for US. Department of Energy, *Solar energy Update*, January 1979.

SONED Afrique, BRGM, OFERMAT, *Projet de structure de maintenance et moyens d'exhaure des ouvrages d'hydraulique rurale au Sénégal*, Rapport financé par la Caisse centrale de coopération économique et le Fonds d'aide et de coopération de la République française, mars 1981.

TECHNIP, *Guide du pétrole*, Paris, Technip, 1988.

TECHNIP, *Guide international de l'énergie nucléaire*, Paris, Technip, 1987.

UEMOA, Rapport de consultation de WRIGHT, Albert, *Propositions en vue de la relance des activités de développement dans l'espace de l'UEMOA*, par la mise en œuvre de la filière des énergies nouvelles et renouvelables (ENR), janvier-mars 1996.

UNESCO - ROSTA, Kenya, Mission de consultation de WRIGHT, Albert, ONERSOL, Niger, *Projet régional de développement de l'énergie solaire pour les pays de la sous-région en général, et le Sénégal en particulier*, juin-juillet 1994.

UNESCO, « Créativité et innovation dans le domaine de l'art et de la science », *Impact science et société*, n°134-135, 1984.

UNESCO, *Plus qu'il n'en faut ? Une évaluation optimiste des ressources énergétiques mondiales*, Paris, 1983.

UNESCO, INSTN, Conseil de l'Europe, AFME, Atelier sur la formation dans le domaine de l'énergie solaire, 14-17 novembre, 1983, Cadarache.

UNESCO, « Maîtriser l'énergie », *Le Courrier de l'UNESCO*, juillet 1981.

UNESCO, Deuxième forum international sur les problèmes fondamentaux de l'énergie dans le monde, Espagne, 11-15 juin 1979, Rapport final, Février, 1980, Paris.

UNESCO, *L'institutionnalisation de la participation populaire au développement : problèmes et solutions en tenant compte des contextes socio-économiques, politiques et technologiques, par J. Vanek (USA)*, Dakar, Sénégal, 10-14 décembre 1979, Paris, 1979.

UNESCO, « Le potentiel énergétique. Plus important qu'on ne le croit », *Impact science et société*, n°4, Octobre-Décembre 1979.

UNESCO, « Énergies pour demain », *Le Courrier de l'UNESCO*, juin, 1978.

UNESCO, *Report of european solar energy meeting on cooperation in the field of solar energy applications*, 16-19 May, 1978, Bulgaria.

UNESCO, Asian working group meeting on solar energy, New Delhi, India, 23-25 january 1978, Final Report, 1978.

UNESCO, « Au Mali : la plus grande centrale solaire du monde », *Informations*, N° 719, 1977, pp. 10-14.

UNESCO, *Report on the UNESCO Latin American Solar Energy Mission*, January, 1977.

UNESCO, *L'énergie solaire : état de la technique et technique des états*, Rapport sur les activités déployées dans l'ensemble du monde et sur les possibilités de coopération internationale, février, 1974.

UNESCO, « Sources mondiales d'énergie. Les promesses du soleil », *Le courrier de l'UNESCO*, janvier 1974.

UNESCO, *Le soleil au service de l'homme*, Paris, Éditions de l'UNESCO, 1973, dont plus particulièrement :
- TEAGAN William Peter et SARGENT Stephen L., « A solar powered combined heating/cooling system with the air conditioning unit driven by an organic Rankine-cycle engin », E.H94-1 – E.H94-10.
- SABBAGH J.A., SAYIGH A.A.M., EL-SALAM E.M.A., « Research into solar energy utilization in Saudi Arabia », E.83-1 – E83-10.
- VANNUCCI, Sergio Nelo, « Sea water distillation using solar energy with a solar preheater », E.102-1 – E.102-7.
- SAKR, MADY M., ABDEL-HAFIZ M., « Finned Air-cooled Solar Still », E.141-1 – E.141-20.

- FARBER E.A., MORRISON C.A., TRIANDAFYLLIS J., « The University of Florida Solar House », EH.107-1 – EH.107-10.
- ALEXANDROFF George et Jeanne-Marie, GIRARDIER Jean-Pierre, « Toitures solaires », EH.109-1 – EH.109-9.
- ALEXANDROFF George, GIRARDIER Jean-Pierre, « Les moteurs solaires et l'habitat pour les zones arides. Réalisations actuelles et perspectives », E.82-1 – E.82-10.
- MOUMOUNI Abdou et HIMA Abdoulaye, « Étude, fabrication, vulgarisation de chauffe-eau solaires adaptés au climat du Sahel », EH.65-1 – EH.65-10.
- MOUMOUNI Abdou et WRIGHT Albert Michel, « Étude expérimentale d'un cylindro-parabolique », E.81-1 – E.81-10.

UNESCO, *Les problèmes de la zone aride*, Actes du colloque de Paris, Paris, UNESCO, 1962, dont plus particulièrement :
- TABOR H., « L'énergie solaire », Communication n°12, 1960, 23 p.

UNESCO, « Colloque sur les problèmes de la zone aride », *Tiers Monde*, t. I, n°4, Paris, 1960.

UNESCO, « L'énergie solaire, espoirs et réalités », *Le courrier de l'UNESCO*, septembre 1958.

UNESCO, *Énergie solaire et éolienne, recherches sur la zone aride*, Actes du colloque de New Delhi qui s'est tenu en octobre 1954, Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, Paris, 1956.

UNESCO, Département des sciences exactes et naturelles, *Programme de la zone aride, Utilisation de l'énergie solaire*, avril, 1956.

UNESCO, « A la conquête du désert », *Le Courrier de l'UNESCO*, 1955.

UNESCO, *Programme de la zone aride, Rapport sur les sources d'énergie et leur utilisation dans les régions arides*, par Donald H. Menzel, avril 1954.

UNESCO, *Programme de la zone aride, Rapport sur la conception des diverses machines à énergie solaire*, par Nathan Robinson (Israël), septembre, 1953.

UNITED NATION, Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, *Proceedings of the meeting of the expert working group on the use of solar and wind energy*, Energy ressources development series, No. 16, New York, 1976.

Université Nationale du Rwanda, Centre d'Études et d'Applications de l'Énergie au Rwanda (C.E.A.E.R.), Rapport Général et Actes du Premier séminaire sur les apports des énergies renouvelables à la gestion de l'énergie et de l'environnement au Rwanda tenu à Kigali du 10 au 15 janvier 1983.

URAMEX, *Presencia de uramex en el desarrollo de méxico, Uramex*, 1980.

U.S. AID, *Étude des méthodes d'exhaure au Tchad*, 18 août 1986.

U.S. AID, *Development Management in Africa : The Case of the Bakel Small Irrigated Perimeters Project in Senegal*, AID Evaluation Special Study No. 34, December 1985.

U.S. AID, *L'énergie renouvelable au Cameroun : possibilités de projets*, 1er août 1979.

U.S. Congress Senate, *Solar Energy : How Much ? How Much From Small Business ? How soon ? Why Not More ? Why Not Sooner ?,* Hearings before the Select Committee On Small Business, United States Senate, Ninety-Fourth Congress, First Session on Energy Research and Developement and Small Business, Part 1D-Appendix, May 13 and 14, 1975.

U.S. Congress, *Foreign assistance and related programs appropriations for 1980*, Hearings before a subcommittee of the US Congress House Committee on appropriations. House of representatives, Ninety-sixth Congress, first session, Subcommittee on foreign operations and related programs, Part 4, Agency for international developement, Secretary of State, Washington, 1979.

U.S. Department of Agriculture, *Solar- and Wind-Powered Irrigation Systems*, Agricultural Economic Report N°482, February 1982.

U.S. Department of Agriculture, *Solar Energy And Nonfossil Fuel Research. A Directory of Projects Related to Agriculture 1976-1979*, September, 1979.

U.S. Department of Commerce, Foreign Broadcast Information Service (FBIS), *West Europe Report, Science and Technologie*, n°117, 25 August 1982.

U.S. Department of Energy, Technical Information Center, *Solar Energy Update*, October, 1982.

U.S. Department of Energy, *Energy Research Abstracts*, volume 6, 5644 à 11871, 1981.

U.S. Department of Energy, Technical Information Center, *Solar Energy Update*, October, 1980.

U.S. Department of Energy, *Secretary's Annual Report To Congress*, January, 1980.

U.S. Department of Energy, TULLOCK, Bruce, *Solar Energy Project*, January 1979.

U.S. Department of Energy, *Solar Energy Commercialization for Middle East Countries*, December, 1978.

U.S. Department of Energy, *CCMS Solar Energy Pilot Study, First Follow-Up Report, October 1979,* January 1980.

U.S. Department of Interior, Bureau of Mines, *Minerals Yearbook 1978-1979*, Area Reports : International, Volume III, Washington, 1981.

World Bank, Sir William Halcrow and Partners in association with the Intermediate Technology Development Croup Ltd., *Small-Scale Solar-Powered Irrigation Pumping Systems Technical and Economical Review*, London, September 1981.

PERIODIQUES

African Defence Journal, n°78-88, 1987, p. 283.

Afrique agriculture, n°49, 1er septembre 1979.

Aménagement et nature, n°33, 1974.

Annales des Mines

- *Annales des Mines*, mars 1988, pp. 38-55.
- *Annales des Mines*, Numéro du Bicentenaire, n°1, 1983, pp. 86-91 et pp. 115-120.
- *Annales des Mines*, Documents préparatoires au débat parlementaire sur l'énergie (6-7 octobre 1981), n°1-2, 1982.
- *Annales des mines*, Utilisation rationnelle de l'énergie dans l'industrie, n°7, juillet 1982.
- *Annales des mines*, La France et le développement des énergies nouvelles et renouvelables, n°9, septembre 1981. Cette plaquette, éditée à l'occasion de la Conférence des Nations Unis sur les Sources d'Énergies Nouvelles et Renouvelables (CNUSENR - NAIROBI, août 1981), a été préparée par le Commissariat à l'Énergie Solaire (COMES). La SEMA en a assuré la rédaction.
- *Annales des Mines*, Les pompes à chaleur dans l'habitat, n°2, février 1980.
- *Annales des mines*, Production décentralisée d'électricité, n°4, avril 1979.
- *Annales des Mines*, Évolution des procédés d'utilisation de l'énergie, n°11, novembre 1978.
- *Annales des Mines*, Programmes et filières nucléaires, Extrait du rapport de la Fondation Ford, n°5-6, mai-juin 1978, pp. 165-185.
- *Annales des Mines*, Techniques énergétiques nouvelles liées au sous-sol, n°4, avril 1978.
- *Annales des Mines*, L'industrie du gaz, n°8, Aout 1977, pp. 78-79.
- *Annales des mines*, Innovation et évaluation technologique, octobre-novembre 1974.
- *Annales des Mines*, février 1969, p. 10.
- *Annales des Mines*, janvier 1966, pp. 431-439, pp. 489-498,

- *Annales des Mines*, janvier 1955, pp. 72-87.

Arizona Highways, August 1975.

Association française pour l'avancement des sciences
- GANDILLON, Pierre, « La Houille d'or », Association française pour l'avancement des sciences, Compte-rendu de la 54e session, Congrès d'Alger, Alger, 1930 pp. 67-71.

Atomes
- CRIQUI, F., « Bienfaits et dangers du soleil », *Atomes*, n°169, août-septembre 1960.
- CRIQUI, F., « curieux (Un) moteur solaire », *Atomes*, n°209, avril 1964.
- DE CLOSETS, François, « De l'énergie du soleil à la bombe à hydrogène », *Atomes*, n°48, mars 1950.
- DUCROCQ, Albert, « Énergie solaire », *Atomes*, n°177, mai 1961.
- DUFRAISSE, Charles, « La chimie réalisera-t-elle le captage de l'énergie solaire », *Atomes*, n° 61, Avril 1951.

Autrement, Association autrement
- Numéros 25-28, 1980, p. 148.

Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale
- « Chaleur solaire », Procès-verbaux des séances de la société d'encouragement, séance du 26 novembre 1875, *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, décembre 1875, p.729.
- « Utilisation de la chaleur solaire pour l'élévation des eaux », Séance du Conseil d'administration, Procès-verbaux, *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, tome 8, février 1881, p. 119.
- RICHARD, M.-G., Revue de la quinzaine, Procès-verbaux des séances de la société d'encouragement, séance du 28 mai 1909, *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, juin 1909, pp. 1244-1249.

- SHUBERT, A., « Utilisation de la chaleur solaire », Note de mécanique, *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, juin 1914, pp.780-783.

Bulletin d'information de l'IESUA, n°1-8, Alger, janvier 1960-janvier 1963.

CEDRATS : Catalogue raisonné des périodiques écologistes.
http://www.cedrats.org/revues-ecolos/

Ciel et Terre (revue Belge)
- DOGNIAUX, Robert, « Congrès international pour l'utilisation de l'énergie solaire, Tucson et Phoenix, Arizona, USA, novembre 1955 », *Ciel et Terre*, vol. 71, 1955, pp. 426-427.
- JAUMOTTE, A. et FRANÇOIS, G., « Deux transformation indirectes de l'énergie solaire en énergie électrique », *Ciel et Terre*, vol. 58, 1942, pp. 227-235.
- JAUMOTTE, A., « L'utilisation de l'énergie solaire », vol 57, 1941, pp. 371-388.

Compte-rendu de l'Académie des Sciences
- MOUCHOT, Augustin, « Résultats obtenus dans les essais d'applications industrielles de la chaleur solaire », *Comptes Rendus des séances de l'année 1875*, 4 octobre, pp. 571-574.
- IMBEAUX, Édouard, « Projet de mise en valeur des chutes à créer entre la Méditerranée et la mer Morte : électrification de la Palestine, irrigation et canal de navigation intérieure », Géographie physique et Génie civil, note de Edouard Imbeaux du 16 juin 1925, séance du 6 juillet 1925, pp. 11-15.
- IMBEAUX, Édouard, « A propos d'un projet de mise en valeur des chutes à créer entre la Méditerranée et la mer Morte », Géographie physique et Génie civil, Compte-rendu de l'Académie des sciences, séance du 23 novembre 1925, pp. 760-761.
- BARJOT, Henri, « Une énergie naturelle utilisable », Physique industrielle, Compte-rendu de l'Académie des sciences, note de Henri Barjot du 26 novembre 1928 présentée par M. L. Lecornu, séance du 3 décembre 1928, pp. 1048-1050.
- GANDILLON, Pierre, « Projet de mise en valeur de la région du Lac Maracaïbo au Vénézuela », Géographie physique et Génie civil, Compte-rendu de l'Académie des

sciences, note de M. Gandillon du 25 janvier 1932, séance du 8 février 1932, pp.556-559.
- BARJOT, Henri, « L'utilisation rationnelle de la chaleur solaire », Physique industrielle, Compte-rendu de l'Académie des sciences, note de Henri Barjot du 7 mars 1932 présentée par M. L. Lecornu, séance du 25 avril 1932, pp. 1484-1486.

Culture technique, les ingénieurs, n°12, mars 1984.

Diagrammes, « L'énergie solaire », n°17, Monte-Carlo, Éditions du Cap, juillet 1958.

Europe outremer, vol. 640-641, 1983, p. 48.

Exposition universelle de 1878 à Paris :
- HIRSCH, « Machines motrices diverses », Rapport sur les machines et les appareils de mécanique générale, Exposition universelle de 1878 à Paris, Groupe VI, Classe 54, 1883, pp. 291-314. (Mouchot p.311-314).
- LEDIEU A., CADIAT E., « Utilisation industrielle du soleil, et production mécanique de chaud et de froid », *Le nouveau matériel naval*, Tome 2, 5ème partie, Vve Ch. Dunod, Paris, 1890, pp. 271-301.
- PIFRE, Abel, « Conférence sur l'utilisation directe et industrielle de la chaleur solaire », *Conférences du Palais du Trocadéro, Exposition universelle international de 1878 à Paris*, 28 août 1878, tome 1, Paris : Imprimerie nationale, 1879, pp. 169-183.

Jaune Taupe, Juillet-Août-Septembre 1979.

Journal de la marine marchande et de la navigation aérienne, vol. 61, 1979, p. 1803.

Journal of Solar Energy Engineering (American Society of Mechanical Engineering)
- EINAV, Amnon, « Solar Energy Research and Development Achievements in Israel and Their Practical Significance », *Journal of Solar Energy Engineering,* Volume 126, Issue 3, August 2004, pp. 921-928.

- BOY-MARCOTTE J.L., DANCETTE, M., BLIAUX J., BACCONNET E., MALHERBE J., « Construction of a 100 kW Solar Thermal-Electric Experimental Plant », *Journal of Solar Energy Engineering*, Volume 107, Issue 3, August 1985, pp. 196-201.
- KREITH, Franck, « Technical Editor's Page : Solar Energy for Developing Countries », *Journal of Solar Energy Engineering*, Volume 102, Issue 3, August 1980, pp. 174-187.

La Croix

- Supplément n°28635, 1er avril 1977.
- H.C., « Curieux projets d'utilisation d'énergies naturelles. La mise en valeur de la Côte des Somalis », *La Croix*, 21 juin 1932.
- L. B., « Une science nouvelle. L'héliodynamique. », *La Croix*, 1er février 1883, pp. 689-697.

La Gazette nucléaire

- n°2, 1976 (http://gazettenucleaire.org/?url=/1976/02.html)
- n° 19, 1978 (http://gazettenucleaire.org/?url=/1978/19.html).

La Gueule ouverte

- *La Gueule ouverte*, n°290, 5 décembre 1979.
- *La Gueule ouverte*, n°137, 22 décembre 1976.
- *La Gueule ouverte*, n°113, 7 juillet 1976.
- *La Gueule ouverte*, n°59, 25 juin 1975.

La Houille Blanche

- GUARINI, Émile, « Chaleur et énergie : L'utilisation de la chaleur ambiante comme force motrice au moyen de la machine frigorifique », *La Houille Blanche*, N°3 (Mai-Juin 1927), pp. 73-77.
- AUDEBRAND, « Suggestions », *La Houille Blanche*, N°6 (Novembre-décembre 1921), pp. 217-218.
- AUDEBRAND, « Thermodynamique. A propos du froid industriel », *La Houille Blanche,* N°12 (Décembre 1910), pp. 327-329.

- COTE, E.-F., « L'économie industrielle des forces hydrauliques et leur législation, extrait des mémoires de la Société des Ingénieurs Civils de France, Bulletin de mai 1905 », *La Houille Blanche*, N°8 (Août 1905), pp. 181-187.
- VADOT, L., « Les centrales hydro-solaires », *La Houille Blanche*, N°5 (septembre-octobre 1954), pp. 557-568.

La jaune et la rouge
- Le pétrole off-shore, N°396, juin-juillet 1984.
- Quelques grandes réalisation françaises à l'étranger, N°390, décembre 1983.
- L'énergie, N°353, juin 1980.
- Le Tiers monde, N°338, février 1979.
- Les sciences de la terre, N°327, février 1978.
- Les travaux publics à la conquête du monde, N°311, mai 1976.
- L'EDF face au pari nucléaire, N°10, mars 1975.
- Tant qu'il y aura du pétrole, N°3, juin 1974.

La Nature
- « Machine solaire », Académie des sciences, séance du 4 octobre 1875, *La Nature*, n°123, 9 octobre 1875, p. 303.
-BONTEMPS, Ch., « La diffusion de la force – La machine solaire de M. Mouchot », n°137, 15 janvier 1876, pp. 102-107.
- « Machine solaire », *La Nature*, n°175, 7 octobre 1876, p. 304.
-MEUNIER, Stanislas, « Machine solaire », Académie des sciences, séance du 30 septembre 1878, *La Nature*, n°279, 5 octobre 1878, p. 303-304.
- « Machine solaire », Académie des sciences, séance du 22 avril 1878, *La Nature*, n°256, 27 avril 1878, p. 351.
- « Utilisation de la chaleur solaire », *La Nature*, n°365, 29 mai 1880, p. 415.
- « Utilisation industrielle de la chaleur solaire », *La Nature*, n°376, 14 août 1880, p. 191.
- TISSANDIER, Gaston, « Utilisation de la chaleur du soleil – imprimerie solaire », *La Nature*, n°482, 26 août 1882, pp. 193.

- ERICSSON, J., « Moteur solaire et température du soleil », *La Nature*, n°566, 5 avril 1884, pp. 289-290.
- TELLIER, Charles, « Utilisation de la chaleur solaire pour l'élévation des eaux », *La Nature*, n°641, 12 septembre 1885, pp. 221-222.
- De ROCHAS, Albert, « Les origines de la machine à vapeur et de l'utilisation mécanique de la chaleur solaire », *La Nature*, n°917, 27 décembre 1890, pp. 51-52.
- « Utilisation de la chaleur solaire », *La Nature*, n°1345, 5 janvier 1903, p.78.
- « Moteur solaire pour irrigations », *La Nature*, n°1367, 6 juin 1903, p. 143.
- GRADENWITZ, A., « L'énergie du soleil comme force motrice », *La Nature*, n°1828, 6 juin 1908, p. 27.
- D'IZIER, J., « La force motrice par les rayons solaires », *La Nature*, n°2006, 4 novembre 1911, p. 366.
- « A propos du moteur solaire de M. Schuman », *La Nature*, supplément, n°2014, 30 décembre 1911, p. 34.
- « L'utilisation de la chaleur solaire », *La Nature*, supplément, n°2054, 5 octobre 1912, p. 19.
- DOUBLET, E., « L'utilisation de la chaleur solaire – Mouchot », *La Nature*, n°2734, 28 août 1926, pp. 140-142.
- BARJOT, H., « Utilisation rationnelle de la chaleur solaire », *La Nature*, n°2896, 1er janvier 1933, pp. 213-218.

La Revue industrielle
- « Étude des appareils solaires. Académie des Sciences. Mots de M. A. Crova, présentés par M. Berthelot. », *La Revue industrielle*, 24 mai 1882, pp. 202-204.
- « Les machines solaires d'Ericsson », physique appliquée, *La Revue industrielle*, n°10, 7 mars 1877, pp. 93-96.
- « Vente des brevets Mouchot et Abel Pifre », *La Revue industrielle*, 15 octobre 1884, p. 420.
- « Utilisation de la chaleur solaire – informations diverses », *La Revue industrielle*, 18 mars 1911, p. 104.
- MARNIER, Albert, « L'évolution des procédés sidérurgiques. L'utilisation de la chaleur solaire », *La Revue industrielle*, 27 janvier 1912, pp. 49-50.

- « L'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'électricité », *La Revue industrielle*, 18 juillet 1914, p. 401.
- BOISSE DE BLACK, M.-J., « L'utilisation de la chaleur solaire et les possibilités d'exploitation du Sahara comme source de puissance motrice », *La Revue industrielle*, septembre 1932 pp. 449-454.

La Revue administrative
- MORAND-DEVILLER Jacqueline, RACINE Pierre, « L'administration de mission », *La Revue administrative*, 40e Année, N°238, juillet-aout 1987, pp. 307-323.
- FABERON, Jean-Yves, « Interventionnisme et rationalisation énergétique : L'Agence française pour la maitrise de l'énergie », *La Revue administrative*, 37e Année, N°219, mai-juin 1984, pp. 227-241.
- LEGUÈBE, Jacques, « La France dans l'Alliance atlantique »
La Revue administrative, 36e Année, N°211, janvier-février 1983, pp. 50-56.
- GERMAIN, Pierre, « Au soleil, le prochain millénaire », *La Revue administrative*, 35e Année, N°206, mars-avril 1982, pp. 169-180.
- Vie de la Présidence et des Ministères : du 16 Décembre 1981 au 15 Février 1982, *La Revue administrative*, 35e Année, N°205, janvier-février 1982, pp. 52-67.
- FABERON, Jean-Yves, « Les projets de réforme de l'administration de l'énergie », *La Revue administrative*, 35e Année, N°205, janvier-février 1982, pp. 13-16.
- Vie de la Présidence et des Ministères : du 16 Décembre 1980 au 15 Février 1981, *La Revue administrative*, 34e Année, N°199, janvier-février 1981, pp. 51-67.
- GERMAIN, Pierre, « La magie du pétrole et ses lendemains », *La Revue administrative*, 32e Année, N°188, mars-avril 1979, pp. 159-172.
- FABERON, Jean-Yves, « Les organismes chargés de la mise en œuvre de la politique d'économies d'énergie », *La Revue administrative*, 31e Année, N°183, mai-juin 1978, pp. 245-260.
- Vie de la Présidence et des Ministères : du 16 Février au 15 Avril 1978, *La Revue administrative*, 31e Année, N° 182, mars-avril 1978, pp. 192-205.
- GERMAIN, Pierre, « Écologie et maîtrise des faits », *La Revue administrative*, 31e Année, N°182, mars-avril 1978, pp. 177-191.

- Vie de la Présidence et des Ministères : du 16 Octobre au 15 Décembre 1977, *La Revue administrative*, 30e Année, N°180, novembre-décembre 1977, pp. 609-619.
- Vie de la Présidence et des Ministères : du 16 Août au 15 Octobre 1977, *La Revue administrative*, 30e Année, N°179, septembre-octobre 1977, pp. 500- 511.
- Vie de la Présidence et des Ministères : du 16 Août au 15 Octobre 1975, *La Revue administrative*, 28e Année, N°167, septembre-octobre 1975, pp. 499- 509.
- Vie de la Présidence et des Ministères : du 15 Décembre 1974 au 16 Février 1975, *La Revue administrative*, 28e Année, N°163, janvier-février 1975, pp. 45-61.
- GERMAIN, Pierre, « L'énergie, du dessillement aux décisions », *La Revue administrative*, 27e Année, N°158, mars-avril 1974, pp. 140-153.
- GERMAIN, Pierre, « L'atome, des inventions aux décisions », *La Revue administrative*, 25e Année, N°146, mars-avril 1972, pp. 135-146.
- GERMAIN, Pierre, « L'État et son devenir », *La Revue administrative*, 15e Année, N°86, mars-avril 1962, pp. 171-181.
- WAYNBAUM, Maurice, « Développements nucléaires sur le plan international et intergouvernemental : Faits et chiffres significatifs », *La Revue administrative*, 14e Année, N°82, juillet-août 1961, pp. 341-365.
- PELLERIN, Jean, « Aspects généraux du développement des sciences et techniques nucléaires », *La Revue administrative*, 13e Année, N° 75, mai-juin 1960, pp. 251-256.
- La vie des ministères : du 1er Août au 30 Septembre 1956, *La Revue administrative*, 9e Année, N°53, septembre-octobre 1956, pp. 511- 535.

La science et la vie

- CROBER, André, « En captant la chaleur solaire nous pourrions nous passer de charbon », *La science et la vie*, tome 5, n°14, mai 1914, pp. 239-247.
- BRACHET, Charles, « Un nouveau projet d'utilisation de la chaleur solaire : l'usine polaire fonctionnant au-dessous de zéro degré », *La science et la vie,* tome 36, n°147, septembre 1929, pp. 225-230.
- GENDRON, L., « Saurons-nous un jour utiliser directement l'énergie solaire ? », *La science et la vie*, tome 56, n°268, octobre 1939, pp. 305-312.
- De BOUCONE, André, « Les projets de l'exploitation de l'énergie solaire au Sahara », *La science et la vie*, tome 63, n°308, avril 1943, pp. 187-194.

La Vie catholique, n°1582, décembre 1975.

Le Courrier d'Éthiopie
- « L'utilisation de la chaleur solaire pour l'aménagement de la colonie », 19 août 1932, p. 6.

Le Génie Civil
- D'HALLUIN, Maurice, « Actinométrie et applications de la chaleur solaire. Le chauffage d'appoint des habitations par l'eau chauffée par le soleil », n°3075-3076, 17-24 janvier 1942, pp. 25-29.
- « L'utilisation de la chaleur solaire au Sahara », Sciences, *Le Génie civil*, n°, 11 février 1933, p. 147.
- BARJOT, H., « Utilisation rationnelle de la chaleur solaire », *Le Génie civil*, n°2595, 7 mai 1932, p. 473.
- « Production de la force motrice par transformation directe de la chaleur solaire », *Le Génie civil*, n°2512, 4 octobre 1930, pp. 350.
- « La station d'utilisation de l'énergie solaire, au Caire », Physique industrielle, *Le Génie civil*, n°1674, 11 juillet 1914, p. 227.
- « Utilisation de la chaleur solaire à la production de la force motrice », *Le Génie civil*, n°1534, 4 novembre 1911, pp. 13-14.
- « Utilisation de la chaleur solaire », Physique industrielle, *Le Génie civil*, n°1004, 7 septembre 1901, p. 312.
- Acte constitutif (du 1 févier 1881) de la Société Centrale d'Utilisation de la Chaleur Solaire, d'Abel Pifre, *Le Génie civil*, 1 mars 1881, p. 223.

Le Génie militaire
- Médecin colonel PASTEUR, « Utilisation de la chaleur solaire », *Le Génie militaire*, janvier 1932, pp. 29-53.

Le Génie industriel
- « Utilisation industrielle de la chaleur solaire », communication de M. Mouchot à l'Académie des sciences, *Le Génie industriel*, vol. 37, n°217, janvier 1869, pp. 217-218

- « Utilisation industrielle de la chaleur solaire », communication de M. Mouchot à l'Académie des sciences, *Le Génie industriel*, vol. 39, n°229, janvier 1870, pp. 309-312.

Le Monde
- GHEERBRANT, Michaël, « De l'eau sous le soleil du Sahel », *Le Monde*, 18 décembre 1985.
- « Spécialité : le soleil », *Le Monde*, 26 juin 1985.
- PUISEUX, Louis, « Action publique, pas morte dans l'habitat », *Le Monde*, 10 avril 1985.
- DARTOIS, Laurent, « Les paradoxes de l'abondance », *Le Monde*, 6 mars 1985.
- « Entreprises publiques : des diversifications hasardeuses », *Le Monde*, 5 juillet 1984.
- « M. Ba : Une collaboration financière et technique », *Le Monde*, 28 mai 1984.
- « Cap sur le solaire à Bamako », *Le Monde*, 26 septembre 1983.
- « La France va financer plusieurs projets d'assainissement en Afrique », *Le Monde*, 26 février 1983.
- T. L., « Depuis l'antiquité Les habitants de Chaudes-Aigues savent se chauffer avec l'eau des volcans », *Le Monde*, 9 décembre 1981.
- P.-H., J.-P., « La visite du Président Navon. Le Caire a accédé à plusieurs demandes israélienne », *Le Monde*, 31 octobre 1980.
- ALEXANDROFF G., DE BUCHÈRE J.-M., LIEBARD A., « La danseuse », *Le Monde*, 1 octobre 1981.
- DETHOMAS Bruno et WEEGER Xavier, « Un entretien avec M. Henry Durand, président du COMES. Un effort indispensable pour les pays en développement », *Le Monde*, 1 octobre 1981.
- F. D., « Le développement de la filière photovoltaïque restructuration industrielle », *Le Monde*, 1 octobre 1981.
- AUDIBERT, Pierre, « Soleil corse », *Le Monde*, 14 septembre 1981.
- DIAMANT, Willy, « L'histoire de l'énergie solaire », *Le Monde*, 27 avril 1981.
- R. Y., « L'exploitation des gisements géothermiques s'accélère », *Le Monde*, 28 janvier 1981.
- « M. Guy Lefrançois est nommé Directeur Général du COMES », *Le Monde*, 30 septembre 1980.

- « Le Commissariat à l'énergie atomique crée une société financière d'innovation », *Le Monde*, 4 avril 1980.
- « La SOFRETES supprime le quart de ses emplois », *Le Monde*, 26 mars 1980.
- DETHOMAS, Bruno, « Une lettre du président du Commissariat », *Le Monde*, 26 mars 1980.
- DELARUE, Maurice, « A Abou Dhabi M. Giscard d'Estaing déclare qu'il a obtenu « la garantie des approvisionnements de la France, en pétrole » », *Le Monde*, 7 mars 1980.
- DETHOMAS, Bruno, « La France a-t-elle une politique solaire ? », *Le Monde*, 7 mars 1980.
- A. J.-F., « Inaugurée par M. Robert GALLEY la centrale solaire de Diré devrait permettre la remise en valeur de 3000 ha de terre cultivable », *Le Monde*, 26 novembre 1979.
- AMBROISE-RENDU, Marc, « Une initiative des défenseurs des énergies nouvelles. Un lobby solaire », *Le Monde*, 18 octobre 1979.
- « La SOFRETES (société de recherche solaire) fusionne avec MENGIN (matériel de pompage) », *Le Monde*, 26 juin 1979.
- W. X., « Le groupe Total consacre 10 millions de francs par an à l'énergie solaire », *Le Monde*, 22 juin 1979.
- ARVONNY, Maurice, « En Algérie, un village « intégré » », *Le Monde*, 9 juin 1979.
- AUGEREAU, Jean-François, « Un marché plus potentiel que réel », *Le Monde*, 9 juin 1979.
- « Repères. Tiers-Monde et énergie solaire », *Le Monde*, 24 mars 1979.
- « LEROY-SOMER renforce ses liens avec le groupe américain SOLAREX », *Le Monde*, 9 mars 1979.
- « L'exploitation des eaux géothermales fait l'objet d'un accord entre le B.R.G.M. et une société industrielle », *Le Monde*, 12 février 1979.
- DECRAENE, Philippe, « Un espoir pour les pays du Sahel. Le Niger commence à s'intéresser à l'héliotechnique », *Le Monde*, 11 septembre 1978.
- W. X., « Un va-et-vient entre la recherche et l'industrie », *Le Monde*, 28 juin 1978.
- DETHOMAS, Bruno, « Les balbutiements de l'industrie », *Le Monde*, 20 mai 1978.

- DETHOMAS Bruno, ARVONNY Maurice, « " Comme le C.E.A. pour le nucléaire " », *Le Monde*, 20 mai 1978.
- DETHOMAS, Bruno, « Le Commissariat à l'énergie atomique devient le principal actionnaire de la SOFRETES », *Le Monde*, 9 mars 1978.
- BEN JELLOUN, Tahar, « Lettre d'Abu-Dhabi. L'urgence d'exister », *Le Monde*, 11 juillet 1977.
- WEEGER, Xavier, « L'énergie solaire intéresse surtout les pays en voie de développement », Le Monde, 2 février 1977.
- « Accord franco-égyptien sur l'énergie solaire », *Le Monde*, 28 janvier 1977.
- « Accord de recherches franco-iranien sur l'énergie solaire », Le Monde, 24 août 1976.
- CARRON, Alain-Marie, « III. – le soleil se lève à l'Ouest », *Le Monde*, 7 juillet 1976.
- VERGUÈSE, Dominique, « Le Soleil, un des espoirs du XXI^e^ siècle », *Le Monde*, 8 mars 1976.
- « M. Jacquard Délégué aux matières nucléaires du CEA », *Le Monde*, 19 février 1976.
- VERGUÈSE, Dominique, « Des pompes solaires à tout faire », *Le Monde*, 9 juillet 1975.
- DROUIN, Pierre, « Un nouveau Tiers-Monde, II.- Des chances à saisir », *Le Monde*, 9 février 1974, p. 5.
- « Les hommes et les machines », *Le Monde*, 30 janvier 1974.
- VICHNEY, Nicolas, « " La recherche doit rester le plus possible ouverte sur le monde extérieur ", nous déclare M. Jean Charbonnel », *Le Monde*, 11 juillet 1973.
- ALLAIN-REGNAULT, Martine, « Le soleil au service de l'homme », et REBEYROL, Yvonne, « Des applications concrètes dans les pays sous-développés », *Le Monde*, 8-9 juillet 1973, p. 6.
- REBEYROL, Yvonne, « L'eau la richesse la plus mal répartie », *Le Monde*, 19 avril 1973.
- « L'Agence pour la valorisation de la recherche va s'intéresser plus spécialement aux petites et moyennes entreprises », *Le Monde*, 1 juin 1973.
- BERARD, Jean-Pierre, « Nécessité d'une véritable coopération », *Le Monde*, 22 novembre 1972.
- « M. Ortoli a mené une politique scientifique réaliste », *Le Monde*, 8 juillet 1972.

- N. V., « L'agence nationale pour la valorisation de la recherche détient un portefeuille de près de trois mille brevets », *Le Monde*, 26 mai 1972.
- « Paris et Le Caire vont développer leur coopération scientifique annonce M. Ortoli », *Le Monde*, 4 janvier 1972.

Le Progrès
- « Jean-Pierre Girardier, le roturier de la Saline Royale », *Le Progrès*, 24 octobre 1999.

Les Cahiers du droit, « La participation citoyenne aux choix énergétiques », Faculté de droit de l'Université Laval, Volume 24, numéro 4, 1983.

Mémoires de la société des ingénieurs civils de France
- Sur les travaux de Augustin Mouchot, 1870, pp. 170-181.
- PIFRE, Abel, « Note sur les appareils solaires et les services qu'ils peuvent rendre », *Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils*, vol. 33, 1er semestre 1880, pp. 271-282.
- « Machines solaires », *Mémoires de la société des ingénieurs civils*, vol. 40, 1883, pp. 137-138.
- « Un moteur solaire », *Mémoires de la société des ingénieurs civils*, vol. 77, 2e semestre 1901, pp. 587-588.
- « Principe d'une nouvelle machine solaire », *Mémoires de la société des ingénieurs civils*, vol. 87, 1906, pp. 65-68.
- « Utilisation de la chaleur solaire », *Mémoires de la société des ingénieurs civils*, vol. 97, 2e trimestre 1911, pp. 791-793.
- « Utilisation de la chaleur solaire », *Mémoires de la société des ingénieurs civils*, vol. 103, 2e trimestre 1914, pp. 366-367.
- « Utilisation de la chaleur solaire », *Mémoires de la société des ingénieurs civils*, vol. 104, 1915, pp. 414-415.
- « Utilisation de la chaleur solaire en Afrique », *Mémoires de la société des ingénieurs civils*, vol. 106, 1917, pp. 966-967.

MIFERMA-Informations
- *MIFERMA-Informations*, n°21, décembre 1971.

- *MIFERMA-Informations*, n°22, juillet 1972.
- *MIFERMA-Informations*, n°25, décembre 1973.

Missi, « Le Sahel, quel avenir », janvier 1976.

Nature
- « Third International Congress of Tropical Agriculture, », *Nature*, June 18, 1914, p. 416.
- A.S.E. ACKERMANN, « The Shuman Sun-Heat Absorber », *Nature*, April 4, 1912, pp. 122-123.
- « The utilisation of Solar Energy », *Nature*, May 27, 1915, pp. 358-360.
- ERICSSON, John, « The sun motor », *Nature*, August 02, 1888, pp. 319-321.
- ERICSSON, John, « The sun motor and the sun temperature », *Nature*, January 03, 1884, pp. 217-219.
- « A Solar Printing Press », *Nature*, Septembre 21, 1882, pp. 503-504.
- *Nature*, September 2, 1880, p. 432.

New Scientist, Vol. 85, N°1194, 14 February 1980, p.474-477.

Pétrole et Techniques
- « Les groupes pétroliers et l'énergie solaire », *Pétrole et Techniques,* n°426, 2000.
- VAUGE, C, « La politique française de l'énergie solaire », *Pétrole et Techniques*, n°271, 1980.
- « Les énergies nouvelles : des idées aux réalisations », *Pétrole et Techniques*, n°252, 1978. Notamment : « L'énergie solaire » par Serge Bielikoff (Elf).

Politique Africaine
- « Le Niger, chronique d'un État », n°38, juin 1990.
- « Les paysans et le pouvoir en Afrique noire », n°14, juin 1984.
- GRESH, Alain, « L'Arabie saoudite en Afrique non arabe : puissance islamique ou relais de l'Occident ? », n°10, juin 1983, pp. 55-74.
- « La France en Afrique », n°5, 1982.

Renault Histoire
- *Renault Histoire*, n°40, octobre 2017.
- *Renault Histoire*, n°34, octobre 2015
- *Renault Histoire*, n°18, juillet 2006.
- *Renault Histoire*, n°17, août 2005.

Révolution africaine
- Numéros 672-697, 1977, p. 24.

Revue de l'énergie, « énergie solaire », n°313, mars 1979.

Revue de physique appliquée, « Énergie solaire », T.17, n° 9, 1982.

Revue du Palais de la découverte, « Aujourd'hui l'énergie solaire », Numéro spécial 26, Février 1983.

Revue Juridique de l'Environnement, Droit et Énergie solaire, n°4, 1979.

Science et Avenir, n°320, octobre 1973.

Science et Vie
- Énergie, hors-série, mars 1979.
- Le Soleil des hommes, numéro spécial, 1976.

Scientific American
- TABOR, Harry, « Progress in Solar Power », *Scientific American*, July 1956, pp. 97-108.
- ACKERMANN, A.S.E., « Energy from the Sun », *Scientific American*, July 18, 1914, p. 43.
- SHUMAN, Frank, « Sun-power Plants Not Visionary », *Scientific American*, June 27, 1914, p. 519.

- COXE, E.J.D., « The Shuman Solar Power Plant », *Scientific American*, March 28, 1914, p. 265.
- SHUMAN, Frank, « Feasibility of Utilizing Power From the Sun », *Scientific American*, February 28, 1914, p. 179.
- « The Most Rational Source of Power », *Scientific American*, November 1913, pp. 334 et 350.
- « An Egyptian Solar Power Plant », *Scientific American*, January 25, 1913, p. 88.
- SHUMAN, Frank, « The Solar Engine in Egypt », *Scientific American*, December 7, 1912, p.481.
- CARPENTER, R.C., « Test of a Simple Engine », *Scientific American*, July 13, 1912, pp. 28-29.
- SHUMAN, Frank, « The Cost of Power from the Sun and from Coal. A Comparative Estimate », *Scientific American*, December 02, 1911.
- SHUMAN, Frank, « Power from Sunshine », *Scientific American*, September 30, 1911.
- « Engine Power from Solar Heat », *Scientific American*, December 4, 1909.
- BISHOP, H. F., « A Suggestion for Solar Engine Inventors », *Scientific American*, May 9, 1908, p. 331.
- « Solar energy ans solar Engines », *Scientific American*, September 21, 1907.
- HOLDER, Charles F., « Solar Motors », *Scientific American*, March 16, 1901, pp. 169-170.
- « The Sun Motor », *Scientific American*, September 15, 1888.
- « The Utilization of Solar Heat for the Elevation of Water », *Scientific American*, October 3, 1885, p. 214.
- « The Sun Motor and the Sun's Temperature », *Scientific American*, February 2, 1884.
- « Ericsonn's Duplex Caloric Pumping Engine », *Scientific American*, November 20, 1880, p. 326.
- « The Solar Engine », *Scientific American*, November 19, 1870, pp. 323-324.
- DELAMATER, C.H., « Solar Heat - Ericsson's Solar Engine », *Scientific American*, September 16, 1868, p. 179.
- « Another Solar Engine », *Scientific American*, January 16, 1869, p. 34.
- « Solar Motive Power », *Scientific American*, June 11, 1870, p. 377.

- « Coal or Sun », *Scientific American*, March 6, 1869.

Solar Energy (ISES) (Elsevier)

- SPENCER, L.C., « A comprehensive review of small solar-powered heat engine: Part I. A history of solar-powered devices up to 1950 », *Solar Energy*, Volume 43, Issue 4, 1989, pp. 191-196. Pas de JPG-Sofretes
- SPENCER, L.C., « A comprehensive review of small solar-powered heat engine: Part II. Research since 1950 – « conventional » engines up to 100 kW », *Solar Energy*, Volume 43, Issue 4, 1989, pp. 197-210.
- SPENCER, L.C., « A comprehensive review of small solar-powered heat engine: Part III. Research since 1950 – « unconventional » engines up to 100 kW », *Solar Energy*, Volume 43, Issue 4, 1989, pp. 211-225.
- SUDHAKAR K., MURALI KRISHNA M., RAO D.P., SOIN R.S., « Analysis and simulation of a water pump for lift irrigation », *Solar Energy*, Volume 24, Issue 1, 1980, pp. 71-82.
(Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology, Kanpur 208016, India. Hindustan Brown Boveri Ltd., Baroda, India)
- WANG, Shing-an, « An experimental study of corrugated steel sheet solar water heater », *Solar Energy*, Volume 23, Issue 4, 1979, pp. 333-341.
(Solar Energy Laboratory, Shanghai Mechanical Engineering Institute, Shanghai, China)
- BAHADORI, Mehdi N., « Solar water pumping », Solar Energy, Volume 21, Issue 4, 1978, pp. 307-316.
(Professor of Mechanical Engineering and Director of Solar Energy Center. Solar Energy Center, Pahlavi University, Shiraz, Iran)
- PYTILINSKI, J.T., « Solar installations for pumping irrigation water », *Solar Energy*, Volume 21, Issue 4, 1978, pp. 255-262.
- MORSE Frederick H. et ROSE Ingrid B., « CCMS Solar Energy Pilot Study », *Solar Energy*, Volume 18, Issue 4, 1976, pp. 273-280.
- MASSON Henri, GIRARDIER Jean-Pierre, « Solar motors with flat-plate collectors », *Solar Energy*, Volume 10, Issue 4, October-December 1966, pp. 165-169.

Sud-Ouest
- 9 mars 1980
- 29 janvier 1977
- 5 juillet 1975
- 6 janvier 1974

The College Courant, « The Solar Engine », Vol. 3, N°21, December 5, 1868, p. 326.

The Electrical Experimenter, « The Utilization of the Sun's Energy », Vol. III, Whole No 35, N°11, March 1916, pp. 605-606, 662-663.

The New York Times, « American Inventor Uses Egypt's Sun for Power », July 2, 1916.

Volonté (hebdomadaire économique et politique de Madagascar)
- PELLETIER, Louis, « La Houille d'or. Comment capter l'énergie calorique du soleil », 21 avril 1934.
- GASPARIN, Lucien, « L'utilisation de l'énergie solaire », 24 novembre 1934.

World Water, T. Telford Limited, Volume 9, N°3-12, 1986, p. 141.

2000 Revue de l'aménagement du territoire
- Le Soleil, *2000 Revue de l'aménagement du territoire*, DATAR, N°27, 1974.

ARTICLES ET CHAPITRES D'OUVRAGES

ABBOT, C. G., « Utilizing heat from the sun », *Smithsonian Miscellaneous Collections*, Vol. 98, N°5, 30 March 1939.

ABBOT, C. G., « Solar Radiation as a Power Source », *The Military Engineer,* Vol. 35, N°208, February, 1943, pp. 70-73.

ABDELKADER, Sid Ahmed, « Le rôle de I'OPEP dans le développement de la coopération interrégionale Sud-Sud », *Tiers-Monde*, Tome 24, N°96, 1983, pp. 762-789.

ABDUL-FATTAH, A. F., « Selection of Solar Desalination System for Supply of Water in Remote Arid Zones », *Desalination*, 60, 1986, pp. 165-189.

ACKERMANN, A. S. E., « The Utilisation of Solar Energy », *Journal of the Royal Society of Arts*, Vol. 63, No. 3258, April 30, 1915, pp. 538- 565.

ACKERMANN, A. S. E., « The Utilisation of Solar Energy », *Annual Report of The Board of Regents of The Smithonian Institution*, 1915, pp. 141-166.

AIGRAIN, Pierre, « Transformation directe de l'énergie solaire en électricité, les semi-conducteurs et l'énergie solaire », Cours-conférences du 23 février 1956, Cycle de l'énergie solaire, Paris, Centre de perfectionnement technique, 1956.

AIGRAIN, Pierre**,** « L'avenir de l'énergie solaire », *Futuribles*, N° 6, juin 1972.

ALLAIN, Annelies, « A propos du discours de McNamara », *in* CALAME Mireille, DABAT Christine, MICHAELIS, et *al*. (dir.), *Il faut manger pour vivre… : controverses sur les besoins fondamentaux et le développement*, Genève, Graduate Institute Publications, 1980, pp. 229-256.

ALEXANDROFF, Georges, « Énergie solaire, intégration et développement », *Aménagement et nature*, 1976, pp. 63-64.

ANDRÉ, Allix, « Sahara et pétrole 1957 », *Revue de géographie de Lyon*, Vol. 32, N°4, 1957, pp. 269-276.

ANTIL, Alain, *Le boom minier au Sahel. Un développement durable*, note de l'IFRI, février 2014, 36 p.

ANTONY, Paul J., « Dossier : le solaire en France à l'horizon 2000 », *La Recherche*, N°101, juin 1979, Vol. 10, pp. 444-698.

APERTET, J., « De nouvelles sources d'énergie pour les pays insuffisamment développés ? », *Tiers-Monde*, Tome 2, N°5, 1961, pp. 1-26.

ASHWORTH, John, « Technology Diffusion through Foreign Assistance : Making Renewable Energy Sources Available to the World's Poor », *Policy Sciences*, Vol. 11, N°3, Technology and Public Policy : The Institutional Agenda, February, 1980, pp. 241-261.

AUGER, Pierre, « Les transferts des techniques », *Tiers-Monde*, Tome 20, N°78, 1979, pp. 317-321.

BAHADORI, M.N., « Development of a Solar Town in Iran », International Institute for Applied Systems Analysis, Novembre 1976.

BAHADORI, M.N., « Solar water pumping », *in* DIXON A.E., LESLIE J.D., *Solar Energy Conversion*, Pergamon, 1979, pp. 1191-1221.

BARCLAY PARSONS, William, « Some Future Problems in Engineering », Presented at a meeting held Thursday, April 2, 1925, pp. 219-234.

BARREAU Jocelyne, LE NAY Jean, « Les restructurations des groupes français de l'électronique - 1974-1981 », *Revue d'économie industrielle*, Vol. 21, 1982, pp. 29-52.

BARETTO, Paulo M. C., « La prospection de l'uranium dans les pays en développement situation et tendances », *AIEA Bulletin*, Vol 21, N°2/3, 1979, pp. 18-28.

BATAILLON, Claude, « La tradition indienne et le choc du progrès », *Le Monde diplomatique*, octobre 1974, p. 26.

BAUM V.A., BABAEV A.G., « Solar Pump for Lift Irrigation Purposes », *Annals of Arid Zone*, 1976, pp. 137-145.

BEHRAM, Daniel, « Au Mali, la plus grande centrale solaire au monde », *Coopération*, N°48, 24 novembre 1977.

BERTHONNET, Arnaud (dir.), *Guide du chercheur en histoire de l'électricité*, Fondation EDF, Éditions La Mandragore, date ? (années 2000)

BILGEN E., BOURQUIN J.P., « Solar Thermal Power Stations », *in* DIXON A.E., LESLIE J.D., *Solar Energy Conversion*, Pergamon, 1979, pp. 1105-1128.

BOHBOT, David, « Du soleil pour arroser…La pompe solaire d'un industriel Montargois fait fureur dans les déserts du monde », *La Nouvelle République du Centre-Ouest*, 2 mai 1976.

BOUAMANA, Saïd, « Les accords de partenariat économique (APE) : de la Françafrique à l'Eurafrique », *CADTM*, 20 août 2018. www.cadtm.org/Les-Accords-de-Partenariat-Economique-APE-De-la-Francafrique-a-l-Eurafrique

BOUCHAUD Bernard, Jean-Marie MARTIN, « Industrialisation et développement énergétique du Brésil », *Tiers-Monde*, Tome 8, N°31, 1967, pp. 780-783.

BORNUAT, Michel, « De la mine à l'électricité : aperçu de la filière de l'uranium en France », *Géologues*, N°144, mars 2005, pp. 28-33.

BOUTROS-GHALI, Boutros, « Les relations entre la Ligue arabe et l'OUA », *Annuaire français de droit international*, Vol. 23, 1977, pp. 175-186.

BRABYN, Howard, « Le puits du savoir : comment une pompe solaire sur l'école a changé la vie d'une oasis en Mauritanie », *Le courrier*, UNESCO, janvier 1974, pp. 28-32.

BRASSINNE Michel, VESCIA François, « La course aux ressources renouvelables aux États-Unis. L'énergie solaire entre l'autonomie démocratique et la concentration économique », *Le Monde diplomatique*, 1 mai 1980, p. 9.

BRICARD A., CHABANNE J., MANIFICAT A., VACHET F., « Stockage thermique par chaleur latente dans la gamme 100 à 150°C : Étude expérimentale et modélisation des cinétiques de stockage et de déstockage sur un accumulateur de 25 kWh », *Revue de Physique Appliquée*, 1982, 17 (9), pp.595-605.

BROWN Norman L., HOWE James W., « Solar Energy for Village Developement », *Science*, New Series, Vol. 199, N°4329, February 10, 1978, pp. 651-657.

BRUNET, Roger, « Le pétrole en Afrique française », *L'information géographique*, Volume 22, N°1, 1958, pp. 26-35.

CAMP, Roderic Ai, « Losers in Mexican Politics : A Comparative Study of Official Party Precandidates for Gubernatorial Elections, 1970-1975 », *in* WILKIE James W. and RUDDLE Kenneth (dir.), *Quantitative Latin American Studies : Methodes and Findings*, Statistical Abstract of Latin America Supplement 6, Los Angeles, UCLA Latin American Center Publications, University of California, Chapter 2, 1977, pp. 23-34.

CARALP, Raymonde, « Notes pour une géographie de l'uranium », *Revue de géographie de Lyon*, Vol. 33, N°2, 1958, pp. 103-117.

CAYRE, Geneviève, « La solidarité des pays producteurs de pétrole et des pays en voie de développement : les fonds d'aide multilatérale », *in* BONNENFANT, Paul (dir.), *La péninsule Arabique aujourd'hui. Tome* I, Aix-en- Provence, Institut de recherches et d'études sur les mondes arabes et musulmans, 1982, pp. 277-306.

CHASSERIAUX, Jean-Michel, « La politique énergétique française », *Revue d'économie industrielle*, Les politiques industrielles, Vol. 23, 1983, pp. 268-276.

CHEVALIER, François, « La démocratie mexicaine et son parti dominant : genèse et développements », *Revue française de science politique*, N°2, 1988. pp. 232-248.

CHEVALIER, Jean-Marie, « Les nouvelles technologies énergétiques : leur impact sur l'évolution des prix de l'énergie », *Revue d'économie industrielle*, Vol. 17, 1981, pp. 1-25.

CHEVALIER, Jean-Marie, « Politique énergétique. Recension », *Revue d'économie industrielle*, Vol. 19, 1982, pp. 119-124.

CIPOLLA, M. Carlo, « Sources d'énergie et histoire de l'humanité », *Annales. Économies, sociétés, civilisations*, N°3, 1961, pp. 521-534.

CITOLEUX Y., ENCAOUA David, FRANK B., HEON M., « Les groupes de sociétés en 1974 : une méthode d'analyse », *Économie et statistique*, N°87, Mars 1977, pp. 53-63.

COQUERY-VIDROVITCH, Catherine, « La politique de réseaux d'électrification en Afrique. Comparaison Afrique de l'Ouest, Afrique du Sud ou comment faire de l'histoire sociale à partir de sources économiques », *Outre-mers*, Tome 89, N°334-335, 2002, pp. 71-84.

CORTEN, André, « Le développement pétrolier au Mexique : une stratégie d'organisation du rapport de la population à l'espace », *Canadian Journal of Political Science,* septembre 1988, pp. 495-511.

COUTROT, Aline, « La création du Commissariat à l'énergie atomique », *Revue française de science politique*, N°2, 1981, pp. 343-371.

DAGUET, François, « Chronologie sélective (La politique estrangère de la France depuis 1981), *Politique étrangère*, N°2, 1985, pp. 449-453.

DANIELS, Farrington, « Atomic and Solar Energy », *American Scientist*, Vol. 38, N°4, October, 1950, pp. 520-548.

DATTA R.L., « Strategies of Solar Energy Developments and Application in Developing Countries », *in* BLOSS W.H., PFISTERER F., *Advances In Solar Energy Technology*, Pergamon, 1988, pp. 2713-2718.

DE CLOSETS, François, « La France solaire du XXIe siècle », *Sciences et avenir*, N°378, avril 1978, pp. 18-23.

DECRAENE, Philippe, « Deux décennies de politique extérieure malienne (1960-1980) », *Politique étrangère*, N°2, 1980, pp. 437-451.

DE GRAFFIGNY, Henri, « L'utilisation des puissances naturelles. L'énergie solaire », *in* DE GRAFFIGNY Henri, *Les moteurs électriques : moteurs à courant continu et à courant alternatif, synchrones, asynchrones, à champ tournant*, Paris, Librairie des publications populaires, 1907, pp. 97-102.

DE LA GUERIVIERE, Jean, « Le poids de la solidarité africaine », *Le Monde diplomatique*, novembre 1982, pp. 31-35.

DE LATIL, Pierre, « En Mauritanie dans l'oasis de Chinguetti, L'énergie solaire a pris la

relève des hommes et des enfants pour puiser l'eau », *Le Figaro*, 12 juillet 1973.

DELGADO-TORRES, Agustín M., « Solar thermal heat engines for water pumping : An update », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 13, Issue 2, 2009, pp. 462-472.

DELGADO-TORRES Agustín M., GARCIA-RODRIGUEZ Lourdes, « Status of solar thermal-driven reverse osmosis desalination », *Desalination*,Volume 216, Issues 1–3, 2007, pp. 242-251.

DENIS, Nicolas, « Les élections législatives de mars 1978 en métropole », *Revue française de science politique*, N°6, 1978, pp. 977-1005.

DEVIN Bernard, PHELINE Jean, « Report on the Development of Solar Energy in France », *In* DE WINTER Francis, COX Michael, *Sun : Mankind's Future Source of Energy*, Pergamon,1978, pp. 54-58.

DEVIN Bernard, ETIEVANT C., « Conversion thermique de l'énergie solaire », Congrès national de la Société des Électriciens, des Électroniciens et des radioélectriciens (S.E.E.) : Évolution du problème de l'énergie dans le monde. Conséquences sur la production et l'utilisation d'énergie électrique, Biarritz, 30 septembre – 4 octobre 1975.

DIAKITE, Omar, « Énergie du Mali : un lourd héritage à transformer », *Le Combat*, 17 novembre 2017.

DIDER, Éric, « Les différents accords conclus pour l'utilisation de l'énergie solaire », *Revue Juridique de l'Environnement*, N°4, 1979, pp. 339-348.

DIOP Sidy Modibo, PERRAULT Jean-Louis, « Ruptures ou continuités dans la politique industrielle française en électronique ? », *Revue d'économie industrielle*, Vol. 24, 1983, pp. 48-61.

DUBOURG, Francis, « Énergie solaire et ressources renouvelables », *La Jaune et la Rouge*, N°341, mai 1979, pp. 24-25.

DUMINIL, « L'énergie solaire et la production du froid », *Revue générale du froid*, avril 1978, *In* EDF, Direction de l'équipement. Division de l'Information et de la Communication, *Force motrice et froid par l'énergie solaire*, J39N, décembre 1980.

DURAND, Henry, « The French Solar Thermodynamic Programme », *Electric Power Systems Research*,Volume 3, Issues 3–4, 1980, pp. 267-272.

DURANT J.P., MERCIER D. « Solar plants for water pumping and/or electricity supply in intertropical zones », Proceedings of the ISES Silver Jubilee Congress, Atlanta, May 28-June 1, 1979, p. 1506.

DURANT J.-P., PIROT L., « Small solar plants for electricity supply », *Sun II*, Proceedings of the ISES Silver Jubilee Congress, Atlanta, May 28-June 1, 1979, Volume 2, Elmsford, N.Y., Pergamon Press, Inc., 1979, pp. 1067-1071.

EBELOT, Alfred, « La chaleur solaire et ses applications industrielle, par M. A. Mouchot », chronique, *La Revue des deux mondes*, XXXIX^{e} année, deuxième période, 15 octobre 1869, pp. 1019-1021.

EGG J., LERIN François, TUBIANA Laurence, « Choc pétrolier et crise agricole : notes sur la situation de l'agriculture dans deux pays exportateurs de pétrole sans excédents de capitaux (Mexique, Nigéria) », *Économie rurale*, N°147-148, 1982, pp. 27-31.

ERICSSON, John, « The solar Engine », *Van Nostrand's Eclectic Engineering Magazine*, Vol. 3, N°24, December 1, 1870, p. 579.

ERICSSON, John, « Sun Power – The Solar Engine », *Contributions to The Centennial Exhibition*, 1876, p. 558 et ss.

ESCARPIT, Robert, « Passé et avenir de la terre mexicaine », *Le Monde diplomatique*, octobre 1974, p. 23.

ETZKOWITZ, Henry, « Solar versus Nuclear Energy : Autonomous or Dependent Technology ? », *Social Problems*, Vol. 31, N°4, April 1984, pp. 417-434.

FABERON, Jean-Yves, « Le nouveau pouvoir et l'énergie », *Revue politique et parlementaire*, N°895, 1981, pp. 51-70.

FABERON, Jean-Yves, « Les projets de réforme de l'administration de l'énergie », *La Revue administrative*, N°205, janvier-février 1982, pp. 13-16.

FABERON, Jean-Yves, « Droit de la maîtrise de l'énergie », *Revue Juridique de l'Environnement*, N°1, 1986, pp. 47-66.

FABERON, Jean-Yves, « Bibliographie du droit de la maîtrise de l'énergie », *Revue Juridique de l'Environnement*, N°3, 1987, pp. 417-425.

FABERON, Jean-Yves, « Droit de la maîtrise de l'énergie », *Revue Juridique de l'Environnement*, N°3, 1987, pp. 337-365.

FABERON, Jean-Yves, « Droit de la maîtrise de l'énergie. Mai 1987 à août 1988 », *Revue Juridique de l'Environnement*, N°4, 1988, pp. 419-454.

FABERON, Jean-Yves, « Droit de la maîtrise de l'énergie. Septembre 1988 à décembre 1989 », *Revue Juridique de l'Environnement*, N°2, 1990, pp. 197-239.

FABERON, Jean-Yves, « L'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie », *Revue Juridique de l'Environnement*, N°2, 1991, pp. 153-170.

FALL, Djibril, « Énergie solaire et perspective d'avenir au Sénégal », *Éthiopiques*, N°12, octobre 1977, http://ethiopiques.refer.sn/spip.php?article582

FERRIER, Jean-Paul, « Habiter /Penser la Terre : géographie et idée de l'avenir (Nouveau Moyen Age et sortie de « crise ») », *Méditerranée*, Tome 58, 1986, pp. 3-10.

FEUER, Guy, « La révision des accords de coopération franco-africains et franco-malgaches », *Annuaire français de droit international*, Volume 19, 1973, pp. 720-739.

FIATTE François, CLEMOT Max, « Water Pumping – A Pratical Application of Solar Energy », *Conference on Heliotechnique and Development*, Dhahran, Saudi Arabia, 1975, pp. 331-339.

« From oil power to nuclear power », *Executive Intelligence Review*, Vol. 5, N°46, November 28, 1978.

GAUDIN, Thierry, « Notes de réflexion », *Annales des Mines*, octobre-novembre 1974, pp. 89-114.

GIBRAT, Robert, « L'énergie en l'an 2000 », communication faite le 12 mars 1974 à l'Académie des Sciences Morales et Politiques, Sciences et Techniques, 15 mai 1974, pp. 7-15.

GIBRAT, Robert, « La prévision économique à long terme est-elle possible ? », *La Jaune et la Rouge*, N°354, 1980, pp. 10-15.

GIRARDIER Jean-Pierre, MASSON Henri, « La production de force motrice à partir de l'énergie solaire », *Industries et travaux d'Outre-mer*, N°131, 1964, pp. 3-7.

GIRARDIER Jean-Pierre, MASSON Henri, « La production de force motrice à partir de l'énergie solaire », *Bulletin de la Coopération méditerranéenne pour l'énergie solaire* (COMPLES), N°6, mai 1964, pp. 100-111.

GIRARDIER Jean-Pierre, MASSON Henri, « Les moteurs solaires à collecteurs plans », *Annales des Mines*, septembre 1964, pp. 33-38.

GIRARDIER Jean-Pierre, MASSON Henri, « État actuel des recherches sur les pompes solaires à collecteur plan », *Bulletin de la Coopération méditerranéenne pour l'énergie solaire* (COMPLES), N°10, juillet 1966, pp. 103-107.

GIRARDIER Jean-Pierre, MASSON Henri, « Solar motors with flat-plate collectors », *Solar Energy*, Volume 10, Issue 4, October-December 1966, pp. 165-169.

GIRARDIER Jean-Pierre, MASSON Henri, « Le moteur solaire face au moteur Diesel », *Annales des Mines*, janvier 1967, pp. 273-282.

GIRARDIER Jean-Pierre, MASSON Henri, « Utilization of solar energy for lifting water », Papaer 6/116, *I.S.E.S. Conference in Melbourne*, Australia, 1-7, 1970.

GIRARDIER Jean-Pierre, CLEMOT Max, « Design and Performance of a Simple Solar Pump for Lift Irrigation Purposes », *Annals of Arid Zone*, 15(3), 1976, pp. 146-154.

GIRARDIER Jean-Pierre, VERGNET Marc, « The Solar Pump and the Problems of Integrated Rural Development », *in* JEQUIER, Nicolas, *Appropriate Technology. Problems and Promises*, Paris, OCDE, 1976, pp. 253-259.

GIRARDIER Jean-Pierre, CLEMOT Max, « A Solar Water Pumping System », *Solar Energy Today Conference*, Melbourne, Australia, 11.1-11.10, 1979.

GIRARDIER, Jean-Pierre, « L'énergie solaire », *in L'Énergie*, Paris, Bordas, 1981, pp. 73-83.

GIRARDIER, Jean-Pierre, « Les pompes solaires thermodynamiques et leur histoire », *in* HERLEA, Alexandre (dir.), *L'énergie solaire en France*, Paris, Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, 1995, pp. 127-143.

GIRAUD, Jacqueline, pas de titre, L'Express, 9-15 juillet 1973, p. 39.

GISCARD D'ESTAING Jacques, BERNARD Danièle, LEMESLE Claire, « GISCARD D'ESTAING Jacques », *in* GISCARD D'ESTAING Jacques, BERNARD Danièle, LEMESLE Claire, *Témoins et acteurs des politiques de l'éducation depuis la Libération*, Tome 1 - Inventaire de cinquante entretiens, Paris, Institut national de recherche pédagogique, 1995, pp. 95-97.

GOLDSCHMIDT, Bertrand, « Le contrôle de l'énergie atomique et la non-prolifération », *Politique étrangère*, N°3-4, 1977, pp. 413-430.

GÖNENÇ, Rauf, « Venture Capital : key ingredient in high-tech start-up », *The OECD Observer*, Nov. 1, 1984, pp. 11-14.

GOODENOUGH, John B., « Prospects and Scope for Solar Energy », *in* A.B. ZAHLAN, *Technology Transfer and Change in the Arab World*, Pergamon, 1978, pp. 401-431.

GRANIER DE LILLIAC, René, « La crise du pétrole. Une compagnie nationale : la Compagnie française des pétroles », *La nouvelle revue des deux mondes*, février 1980, pp. 270-281.

GUARINI, Émile, « Chaleur et énergie. L'utilisation de la chaleur ambiante comme force motrice au moyen de la machine frigorifique », Rapport pour le Vème Congrès International du Froid, à Rome, du 19 Septembre au 1er Octobre 1927, *La Houille blanche*, N° 3, mai-juin, 1927, pp. 73-77.

GUILLEMONAT, André, « Un essai industriel de captation de l'énergie solaire à Alger », *Documents algériens*, N°112, 10 novembre 1954.

GUPTA HON C.L., Santhanam V.C., Reddy T.A., « Performance prediction model for a solar pump », *in* DE WINTER Francis, COX Michael, *Sun : Mankind's Future Source of Energy*, Pergamon, 1978, pp. 1889-1895.

HAGEMANN, E. R., « R. H. Goddard and Solar Power, 1924-1934 », *Technical*

Publications, Aerospace Corporation, Vol. 6, N° 2, Los Angeles, 1962, pp. 47-54.

HARRISON-CHURCH, R.J., « L'énergie en Afrique tropicale », *L'information géographique*, Vol. 22, N°1, 1958, pp. 8-14.

HEYWOOD, Harold, « New Developments in the Use of Solar Energy *», Journal of the Royal Society of Arts*, Vol. 110, N°5065, December 1961, pp. 35- 51.

HIERNAUX NICOLAS, Daniel, « L'État et le territoire : bilan de trois sexennats de politiques urbaines et régionales au Mexique (1970-1985) », *International Review of Community Development*, 1987, pp. 103–113.

HIM, Gustave-Adolphe, « La conservation de l'énergie solaire », extrait du n°1 de la *Revue mensuelle d'astronomie populaire*, Paris, Gauthier-Villars, 1883.

INGENIEURS ET ARCHITECTES SUISSES, « L'utilisation du gaz naturel dans les pays en voie de développement », *Ingénieurs et architectes suisses*, N°8, 14 avril 1983, pp. 119-125.

JUDET Pierre, VERNET Pierre, « L'organisation en matière de développement des sources d'énergie renouvelables et locales », *in* KAHN Philippe (dir.), *De l'énergie nucléaire aux nouvelles sources d'énergie vers un nouvel ordre énergétique international*, Librairies techniques, 1979, pp. 413-441 (532 p).

JURA, Michel, « L'énergie en 1980 : le pari nucléaire », *Économie et statistique*, N°88, avril 1977, pp. 15-27.

KEITA, Siramakan, « Rencontre avec le père des barrages et des centrales hydroélectriques au Mali M. Lamine KEITA, ancien Ministre », *Maliweb*, 25 octobre 2018.

KETTANI Ali, GONSALVES Lénine M., « Heliohydroelectric (HHE) Power

Generation », *Solar Energy*, Vol. 14, 1972, pp. 29-39.

KETTANI, Ali, « Prospects for photovoltaics in the arab world », *In* PALZ, W., Commission of the European Communities, *Photovoltaic Solar Energy Conference, Proceedings of the International Conference, held in Cannes, France, 27-31 October 1980*, pp. 80-88.

KETTANI, Ali, « Photovoltaics in the Arab World », *Solar Cells*, 6, 1982, pp. 239-249.

LACOTTE, R., « L'évolution récente de l'industrie de l'uranium en Limousin », *Norois*, N°108, Octobre-Décembre 1980, pp. 581-600.

LAMBRECHTS, Claude, « Maurice Luneau, Les Énergies nouvelles, qu'en espérer ? », 1982, *Revue Juridique de l'Environnement*, N°3, 1982, pp. 335-336.

LARSON Dennis, FANMEIER D. D., MATLOCK W. G., DAY John, SANDS C. D. II, « Feasibility of Using Solar Energy for Irrigation Pumping », *Hydrology and Water Resources in Arizona and the Southwest*, Arizona-Nevada Academy of Science, 1976, pp. 309-314.

LATTRE, J.M., « Sahara, clé de voûte de l'ensemble eurafricain français », *Politique étrangère*, N°4, 1957, pp. 345-389.

LATTES Armand, SALAGER Jean-Louis, « De la récupération assistée du pétrole à la renaissance en France de la chimie des tensioactifs », *Histoire de la recherche* contemporaine, Tome V, N° 1, 2016, pp. 73-85.

LEDOUX, Alain, « Chinguetti (Mauritanie) : un des premiers villages ravitaillés en eau par le soleil ! », *Science et vie*, N°670, juillet 1973, p. 31.

LE MONDE DIPLOMATIQUE, « Coopération. Partenaire privilégié pour la France », *Le Monde diplomatique*, février 1978, p. 26.

LEITE LOPES, José, « Transfert de technologie et rôle de la recherche dans le Tiers Monde », *Tiers-Monde*, Tome 20, N°78, 1979, pp. 295-303.

LESOURNE, Jacques, « Les perspectives de l'économie mondiale d'ici la fin du siècle », *Journal de la société statistique de Paris*, Tome 120, N°2, 1979, pp. 77-85.

LESSIEUR P., FELLOUS J.R., « Chauffage et Climatisation à l'Énergie Solaire avec Appoint Gaz pour la Maison Expérimentale CLISOTOS (CLImatisation SOlaire TOtal – Sofretes) à Sophia Antipolis (Nice), *In* : *The Gas Situation in the ECE Region Around the Year 1990*, *Proceedings of an International Symposium of the Committee on Gas of the Economic Commission for Europe, Held in Evian, France, at the Invitation of the Government of France, 2–5 October* 1978, Pergamon, 1979, pp. 259-289.

LEVEAU Rémy, RIFAI Taki, « L'arme du pétrole », *Revue française de science politique*, N°4, 1974, pp. 745-769.

MARBEAU, Victor, « Les Mines de fer de Mauritanie M. I. F. E. R. M. A. », *Annales de Géographie*, Tome 74, N°402, 1965, pp. 175- 193.

MARTIN, Jean-Marie, « Chronique sur l'énergie : les nouvelles perspectives françaises à l'horizon 1985 », *Revue d'économie industrielle*, Vol. 6, 1978, pp. 131-143.

MARTIN, Jean-Marie, « Chronique sur l'énergie : tendance de la consommation (1979-1981) et nouvelles orientations de la politique énergétique française (1981-1990) », *Revue d'économie industrielle*, Vol. 20, 1982, pp. 101-113.

MARTIN, Yves, *Note sur l'Anvar*, 27 janvier 1988.
https://www.annales.org/archives/x/yvesmartin.html
https://www.lajauneetlarouge.com/yves-martin-55-precurseur-du-developpement-durable/

MASSENET-DALLEMAGNE, Violaine, « L'influence de la crise de l'énergie sur l'administration française : le cas de l'administration de l'énergie », *Revue française d'administration publique*, Vol.8, 1978, pp. 100-135.

MASSEY W. H., JONES G. E., BROADBENT D. R., « The Utilisation of Solar Energy », *Journal of the Royal Society of Arts*, Vol. 63, No. 3259, May 7, 1915, pp. 584-585.

MASSON, Henri, « Condensations atmosphériques non enregistrables au pluviomètre : L'eau de condensation et la végétation », *Bulletin de l'Institut français d'Afrique noire*, Vol. 10, 1948, pp. 1-181.

MASSON, Henri, « Contribution à l'étude du réchauffement de l'eau sous l'effet de la radiation solaire », *Bulletin de l'Institut français d'Afrique noire*, Tome 14, N°2, 1952, pp. 389-404.

MASSON, Henri, « La radiation solaire à Dakar », *Bulletin et Mémoires de l'École Nationale de Médecine et de Pharmacie de Dakar*, Tome I, 1954.

MASSON, Henri, « L'utilisation de l'énergie solaire dans les régions arides », *Industrie et Travaux d'Outre-Mer*, N°17, avril, 1955, pp. 226-232.

MASSON, Henri, « Les insolateurs à bas potentiel », *Transcription de la conférence à Tucson*, « Use of solar energy », 1955, Vol. 3, pp. 47-66.

MASSON, Henri, « Les insolateurs à bas potentiel », *Journal de la Physique et le Radium*, Tome 17, Supplément N°6, 1956, pp. 108-110. Aucune trace de cette référence dans les archives du *Journal de la Physique et le Radium.*

MASSON, Henri, « Du moyen de capter la chaleur solaire », *Wind and Solar Energy, Proceedings of the New Delhi Symposium, October 22-25, 1954*, Paris, Unesco, 1956, pp. 175-183.

MASSON, Henri, « Les insolateurs à bas potentiel », *Chaleur et Industrie : revue mensuelle des industries du feu*, Vol. 32, N°369, 1956, pp. 83-106.

MASSON, Henri, « Le moteur solaire dans les régions arides, *Bulletin et Mémoires de l'École Nationale de Médecine et de Pharmacie de Dakar*, Tome V., 1957, pp. 298-302.

MASSON, Henri, « L'énergie solaire dans l'économie du monde actuel », *Industries et Travaux d'Outre-Mer*, Vol. 4, N°36, pas de date, pp. 635-640.

MASSON, Henri, « De l'emploi des matières plastiques comme insolateurs », *Journal de la Physique et le Radium*, Tome 20, Juillet 1959, pp. 76-79. Aucune trace de cette référence dans les archives du *Journal de la Physique et le Radium.*

MASSON, Henri, « La rentabilité de l'énergie solaire », « La production d'eau distillée grâce à la chaleur solaire », « La réfrigération solaire », « La production de la force motrice à partir du soleil », Communications au Colloque de la Recherche scientifique Abidjan-Dakar, décembre 1959.

MASSON, Henri, « L'Énergie solaire et ses applications », *Annales des Mines*, mars et avril 1960, pp. 99-129 et pp. 159-179.

MASSON, Henri, « La distillation solaire est-elle possible ? », *Industries et Travaux d'Outre-Mer*, N°86, janvier, 1961.

MASSON, Henri, « Les nouvelles sources d'énergies », *Annales des Mines*, mars et avril 1962, pp. 143-168 et pp. 211-228.

MATSUMOTO Y., URBANO A., MARTINEZ A.M., ASOMOZA R., « Renewable energy application progress in Mexico », *Renewable Energy*, Volume 5, Issues 1–4, 1994, pp. 330-332.

MAURIN, Ch., « La chaleur solaire », *L'Astronomie*, Vol. 46., 1932, pp. 180-188.

MEIJER, R. J., « Philips Stirling Engine Activities », *SAE Transactions*, Vol. 74, Papers 65001-650225, 1966, pp. 18-32.

MERLE, Marcel, « Les élections législatives de mars 1978 et la politique extérieure de la France », *Études internationales*, Vol. 9, N°4, 1978, pp. 467-506.

MERIGOUX J.M., POCARD P., « Solar power units with screw expanders », *in* VEZIROGLU, Nejat T., *Solar Energy International Progress*, Pergamon, 1980, pp. 1293-1317.

METZ, D. William, « Solar Thermal Energy : Bringing the Pieces Together », *Science*, New Series, Vol. 197, N°4304, August 12, 1977, pp. 650-651.

« Mexico-Brazil Summit : A Real Alliance For Progress », *Executive Intelligence Review*, Vol 5, N°4, January 31, 1978.

MICHEL, Michel, « L'extraction de l'uranium », *Annales de Géographie*, Tome 87, N°482, 1978, pp. 398-434.

MICHEL H., SIMON M.F., « Deux expériences : Aramon – Le Havre », *Aménagement et Nature*, 2, 1976, pp. 45-47.

MONDIN, Henri, « Les études thermiques nucléaires en France et leurs applications non nucléaires », International Nuclear Congress, Rome, 25-26 mars 1971.

MONNEYRON, J.-P., « Les hydropompes SNE/Mengin », *Échos du groupe CEA*, N°1, 1985, pp. 55-57.

MORABITO, Vittorio, « L'Office du Niger au Mali, d'hier à aujourd'hui », *Journal des africanistes*, 1977, Tome 47, Fascicule 1, pp. 53-82.

« Moteurs économiques, solaires, et autres, par MM. Mouchot et Piffre, M. Ericsson et M. Hempel », *Le Technologiste*, Tome 7, N°198, 15 novembre 1884, pp. 161-162.

MOUMOUNI, Abdou, « L'énergie solaire dans les pays africains », *Présence Africaine*, 2 (N° L), 1964, pp. 96-126.

MOUMOUNI, Abdou, « La Conférence de Nairobi sur « L'éducation scientifique et technique dans ses rapports avec le développement en Afrique », *Présence Africaine*, N°69, 1969, pp. 178-187.

MOUMOUNI, Abdou, « Energy Needs and Problems in the Sahelian and Sudanese Zones : Prospects of Solar Power », *Ambio*, Vol. 2, N°6, Energy in Society : A Special Issue, 1973, pp. 203-213.

MULLER-KAHLE, Eberhard, « Situation du marché de l'uranium et ses répercussions sur les tendances de la prospection de l'uranium et du développement des ressources », *AIEA Bulletin*, 3, 1990, pp. 29-33.

MUNOZ-RIBADENEIRA F., VILLARREAL E., « Profil de la coopération technique en Amérique technique », *AIEA Bulletin*, 2, 1990, pp. 49-54.

NDIAYE, Babacar, « L'endettement extérieur de l'Afrique et les tentatives d'allégement », *Politique étrangère*, N°3, 1988, pp. 639-645.

NAIGEON, Christophe, « A Diré (Mali), la plus grande station de pompage solaire du monde », Solaire 1, N°7, 1979 (?).

NOVIKOFF, C., « Traditional Grazing Practices and Their Adaptation to Modern Conditions in Tunisia and the Sahelian Countries », *Ecological Bulletins*, N°24, Can Desert Encroachment Be Stopped ?, 1976, pp. 55-69.

OTAYEK, René, « Arabie Saoudite – Afrique : éléments pour une analyse de la politique extérieure d'un panislamisme conservateur », *Travaux et documents*, N°5, Centre d'étude d'Afrique noire de Bordeaux, IEP de Bordeaux, 1983.

PALLIER, Ginette, « L'uranium au Niger », *Cahiers d'outre-mer*, N° 146, Avril-juin 1984, pp. 175-191.

PALZ W., STEEMERS T.C., « Reports on 31 projects », *in* Solar Houses in Europe, Pergamon, 1981, pp. 80-303.

PASTEUR, Félix, « Utilisation de la chaleur solaire », *Revue du Génie militaire*, janvier-février, 1932, pp. 29-53.

PERCIVAL, W. H., « Fluorochemical Vapor Engine », *SAE Transactions*, Vol. 73, 1965, pp. 549-560, 575.

PHARABOD F., POUGET-ABADIE X., « Production d'énergie mécanique par la conversion thermodynamique de l'énergie solaire », *Bulletin de la Société Française des Mécanicien, Revue Française de Mécanique*, N°66, 1978, pp. 5-16.

PHELINE Jean, « French Solar Energy Program and its Application for International Cooperation », *in* NEJAT VEZIROGLU, T., *Solar Energy International Progress*, Pergamon,1980, pp. 1937-1949.

PIATIER, André, « Les transferts de technologies vers l'entreprise, venant du secteur public ou financés par lui », *in* NEUMANN Manfred and ROSKAMP Karl W., *Public Finance and Performance of Entrerprises*, Proceedings of the 43rd Congress of The International Institute of Puclic Finance Paris, 1987, Wayne State University Press, Detroit, 1989, pp. 119-137.

PIFRE Abel, « Utilisation de la chaleur solaire, conférence faite au palais du Trocadéro », *Annales du Génie civil*, décembre 1878, 11 p.

PIFRE Abel, « Mémoire sur les appareils solaires et les services qu'ils pourront rendre dans les travaux et l'exploitation du chemin de fer du trans-saharien », *Bulletin – Société Languedocienne de géographie*, tome 3, 1879, pp. 17-27.

POIRMEUR, Yves, « Les grands corps et l'alternance de 1981 : déclin ou redéploiement ? », *in* POIRMEUR Yves et *al*. : *La haute administration et la politique*, Paris, CURAPP-PUF, 1986, pp. 101-129.

PROBERT Douglas, « Development of small-scale benign sources of energy in France », *Applied Energy*, Volume 4, Issue 1, 1978, pp. 75-84.

PUISEUX, Louis, « Les bifurcations de la politique énergétique française depuis la guerre », *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, N°4, juillet-août 1982, pp. 609- 620.

REMENIERA, Gaston, « Étude de l'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie électrique », *Revue Générale de l'Électricité*, Décembre 1957, pp. 593-626.

REVEL-MOUROZ, Jean, « Au Mexique : développement agricole et crise agraire au terme de la présidence Echeverria », *Cahiers du monde hispanique et luso-brésilien*, N°28, 1977, pp. 245-258.

RICHARD Jules, HENRI Alfred, « Sur l'utilisation de la chaleur solaire à la production d'énergie électrique », *La Météorologie*, janvier 1927, pp. 1-14.

RIFAÏ, Taki, « La crise pétrolière internationale (1970-1971) : essai d'interprétation », *Revue française de science politique*, N°6, 1972, pp. 1205-1236.

RIFAÏ, Taki, « Les fonds arabes de développement et leur impact sur le Tiers Monde », *Tiers-Monde*, *Des X s'interrogent sur le développement. Une enquête internationale*, Tome 18, N°71, 1977, pp. 561-567.

RODOT, Michel, « Énergie solaire et développement », *Revue Tiers Monde*, N°78, 1979, pp. 244-246.

RORDAME, Alfred, « Power from the sun », *Popular Astronomy*, Vol. 19., 1911, pp. 153-161.

ROSSIGNOL Philippe et GIRARDEAU Catherine, « Régler la facture pétrolière », *Économie et statistique*, *L'économie française en 1980,* N°84, décembre 1976, pp. 45-51.

RUEDEL, Marcel, « Conférence. Du coton au Soudan français », *Les Annales coloniales*, 30 janvier 1922.

RUSSETT, Bruce, « United States Solar Energy Policy for Less-developed Countries », *The Journal of Energy and Development*, Vol. 7, N°1, Autumn, 1981, pp. 39-59.

SABATO Jorge A., MARTIN Jean-Marie, « La construction d'une centrale nucléaire en Argentine et ses conséquences sur le processus d'industrialisation du pays », *Tiers-Monde*, Tome 8, N°31, 1967, pp.723-730.

SAUVIGNON, Édouard, « Le Fonds international de développement agricole », *Annuaire français de droit international*, Vol. 24, 1978. pp. 660-677.

SCHUEPP, W., « Études sur le fonctionnement de la pompe SOMOR et des améliorations possibles », *Revue internationale d'héliotechnique* (COMPLES), avril 1973, pp. 56-58.

SENE, Djibril, « Le soleil et le vent au service du développement », *Éthiopiques. Revue socialiste de culture négro-africaine*, N°7, 1976.
« Senegal Contract », *The New York Times*, July 12, 1978, p. 4.

SEVERO, Richard, « Mexico Builds Her Industry but the Cloud on the Horizon Is Smog », *The New York Times*, October 9, 1972, p. 6.

SHUMAN, Franck, « Power From The Sun », *L'Engineer*, juin 1914, pp. 419-423.

SIMONIN, Louis, « De l'extraction croissante et de l'épuisement de la houille », *La Revue des Deux mondes*, novembre 1865, pp. 267-272.

SIMONIN, Louis, « L'emploi industriel de la chaleur solaire », *La Revue des Deux mondes*, 1er mai 1876, p. 210.

STEVIS Dimitris, MUMME Stephen, « Energy diversification and nuclear technology : The Mexican case », *Ekistics*, Vol. 57, No. 344/345, 1990, pp. 310-318.

STEVIS Dimitris, MUMME Stephen, « Nuclear Power, Technological Autonomy, and the State in Mexico », *Latin American Research Review*, Vol. 26, No. 3, 1991, pp. 55-82.

SURET-CANALE, Jean, « F. R. I. A. Un exemple d'industrialisation africaine », *Annales de Géographie*, Tome 73, N°396, 1964, pp. 172- 188.

SURET-CANALE, Jean, « Géographie des capitaux en Afrique tropicale d'influence française », *L'information géographique*, Vol. 67, N°1, 2003 (initialement paru en 1985), pp. 105-115.

TABOR, Harry, « Solar Collectors, Selective Surfaces, and Heat Engines », Proceedings of the National Academy of sciences of the United States of America, Volume 47, Issue 8, 1961, pp. 1271-1278.

TABOR, Harry, « Non-Convecting Solar Ponds », *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, Vol. 295, N° 1414, February 7, 1980, pp. 423-433.

TABOR, Harry, « Forty years of solar energy development and exploitation in Israël », *Sun World*, Vol. 17, N°1, 1993.

TORRES, Félix, « Le système nucléaire française des années 1950 à nos jours, acteurs et structures. Une mise en perspective », *La Revue de l'Énergie*, N° 634, novembre-décembre 2016.

TRUEL, Jean-Louis, « Les nouvelles stratégies de la localisation internationale : le cas des semi-conducteurs », *Revue d'économie industrielle*, *Vers une nouvelle division internationale du travail*, Vol. 14,1980, pp. 171-178.

TROMBE, Félix, « L'énergie solaire houille d'or de l'avenir », *L'Astronomie*, Vol. 64, 1950, pp. 413-421.

TYEBJEE Tyzoon, VICKERY Lister, « Venture capital in Western Europe », *Journal of Business Venturing*, 3, 1988, pp. 123-136.

VAILLANT, J.-R., « L'utilisation industrielle de la chaleur solaire », *L'Usine Nouvelle*, octobre 1955, pp. 45-52.

VAILLANT, J.-R., « Les nouvelles utilisations de l'énergie solaire », *L'Industrie*, Bruxelles, janvier 1956, pp. 9-19.

VALUDE, Pierre, « Notre voyage en A.O.F. Le coton », *Les Annales coloniales*, 15 mai 1922.

VAN BUU, Édouard, « Décolonisation et développement : les accords de coopération entre la France et la Mauritanie », *in* Centre de recherches et d'études sur les sociétés méditerranéennes et Centre d'étude d'Afrique noir (dir.), *Introduction à la Mauritanie*, 1979, pp. 343-401.

VERGNET, Marc, « The utilization of solar energy for pumping water in developing countries », *Conference Report of the International Conference on Appropriated Technologies for Semi-arid Areas : Wind and Solar Energy for Water Supply*, West Berlin, 1975, pp. 161-173.

VIVIEN Henri, « Causerie scientifique. La séance d'hier à l'Académie des Sciences », *Le XIX^e siècle*, 4 octobre 1876.

VIVIEN Henri, « Chronique scientifique. La chaleur solaire », *Le XIX^e siècle*, 13 septembre 1876.

WOHLERS-SCHARF, Traute, « Les fonds nationaux arabes de développement : la coopération financière des pays arabes et la période post-pétrolière », *in* BONNENFANT, Paul (dir.), *La péninsule Arabique aujourd'hui*, Tome I, Institut de recherches et d'études sur les mondes arabes et musulmans, Aix-en-Provence, 1982, pp. 307-341.

YAOUAGA, Félix Koné, « État de l'anthropologie du développement au Mali », *Bulletin de* l'APAD, N°2, 1991, pp. 1-3.

WONG Y.W, SUMATHY K, « Solar thermal water pumping systems : a review », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 3, Issues 2–3, 1999, pp. 185-217.

OUVRAGES

AGARWAL, Anil, *Competition and Collaboration in Renewable Energy : The Problems and Opportunities of Technology Transfer to the Developing Countries*, International Institute for Environment and Development, 1983.

ALAWI, H., *Solar Energy Prospect in the Arab World : Second Arab International Solar Energy Conference*, Bahreïn, 15-21 February 1986, Pergamon Press.

ALEXANDROFF, Georges et Jeanne-Marie, *Architectures et climats*, Paris, Berger-Levrault, 1982.

AUDIBERT Pierre, ROUARD Danielle, *Les énergies du soleil*, Paris, Éditions du Seuil, 1978.

AUDIBERT, Jean, *Miferma : une aventure humaine et industrielle en Mauritanie*, Paris, L'Harmattan, 1991.

BEHRMAN, Daniel, *Solar Energy (1979) : The Awakening Science*, Routledge & Kegan Paul, 1979.

BELTRAN Alain, PICARD J.F., BUNGENER, M, *Histoire(s) de l'E.D.F. Comment se sont prises les décisions de 1946 à nos jours*, Paris, Dunod, 1985.

BRUNO, Pol, *La saga des Giscard*, Paris, Éditions Ramsay, 1980.

BUTTI Ken, PERLIN John, *A Golden Thread*, Palo Alto, U.S.A., Cheshire Books, New York, U.S.A., Van Nostrand Reinhold Compagny, 1980.

CAMPOS-LOPEZ Enrique, ANDERSON Robert J., *Natural Ressources and Development in Arid Regions*, Boulder, Colorado, Westview Press, 1983.

CARNOT, Sadi, *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, Paris, Chez Bachelier, 1824.

CHASSAGNE G., DUPUY C., LEVY M (dir.), *Énergie solaire, conversion et applications*, Institut d'Études scientifiques de Cargèse 19 juin – 2 juillet 1977 Paris, CNRS, 1978.

CHATEAU Bertrand, LAPILLONNE Bruno, *La prévision à long terme de la demande d'énergie, propositions méthodologiques*, Paris, CNRS, 1977.

CHEVALIER, Jean-Marie, *Le nouvel enjeu pétrolier*, Paris, Calmann-Lévy, 1973.

CNES, CNRS, *l'électricité solaire*, Actes du colloque international de Toulouse 1-5 mars 1976, CNES, 1976.

COLLI, Jean-Claude, *Les énergies nouvelles*, Paris, Fayard, 1979.

Comité d'Action pour le Solaire (CAS), *Guide 1983 de la France solaire*, hors-série d'*Action Solaire*, juin 1983.

Comité d'Action pour le Solaire (CAS), *Politique énergétique, les voies du solaires*, Paris, La Documentation française, 1981.

COMMONER, Barry, *La pauvreté du pouvoir*, Paris, PUF, 1980.

CORNET, Pierre, *Pétrole saharien, du mirage au miracle*, Paris, Nouvelles Éditions Latines, 1960.

COT, Jean-Pierre, *A l'épreuve du pouvoir. Le tiers-mondisme, pour quoi faire ?*, Paris, Seuil, 1984.

CROVA, André, *Exposé des travaux scientifiques de M. A. Crova*, Montpellier, imprimerie De Boehm et fils, 1882.

CROVA, André, *Rapport sur les expériences faites à Montpellier pendant l'année 1881 par la commission des appareils solaires*, Montpellier, Boehm et fils.

DANIELS Farrington, DUFFIE A. John (dir.), *Solar Energy Research*, University of Wisconsin Press, 1955.

DANIELS, Farrington, *Direct Use Of The Sun's Energy*, Yale University Press, 1964, Ishi Press International, 2010.

DE BRIE Christian, ETIENNE Michel, MOUSEL Michel, TURQUAN André, *Dossier R… comme racket pétrolier*, Paris, Alain Moreau, 1976.

DE CAUS, Salomon, *Les raisons des forces mouvantes*, Paris, Charles Sevestre,1624.

DE GRAVELAINE Frédérique, O'DY Sylvie, *L'état EDF*, Paris, Alain Moreau, 1978.

DESPRAIRIES, Pierre, *La crise de l'énergie. Le mal, le remède*, Paris, Éditions Technip, 1982.

DE ROSNAY, Joël, *Le macrocosme*, Paris, Seuil, 1975.

DE ROYAUMONT, Louis, *La conquête du Soleil. Applications scientifiques et industrielles de la chaleur solaire (Héliodynamique)*, Paris, C. Marpon et E. Flammarion Éditeurs, 1882.

DEUDNEY Daniel, FLAVIN Christopher, *Renewable Energy, the Power to Choose*, New York, London, Worldwatch Institute Book, W.W. Norton & Company, 1983.

DUMONT, René, *L'Afrique noire est mal partie*, Paris, Seuil, 1962.

DUMONT, René, *Pour l'Afrique j'accuse*, Terre Humaine, Paris, Plon, 1986.

DUMONT René, MOTTIN Marie-France, *Le mal développement en Amérique latine*, Paris, Seuil, 1981.

DUNN, P. D., *Appropriate Technology, Technology with Human Face*, The Macmillan Press LTD, 1978.

EGGERS-LURA, A., *Solar Energy In Developping Countries, An overview and buyers' guide for solar scientists and engineers*, Pergamon Press, 1979.

FAURE, Edgar, *Le pétrole dans la paix et dans la guerre*, Paris, Éditions de la Nouvelle Revue Critique, 1939.

F.G.A.- C.F.D.T., *Alternative pour aujourd'hui, la biomasse, énergie verte*, Paris, MS Editions, Syros, 1981.

GARG, H. P., *Advances in Solar Energy Technology*, Volume 1, Holland, D. Reidel Publishing Company, 1987.

GARG, H. P., *Advances in Solar Energy Technology*, Volume 2, Holland, D. Reidel Publishing Company, 1987.

GARG, H. P., *Advances in Solar Energy Technology*, Volume 3, Holland, D. Reidel Publishing Company, 1987.

GIRARDIER Jean-Pierre, RENAU Jean Pierre, *L'homme qui croit au* soleil, Paris, Les Éditions du Cerf, 1979.

GOLDSCHMIDT, Bertrand, *L'aventure atomique, ses aspects politiques et techniques*, Paris ; Fayard, 1962.

GOLDSCHMIDT, Bertrand, *Le complexe atomique, histoire politique de l'énergie nucléaire*, Paris, Fayard, 1981.

GRENON, Michel, *La pomme nucléaire et l'orange solaire*, Paris, Robert Laffont, 1978.

Groupe de Bellevue, *Projet Alter : esquisse d'un régime à long terme tout solaire*, Syros, 1978.

HALACY, D. S. Jr., *Fabuleux soleil*, Nouveaux horizons, 1957.

HALACY, D. S. Jr., *The Coming Age of Solar Energy*, Harper & Row, 1963.

HERLEA, Alexandre, (dir.), *L'énergie solaire en France*, Paris, Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, 1995.

ILLICH, Ivan, *Énergie et équité*, Paris, Seuil, 1975.

Institut Économique et Juridique de l'Énergie (IEJE) de Grenoble, *Alternatives au nucléaire*, Grenoble, Presses universitaires de Grenoble, 1975.

KAHN, Philippe, *De l'énergie nucléaire aux nouvelles sources d'énergie : Vers un nouvel ordre énergétique international ?*, Paris, Librairies Techniques, 1979.

KAIMAN, Lee, *Encyclopedia of energy-efficient building design : 391 practical case strudies*, Environmental Design and Research Center, 1977.

KERDOUN, Azzouz, *La Coopération arabo-africaine : dimension et perspectives*, Paris, Berger-Levrault, Alger, Office des Publications Universitaires, 1986.

KETTANI Ali, SEIFERT William W., BAKR Mohammed A., *Energy and Developement, A Case Study*, M.I.T. Report N° 25, The M.I.T. Press, 1973.

KETTANI Ali, SOUSSOU E. Joseph (dir.), *Heliotechnique and Development, Volume One and Two*, Conférence internationale, Dharan, Arabie Saoudite, Development Analysis Associates, Cambridge, Massachusetts, U.S.A., 1976.

KETTANI Ali, MALIK M. A. S., *Solar Energy in The Arab World : Policies and Programs*, Organization of Arab Petroleum Exporting Countries, 1979.

KETTANI, Ali, *Solar Energy Prospect in the Arab World : First Arab International Solar Energy Conference*, Koweït, 2-8 December 1983, Pergamon Press, 1983.

KEYES, John, *The Solar Conspiracy*, New York, Morgan & Morgan, 1975.

KOLODKINE, Paul, *La conquête de l'énergie solaire*, Paris, Savoir et connaître, 1960.

KRISTOFERSON L.A., BOKALDERS V., *Renewable Energy Technologies*, Pergamon, 1986.

KROPOTKINE, Petr Alekseevic, *La conquête du pain*, Paris, Tresse & Stock Éditeurs, Deuxième édition, 1892.

KRYZA, Franck T., *The power of light ? The Epic Story of Man's Quest to Harness the Sun*, McGraw-Hill, 2003.

L'Énergie, Bordas, Paris, 1981.

LENOIR, Yves, *Technocratie française*, Les Amis de la Terre, Pauvert, 1977.

LERAY Théo, DE LA RONCIERE Bertrand, *30 ans de maîtrise de l'énergie*, Arcueil, 2002.

LESAGE, Robert, *Charles Tellier. Le Père du froid*, Paris, Éditions A. Giraudon, 1928.

LES AMIS DE LA TERRE, Commission Énergie, *Tout solaire*, Pauvert, 1978.

LES AMIS DE LA TERRE, *Tout solaire, une autre vie, une autre politique, d'autres énergies*, Paris, Éditions Jean-Jacques Pauvert, 1978.

LOMBARDI, Richard W., *Le piège bancaire, dettes et développement*, Paris, Flammarion, , 1985.

LUCAS, N. J. D., Energy *in France : Planning, Politics, and Policy*, Europa Publications for the David Davies Memorial Institute of International Studies, 1979.

LUNEAU, Maurice, *Les énergies nouvelles : qu'en espérer?*, Paris, La Documentation française, 1982.

MABILLE, Claude, *Quelques expériences pour changer la vie*, Stock, 1976.

MACHOVEC, Georges, *Solar Energy Index*, The Arizona State University Solar Energy Collection, Pergamon Press, 1980.

MACAIRE, Marcel, *Du nucléaire au solaire*, Éditions économie et humanisme, Paris, Les éditions ouvrière, 1979.

MARBACH Christian, LINDÉ Pierre, *Innovation au pouvoir*, Paris, Fayard, 1973.

MCVEIL, J. C., *Sun Power : An Introduction to the Applications of Solar Energy*, Pergamon Press, 1983 (1977).

MENDE, Tibor, *De l'aide à la décolonisation*, Paris, Seuil, 1972 (1975).

MERCIER, Jean-Roger, *Énergie et agriculture, le choix écologique*, Paris, Debard, 1978.

MOSSAVAR-RAHMANI, Bijan, *Energy policy in Iran*, Pergamon Press, 1981.

MOUCHOT, Augustin, *La chaleur solaire et ses applications industrielles*, 1ère édition, Gauthier-Villars, Paris, 1869, réédition, Paris, Éditions Blanchard, 1980.

MOUMOUNI, Abdou, *Application à hautes températures : conversion en énergies mécanique ou électrique*, date ?.

MURRAY, Francisco Vizcaino, *La contaminacion en México*, Fondo de Cultura Economica, 1975, 514 p.

MURRAY, Francisco Vizcaino, *Aportación al estudio de las nuevas energías en México: retrovisión y perspectivas, 1965-2000*, Instituto Mexicano de Cultura, Academia Mexicana de Estudios de las Nuevas Energías, 1980.

PAYEN, Jacques, *History of Energy*, Genève, Edito-Service S.A., 1966.

PALZ, Wolfgang, *Solar Electricity : An Economic Approach to Solar Energy*, Paris, Unesco, 1978.

PERCEBOIS, Jacques, *Perspectives économiques de l'énergie solaire*, Paris, CNRS, 1975.

PERRIER, Jean-Luc, *Énergie solaire et hydrogène, état actuel des applications*, Éditions techniques & scientifiques française, 1981.

PERROT, Marcel, *La Houille d'or ou l'énergie solaire*, Paris, Fayard, 1963.

PEYTURAUX, Roger, *L'énergie solaire*, Paris, PUF, 1975.

POPE, Charles Henry, *Solar Enginery*, Farmington, Main, USA, 1886.

POPE, Charles Henry, *Solar Heat. Its Practical Applications*, Boston, 1903.

PUISEUX, Louis, *L'énergie et le désarroi post-industriel*, Paris, Hachette, 1973.

PUISEUX, Louis, *Le Babel nucléaire*, Paris, Éditions Galilée, 1977.

REISER, *Énergies Libres*, Paris, Centre George Pompidou, 1976.

RIFAÏ, Taki, *Les prix du pétrole, économie de marché ou stratégie de puissance*, Paris, Éditions Technip, 1974.

SADOULET, Bernard, *Choix énergétiques, choix de société*, Lyon, Chronique Sociale, 1982.

SHUMAN, Frank, *The Direct Acting Solar Engine*, *The Prime Mover of The Immediate Future*, Philadelphia, Review Publishing & Printingq Company, 1907.

SIMONIAN, Lane, *Defending the land of the jaguar. A history of conservation in Mexico*, Austin, University of Texas Press, 1995.

SIMONNOT, Philippe, *Les nucléocrates*, Presse universitaires de Grenoble, 1978.

SMITH JENSEN, Jean (dir.), *Applied Solar Energy research : A directory of world activity and bibliography of significant literature*, Phoenix, Arizona, Stanford Research Institute and Association for Applied Solar Energy (AFASE), 1959.

SPENCER F., Dwain, *L'énergie solaire vue sous l'angle d'une compagnie d'électricité*, Électricité De France, Direction de l'équipement, Information et Communication, J 25, Publié aux États-Unis en 1976 et en France en 1977.

STOBAUGH Robert, YERGIN Daniel, *L'énergie du futur,* Rapport présenté par le groupe du « Projet Énergie » à la Harvard Business School, Paris, Economica, 1983.

SURET-CANALE, Jean, *Afrique et capitaux : géographie des capitaux et des investissements en Afrique tropicale d'expression française*, L'Arbre verdoyant, 2 volumes, 1987.

Syndicat CFDT de l'Énergie atomique, *L'électronucléaire en France*, Paris, Éditions du Seuil, 1975.

Syndicat CFDT de l'Énergie atomique, *Le dossier de l'énergie*, Paris, Éditions du Seuil, 1984.

TELKES, Maria (dir.), *Applied Solar Energy research : A directory of world activity and bibliography of significant literature*, Phoenix, Arizona, Stanford Research Institute and Association for Applied Solar Energy (AFASE), 1955.

TELLIER, Charles Louis Abel, *La conquête pacifique de l'Afrique occidentale par le soleil*, Paris J., Michelet éditeur, 1890.

TELLIER, Charles Louis Abel, *Histoire d'une invention moderne, Le Frigorifique*, Paris, C. Delagrave éditeur, 1910.

VAILLANT, J. R., *Utilisations et promesses de l'énergie solaire*, Paris, Éditions Eyrolles, 1976.

VAUGE, Christian, *Le choix solaire*, CNRS/Tchou, 1979.

WALTON J. D., Jr., ROY A. H., BOMAR, S. H., Jr., *A State-of-the-Art Survey of Solar Powered Irrigation Pumps, Solar Cookers, and Wood Burning Stoves for Uses in Sub-Sahara Africa*, Atlanta, Georgia Institute of Technology, 1978.

ZOLA, Emile, *Les Quatre Evangiles. Travail*, Tome second, Paris, Eugène Fasquelle Editeur, 1906.

THESES ET MEMOIRES

ARMSTRONG, H. Michael, (United States Air Force Academy, 1965), « A Status Report on Solar Energy Utilization in the State of Florida », Master Thesis of Science, University of Central Florida, 1975.

BARBET, Philippe, « Enjeux économiques et industriels de l'énergie solaire », thèse de 3e cycle de Politique économique et planification, sous la direction de CHEVALIER, Jean-Marie, Université Paris XIII, 1981.

CALORI, Roland, « Stratégies et succès d'entreprises industrielles dans un domaine d'activité en émergence : le cas de la maîtrise de l'énergie solaire directe en France », thèse de 3e cycle en gestion, sous la direction de BUIGUES, Pierre-André, Université Aix-Marseille 3, 1983.

CHATAIN, Pierre, « La compagnie française des pétroles et la société nationale Elf-Aquitaine, comparaison des stratégies, 1974-1982 », thèse de 3e cycle en économie, sous la direction de PERCEBOIS, Jacques, Université des sciences sociales de Grenoble, Institut économique et juridique de l'énergie de Grenoble, 1983.

COUMBA, Cisse, « Vivre à l'ombre proche du barrage de Manantali : les représentations sociales des impacts dans les campements et les villages environnants », thèse de doctorat en géographie, sous la direction de TAMRU, Bezunesh, Université Paris 8, 2016.

CRIQUI, Patrick, « L'énergie solaire en France, approche socio-économique », thèse de 3e cycle en économie, sous la direction de PERCEBOIS Jacques, Université des sciences sociales de Grenoble, Institut économique et juridique de l'énergie de Grenoble, 1979.

DAN-KOBO, Laouali, « L'auto-développement de la société nigérienne d'électricité (NIGELEC) », Mémoire de maîtrise en gestion des PMO, Université du Québec, 1988.

DIDIER, Éric, « Le droit de l'énergie solaire et les différents types d'accords conclus pour l'utilisation de cette source d'énergie », thèse de 3e cycle en droit des organisations internationales et des relations économiques internationales, sous la direction de DEVAUX-CHARBONNEL, Jean, Université Paris I, 1981.

GIRARDIER, Jean-Pierre, « Les pompes solaires », thèse de doctorat en physique, sous la direction de MASSON, Henri, Université de Dakar, 1963. http://www.sist.sn/gsdl/collect/butravau/index/assoc/HASH80f5.dir/THS-4658.pdf

LANDART, Gilbert, « Évaluation socio-économique de l'industrie du solaire en France », thèse en économie du développement, sous la direction de JACMART, Marie-Claude, Université Paris I, Institut d'Étude du développement économique et social, 1984.

McKINNIE, Earle Clarende, « Possibilities of the Solar Engin », College of Engineering, University of Illinois, 1911.

MOISAN, F., « Utilisation de l'énergie solaire dans l'industrie : évaluation technico-économique et prospective », thèse de 3e cycle en économie, sous la direction de PERCEBOIS, Jacques, Université des sciences sociales de Grenoble, Institut économique et juridique de l'énergie de Grenoble, 1983.

PERRIN, Francis, « La diversification énergétique des grandes compagnies pétrolières depuis la crise d'octobre 1973. Le cas de l'énergie solaire », thèse de 3e cycle en économie de l'énergie, sous la direction de MARTIN, Jean-Marie, Université des Sciences Sociales de Grenoble, Institut Économique et Juridique de l'Énergie de Grenoble, 1984.

SCHRITT, Jannik, « Petro-Democracy : Oil, Power and Politics in Niger », thèse de doctorat de l'Université Georg-August de Göttingen, 2018.

KIHEL, Fatima Zohra, « Stratégie des firmes et des états dans l'industrie solaire : le cas de l'Algérie », sous la direction de BEDRANI, S., mémoire de magister en science économique, Université d'Alger, 1987.

BIBLIOGRAPHIE

ARTICLES ET CHAPITRES D'OUVRAGES

AGGERI, Franck, « La démocratie technique en débat. À propos du livre de M. Callon, P. Lascoumes et Y. Barthe : *Agir dans l'incertain*. *Éssai sur la démocratie technique*. », *Gérer et comprendre*, n°68, juin 2002, pp. 55-60.

AGHAMOHAMMADI M., ZARINCHANG J., YAGHOUBI M., « Performance of Solar Water Pump In Southern Part of Iran », Shiraz University, Shiraz, IRAN, date ? (années 2010).

AKRICH, Madeleine, « Comment les innovations réussissent ? », *Recherche et Technologie*, 1987, pp. 26-34.

AKRICH, Madeleine, « La recherche pour l'innovation ou l'innovation pour la recherche ? Le développement du photovoltaïque en Polynésie », *Culture Technique,* 1988, pp. 318-329.

AKRICH Madeleine, CALLON Michel, LATOUR Bruno, « A quoi tient le succès des innovations ? 1 : L'art de l'intéressement ; 2 : Le choix des porte-parole », *Gérer et Comprendre. Annales des Mines*, 1988, pp. 4-17.

AKRICH, Madeleine, « La construction d'un système sociotechnique : Esquisse pour une anthropologie des techniques », *Anthropologie et sociétés*, Québec : Département d'anthropologie, Faculté des sciences sociales, Université Laval, 1989, 13 (2), pp. 31-54.

AKRICH, Madeleine, « L'analyse socio-technique », *in* VINCK Dominique, *La gestion de la recherche*, De Boeck, 1991, pp. 339-353.

AKRICH Madeleine, MEADEL Cécile, « Histoire des usages modernes », *in* AKRICH Madeleine*,* BELTRAN Alain, DUCLOS Denis, MEADEL Cécile, *Énergie, l'heure des choix*, Paris, Les Éditions du Cercle d'Art, 1999, pp. 25-91.

ARMATTE, Michel, « Que représentait Robert Gibrat (1904-1980) au Congrès international de philosophie scientifique de 1935 ? », *Philosophia Scientiæ* [En ligne], 22-3 | 2018, mis en ligne le 25 octobre 2020 : http://journals.openedition.org/philosophiascientiae/1606.

ARON, Raymond, *Les étapes de la pensée sociologique,* Paris, Gallimard, 1976, « Max Weber et la politique de puissance », pp. 642-656.

AUGE, Benjamin, « Les enjeux du pétrole en Mauritanie », *L'Année du Maghreb*, 2007, pp. 349- 367.

AUGE, Benjamin, « Les nouveaux enjeux pétroliers de la zone saharienne », *Hérodote*, La Découverte, n°142, 2011, pp. 183-205.

BAKARY Camara est Politologue et Historien du Droit et des Institutions, Enseignant chercheur à la faculté des Sciences Juridiques et Politiques de l'Université de Bamako, Mali. Son site Internet (https://www.bakarycamara.ml) donne accès à des textes issus de sa thèse de doctorat (2009), notamment celui auquel nous faisons référence ici « Les conventions et les contrats coloniaux en AOF : le cas de la concession rurale de Diré au Soudan Français (1919-1939) ».

BARTHE, Yannick, « Les qualités politiques des technologies. Irréversibilité et réversibilité dans la gestion des déchets nucléaires », *Tracés. Revue de Sciences humaines*, 2009, pp. 119-137.

BARTHE Yann, CALLON Michel, LASCOUMES Pierre, « Réponse à Franck Aggeri », *Gérer et comprendre*, n°68, juin 2002, pp. 61-65.

BEAUD, Claude, « Le drame de Creusot-Loire : échec industriel ou fiasco politico-financier ? », *Entreprises et histoire*, n° 27, 2001, pp. 7-22.

BEL, Maïten, « L'économie mauritanienne », *Revue du monde musulman et de la Méditerranée*, n°54, 1989, pp. 141-148.

BELTRAN, Alain, "L'énergie depuis 1973, orientation bibliographique", *Bulletin de l'Institut d'Histoire du Temps Présent*, n° 45, septembre 1991, pp. 27-54.

BERNARD, Maurice, « Le CNET et les semi-conducteurs, du début des années 1950 au milieu des années 1960 », *Histoire, recherche télécommunications*, *Réseaux*, hors série 14, 1996, pp. 147-160.

BERTRAND, Emanuel, « Pétrole, OGM, nanotechnologies : quels enjeux démocratiques ? », *Participations*, n°4, 2012, pp. 233-246.

BIHOUIX, Philippe, « La transition énergétique peut-elle être *low-tech* ? », *Revue internationale et stratégique*, n°113, 2019/1, pp. 97-106.

BIZBERG, Ilan, « La transformation politique du Mexique : fin de l'ancien régime et apparition du nouveau ? », *Critique internationale*, n°19, 2003, pp. 117-135.

BLANC, Jacques, « Les mines d'uranium et leurs mineurs français : une belle aventure », *Réalités industrielles*, août 2008, pp. 35-43.

BOCQUET, Denis, « Analyser le rapport complexe entre énergie et territoires. La difficile émergence d'un paradigme », Erès Espaces et sociétés, n°182, 2020/3, pp. 203-208.

BOK Julien, ZYLBERSZTEJN Albert, « Les débuts du laboratoire Pierre-Aigrain », *Comptes Rendus Physique*, volume 20, novembre-décembre 2019, pp. 650-657.

BONIN, Hubert, « L'histoire comme outil de légitimation politique de l'entreprise pendant la Grande Crise de la fin du XX^{e} siècle (1974-1993) », *in* CRIVELLO Maryline,

GARCIA Patrick & OFFENSTADT Nicolas, *Concurrence des passés. Usages politiques du passé dans la France contemporaine*, Université de Provence, 2006, pp.157-168.

BOUDIA, Soraya, « Gouverner par les instruments économiques. La trajectoire de l'analyse coût-bénéfice dans l'action publique », *in* PESTRE Dominique, *Le gouvernement des technosciences*, La Découverte, 2014, pp. 231-259.

BOULIN Philippe et *al.*, « Les grands naufrages des années 1974 à 1984 », *Entreprises et histoire*, n° 27, 2001, pp. 104-112.

BOSSY T., BRIATTE F., « Les formes contemporaines de la biopolitique », *Revue internationale de politique comparée*, vol. 18(4), 2011, pp. 7-12.

BOUVIER, Guillaume, « Enjeux géopolitiques autour de la distribution d'électricité en France », *Hérodote*, n°110, 2003, pp. 71-87.

BOYER, Dominic, « Energopolitics and Anthropology of energy », *Anthropology News*, May 2011, pp. 5-6.

BOYER, Dominic, « Energopower: An Introduction », *Anthropological Quarterly*, vol. 87, n°2, 2014, pp.309-334.

BOYER, Dominic, « Anthropology Electric », *Cultural Anthropology*, 2015, pp. 531-539.

BRUNET, Philippe, « Les restes de l'industrie de l'uranium », *Techniques & Culture* [En ligne], Supplément au n°65-66, mis en ligne le 16 décembre 2016.

BRUNET, Roger, « Le pétrole en Afrique française », *L'information géographique*, vol. 22, n°1, 1958, pp. 26-35.

CAILLE, Frédéric, « L'énergie solaire thermodynamique en Afrique », *Afrique contemporaine*, n° 261-262, 2017, pp. 65-84.

CAILLE, Frédéric, « L'Afrique solaire ou le récit oublié : représentations sociales et expérimentations en matière d'énergie solaire en Afrique XIX^e^-XX^e^ siècles », *in* STOESSEL-RITZ Josiane, BLANC Maurice et AMAROUCHE Ahcène (dir.), *Penser les innovations sociales dans le développement durable : de la guerre à la paix*, *Sociologies et environnement*, 2018, pp. 39-59.

CALLON, Michel, « L'Etat face à l'innovation technique : le cas du véhicule électrique », *Revue française de sciences politique*, n°3, 1979, pp. 426-447.

CARLIER, Claude, « La France face à trois révolutions technologiques : le moteur à réaction, le missile balistique et la bombe atomique », *Guerres mondiales et conflits contemporains*, n° 238, 2010, pp. 65-80.

CHEVALIER, François, « La démocratie mexicaine et son parti dominant : genèse et développements », *Revue française de science politique*, n°2, 1988, pp. 232-248.

CHEVALLIER, Jacques, « L'élite politico-administratives : une interprétation discutée », *Pouvoirs*, n°80, 1997, pp. 89-100.

COHEN, Elie, « De la CGE à Alstom : une histoire bien française », *Sociétal*, n°43, Janvier 2004.

COLONOMOS, Ariel, « Les technologies dans les relations internationales : modèles et perspectives », *Quaderni*, n°31, 1997, pp. 41-57.

COPINSCHI Philippe, NOEL Pierre, « L'Afrique dans la géopolitique mondiale du pétrole », *Afrique contemporaine*, n°216, 2005, pp. 29-42.

CORDOBES Stéphane, DURANCE Philippe, « Les Entretiens de la Mémoire de la Prospective : Jacques Lesourne, Président de l'association Futuribles International », dans le cadre projet de recherche du Laboratoire d'Investigation en Prospective, Stratégie et Organisation (LIPSOR) du Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM), sous la direction du Professeur Michel Godet, 2ème édition, septembre 2004, 27 p.

CORTEN, André, « Le développement pétrolier au Mexique : une stratégie d'organisation du rapport de la population à l'espace », *Revue canadienne de science politique*, XXI : 3, septembre 1988, pp. 495-511.

CÔTE, Marc, « De quelques villes nouvelles au Sahara (Note) », *Méditerranée*, tome 99, 3-4, 2002, pp. 71-76.

DEBOS Marielle, POWELL Nathaniel, « L'autre pays des « guerres sans fin », Une histoire de la France militaire au Tchad (1960-2016) », *Les Temps Modernes*, 2017, pp. 221-266.

DE JOUVENEL, Hugues, « La démarche prospective. Un bref guide méthodologique. », novembre 1999, pp. 47-68.

DELEAGE, Jean-Paul, « Le philosophe, la baleine et le reacteur. À propos de la philosophie de Langdon Winner », *Ecologie &* politique, n°27, 2003, pp. 247-266.

DELTENRE, Damien, « Gestion des ressources minérales et conflits au Mali et au Niger », Note d'Analyse du GRIP, 12 décembre 2012, Bruxelles, http://grip.org/fr/node/762.

DE MONTBRIAL, Thierry, « Réflexion sur la théorie des relations internationale », *Politique étrangère*, 3/1999, pp. 467-490.

DESCAMPS, Florence, « Histoire des organisations et archives orales », École pratique des hautes études, Section des sciences historiques et philologiques, Livret-Annuaire 13, 1997-1998, 1999, p. 164-166.

DE SENARCLENS, Pierre, « Théories et pratiques des relations internationales depuis la fin de la guerre froide », *Politique étrangères*, 4 /2006, pp. 747-759.

DEVINEAU, Julie, « Les politiques d'équipement au Mexique : Privatisation, décentralisation et reconfiguration du pouvoir politique en milieu rural », *Revue internationale de politique comparée*, vol. 17, 2010, pp. 57-72.

DE WISSOCQ, François, « Georges Besse, grand ingénieur, grand chef d'entreprise, grand serviteur de l'État », *Bulletin de la Sabix*, 2011, pp. 79-88.

DUBOIS, Colette, « Cendrillon oubliée par la « Fée électricité » : Djibouti 1906-1977 », *Outre-mers*, tome 89, N°334-335, 2002, pp.105-123.

DUBOIS, Vincent, « Socio-histoire et usages sociaux de l'histoire dans l'analyse de l'action publique. Réflexion à partir de la politique culturelle en France », *in* DELOYE Y., VOUTAT B. (dir.), *Faire de la science politique. Pour une analyse socio-historique du politique*, Paris, Belin, 2002, pp. 155-166.

DURANCE, Philippe, « Les réseaux de pensée prospective à Cerisy », *Histoire@Politique*. *Politique, culture, société*, n° 20, mai-août 2013, pp. 88-101.

EDGERTON David, PESTRE Dominique, « De l'innovation aux usages. Dix thèses éclectiques sur l'histoire des techniques », *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, n° 4-5, 1998, pp. 815-837.

EVRARD, Aurélien, « Les énergies renouvelables et l'électricité. À propos d'un conflit entre un secteur et une alternative de politique publique », *Ecologie & politique*, n°49, 2014, pp. 67-80.

FONTAINE Antoine, ROCHER Laurence, « Géographie de la chaleur. L'énergie de récupération comme ressource territoriale », *Erès Espaces et sociétés*, n°182, 2020/3, pp. 113-129.

FOUQUET, Roger, « Path dependence in energy systems and economic development », *Nature Energy*, 1, 2016, http://eprints.lse.ac.uk/67119/

FRESSOZ, Jean-Baptiste, « Pour une histoire désorientée de l'énergie », *in* THEVENOT, Daniel, *25èmes Journées Scientifiques de l'Environnement - L'économie verte en question*, Créteil, 2014, 11 p. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00956441/document

FREYSSENET Michel, "L'internationalisation de la production de Renault: 1898-1979", communication au Colloque "Economic Crisis and Urban Austerity", New-York, Columbia University, 27-30 mai 1980, session "New International Patterns of the Division of Labour", 37 p. Édition numérique, freyssenet.com, 2006.

FREYSSENET, M., "Renault, une stratégie d' 'innovation et flexibilité' à confirmer", *in* FREYSSENET M., MAIR A., SHIMIZU K., VOLPATO G. (dir.), *Quel modèle productif? Trajectoires et modèles industriels des constructeurs automobiles mondiaux*, La Découverte, Paris, 2000, p. 405-440. Éditions numériques, freyssenet.com, 2007.

FRIEDBERG, Erhard, « Insaisissable planification. Réflexions à propos de quelques études sur la planification française », *Revue française de sociologie*, 16, supplément, 1975, pp. 605-623.

GALLET, Marc, « La société des Mines de Fer de Mauritanie (MIFERMA) », *Réalités industrielles*, août 2008, pp. 12-14.

GAYON Vincent, LEMOINE Benjamin, « Argent public », *Genèses*, n°80, 2010, pp. 2-7.

GECIT, Jean, « Le départ raté de l'énergie solaire en Afrique de l'Ouest, 1960- 1987 », *Journal of Energy History/Revue d'Histoire de l'Énergie* [En ligne], n°7, mis en ligne le 06 janvier 2022, URL: energyhistory.eu/node/285.

GODIN, Benoît, « The linear model of innovation : The historical construction of an analytical framework », *Science, Technology and Human Values*, 2006, vol. 31, n°6, pp. 639-667.

GRISET, Pascal, « Le défi électronique : Une perspective historique « , *Vingtième Siècle, Revue d'histoire*, n°40, octobre-décembre 1993, pp. 118-119.

GIROLAMO Ramunni, DEFLANDRE Jean, « Faire face à la crise du pétrole : l'énergie solaire au CNRS », *La revue pour l'histoire du CNRS* [En ligne], 4 | 2001.

GREGOIRE, Emmanuel, « Niger : un état à forte teneur en Uranium », *Hérodote*, n°142, 2011, pp. 206-225.

GUEDJ Muriel, MAYRARGUE Arnaud, « Éclairages historiques sur l'émergence du concept d'énergie », *RDST - Recherches en didactique des sciences et des technologies*, ENS Éditions, 2014, 10, pp.35-61.

GUTHLEBEN, Denis, « Coup de soleil au CNRS... », *La revue pour l'histoire du CNRS* [En ligne], 17 | 2007, mis en ligne le 03 juillet 2009.

HAGUENAUER-CACERES, Lucie, « Le rôle de la SCET Coopération en Côte d'Ivoire de 1959 à 1976 », *Société française d'histoire urbaine*, n°23, 2008, pp. 145-159.

HAU, Michel, « La face cachée de l'aventure industrielle », *Entreprises et histoire*, n° 27, 2001, pp. 4-6.

HERAULT, Bruno, « Interfuturs : une prospective de la mondialisation », *Horizons stratégiques*, n° 7, 2008, pp. 151-158.

HIERNAULT, Nicolas D., « L'État et le territoire : bilan de trois sexennats de politiques urbaines et régionales au Mexique (1970-1985) », *International Review of Community Development*, 17, 1987, pp. 103–113.

HILAIRE-PEREZ, Liliane, « Les figures de l'inventeur, XVIII[e]-XX[e] siècles », *Documents pour l'histoire des techniques*, n°17, 2009, pp. 6-148.

HIRIBARREN, Vincent, « Les guerres françaises au Tchad, interview de POWELL Nathaniel », *liberation.fr*, 25 septembre 2016.

JANSEN, Sabine, « Les débuts du Centre d'analyse et de prévision : expertise et prospective au service de la politique étrangère (1973-1978) », *Stratégique*, n° 113, 2016, pp. 143-168.

JARRIGE, François, « « Mettre le soleil en bouteille » : les appareils de Mouchot et l'imaginaire solaire au début de la Troisième République », *Romantisme*, n°150, 2010/4, pp. 85-96.

JARRIGE François, LE COURANT Stefan, PALOQUE-BERGÈS Camille, « Infrastructures, techniques et politiques », *Tracés. Revue de Sciences* humaines, n°35, 2018, pp. 7-26.

JOBER, Bruno, « Le Ministère de l'industrie et la cohérence de la politique industrielle », *Revue française de science politique*, n°2, 1973, pp. 321-329.

KEOHANE, Robert, « Neoliberal institutionnalism : a perspective on world politics », *In* : *International Institutions and State Power essays in international relations*, Boulder : Westview, 1989, pp. 1-20.

KIBAROGLU, Mustafa, « Iran's Nuclear Ambitions from a Historical Perspective and the Attitude of the West », *Middle Eastern Studies*, Vol. 43, N° 2, March 2007, pp. 223-245.

KORANY, Bahgat, « Futur des relations internationales ou relations internationales du futur ? », *Études internationales*, volume 15, n°4, pp. 879-884.

LAIRD, Frank N., « Constructing the Future. Advocating Energy Technologies in the Cold War », *Technology and Culture*, Vol. 44, January 2003, pp. 27-49.

LAKOMSKI-LAGUERRE, Odile, « Introduction à Schumpeter », *L'Économie politique*, n° 29, 2006, pp. 82-98.

LATOUR, Bruno, « Pour un dialogue entre sciences politique et *sciences studies* », *Revue française de science politique*, vol. 58, 2008/4, pp. 657-678.

LAWAL, Aabdoulaye, « Les vraies raisons ou les enjeux cachés de la guerre au Mali », *Mille Bâbords*, 12 février 2013, 21 p.

LECUYER Christophe, CHOI Hyungsub, « Les secrets de la Silicon Valley ou les entreprises américaines de microélectronique face à l'incertitude technique », *Revue d'histoire moderne et contemporaine* , tome 59, n°3, juillet-septembre 2012, pp. 48-69.

LEROSIER, Thomas, « Philippe Descola, *Par-delà nature et culture* », *Humanités numérique, corpus et sens*, 2017, pp. 555-557.

LEROY Daniel, OLIVE Jean, ENGEL Jean-Jacques, « L'uranium naturel : des ressources abondantes, mais à quel prix ? », *Revue des Ingénieur*, janvier-février 2003, pp. 23-29.

LEVEAU Rémy, RIFAI Taki, « L'arme du pétrole », *Revue française de science politique*, n°4, 1974, pp. 745-769.

L'HUILIER, Hervé, « Réponses de la Compagnie française des pétroles à la montée des risques politiques dans le monde pendant les Trente Glorieuses. Avancées et limites », *Les cahiers IRICE*, n°6, 2010/2, pp. 79-92.

LICOPPE, Christian, « Les premières années des recherches sur les semi-conducteurs et les "transistrons" au CNET (1946-1956) », *Histoire, recherche télécommunications*, *Réseaux*, hors série 14, 1996, pp. 123-146 .

LIM, X., « Cooling With Heat. As Demand for Air Condtionning Climbs, Some See a Solution in the Very Thing That Makes Us Sweat : The Sun », *Nature*, 542, February 2017.

MAGRIN, Géraud, « L'Afrique entre malédiction des ressources et émergence : une bifurcation ? », *Revue française de socio-économie*, 2015, pp.105-120.

MARBACH, Christian, « Le management selon George Besse », *Annales des Mines – Réalités industrielles*, août 2011, pp. 28-51.

MARBACH, Christian, « Georges Besse arrive chez Renault : lisons les journaux ! », *Bulletin de la* Sabix, 2011, pp. 69-77.

MEHYONG Stéphane William, NDONG Robert Edgard, « L'électrification de l'Afrique équatoriale française (AEF) dans la période de l'Après-Seconde guerre mondiale : aménagements hydroélectriques et rivalités interterritoriales, *Revue historique*, PUF, n°657, 2011/1, pp. 93-118.

MEIMON, Julien, « Se découvrir militant. Le cabinet Cot à l'épreuve de la Coopération (1981-1983) », *Politix,* n° 70, 2005/2, pp. 113-134.

MEYNAUD, Jean, « Les techniciens et le pouvoir », *Revue française de science politique*, n°1, 1957, pp. 5-37.

MIHALCEA, Dumitru, « Hot air engine, developed and patented by Traian Vuia, a Romanian performance for 21st Century », *Ro. J. Techn. Sci. − Appl. Mechanics*, Vol. 63, N° 3, 2018, pp. 253-275.

MITCHELL Timothy, CHARBONNIER Pierre, VINCENT Julien, « Étudier les infrastructures pour ouvrir les boîtes noires politiques. Entretien avec Timothy Mitchell », *Tracés. Revue de Sciences* humaines, n°35, 2018, pp. 209-228.

MOUNIER-KUHN, Pierre-E., « Le Plan Calcul, Bull et l'industrie des composants : les contradictions d'une stratégie », *Revue Historique*, tome 292, fasc. 1 (591), juillet-septembre 1994, pp 123-153.

MOUTHON, Alexandre, « Dans les pas de Jean-Pierre Girardier », *in* CAILLE Frédéric et BADJI Mamadou (dir.), *Du soleil pour tous : l'énergie solaire au Sénégal : un droit, des droits, une histoire*, Québec (Québec), Éditions science et bien commun [esbc], Environnement, 2018, pp 73-92.

MOUTHON, Alexandre, « La centrale de pompage thermo-solaire de Diré au Mali (années 1970-1980). Éléments pour une évaluation sociotechnique », *Cahiers d'histoire du Cnam*, n°13, 2020/1, pp. 57-90.

MOUTHON, Alexandre, « Du solaire par le froid et inversement : Techniques frigorifiques et énergie solaire, une continuité technologique oubliée », *Cahiers d'histoire du Cnam*, n°13, 2020/1, pp. 91-114.

MUJEEBUA Abdul, SUBHI ALSHAMRANIA Othman, « A Review of Solar Energy Exploration and Utilization in Saudi Buildings », *International Journal of Advanced Thermofluid Research*, Vol. 1, N°1, 2015, pp. 70-85.

MUSIAL, Stanislaw, « La géopolitique. Perceptions contemporaines et notions dérivées », *Diploweb.com La revue géopolitique*, 26 décembre 2014.

NOEL, Pierre, « Indépendance énergétique *versus* marché mondial », Institut d'Études Politiques et IEPE, Grenoble.

ORTAR Nathalie, LOLOUM Tristan, « Introduction à l'anthropologie de l'énergie », *Lectures anthropologiques*, n°5, 2019, https://www.lecturesanthropologiques.fr/657.

PACQUEMENT, François, « Le système d'aide au développement de la France et du Royaume-Uni : points de repère sur cinquante ans d'évolutions depuis la décolonisation », *Revue internationale de politique de* développement, 2010, pp. 55-80.

PALLIER Bruno, SUREL Yves, « les « Trois I » et l'analyse de l'Etat en action », *Revue française de science politique*, vol. 55, 2005, pp. 7-32.

PAPPALARDO, Marta, « La gouvernance des communautés énergétiques, entre pratiques de l'espace et dynamiques de pouvoir », *Erès Espaces et sociétés*, n°182, 2020/3, pp. 55-71.

PEAN, Pierre, « France-Afrique, Françafrique, France à fric », *Revue internationale et stratégique*, n°85, 2012, pp. 117-124.

PEHLIVANIAN, Sophie, « Construire une histoire de l'énergie solaire. L'exemple d'une initiative originale d'une recherche solaire méditérranéenne », *Rives méditerranéennes*, 2015, pp. 121-134.

PEHLIVANIAN, Sophie, « Le four solaire de la colline de la Bouzareah : l'Héliodyne d'Alger, 1954 », *Cahiers d'histoire de l'aluminium*, n° 56-57, 2016/1, pp. 111-111.

PELLETIER, François, « Pétrole et enjeux politiques en France. La naissance d'un secteur stratégique », *Vingtième Siècle*, n°140, 2018, pp. 123-136.

PEPIN LEHALLEUR, Marielle, « L'émergence d'un Mexique rural post-agrariste », *in* PREVOT SCHAPIRA Marie-France, REVEL-MOUROZ Jean, *Le Mexique à l'aube du troisième millénaire*, Editions de l'IHEAL, 1993, pp. 221-242.

PERCEBOIS, Jacques, « Énergie et théorie économique : un survol », *Revue d'économie politique,* vol. 111, 2001/6, pp. 815-860.

PERRIAULT, Jacques, « « Culture technique ». Éléments pour l'histoire d'une décennie singulière 1975-1985 », *Les cahiers de médiologie*, n° 6, 1998/2, pp. 197-214.

PESTRE, Dominique, « La création de la DMA et de la DREM en 1961 : projet politique stratégique ou construction conjoncturelle ? », in CHATRIOT Alain et *al*., *Le gouvernement de la recherche,* La Découverte, 2006, pp. 163-173.

PESTRE, Dominique, « Les sciences entre démiurgie, états de fait économiques et démocratie. Aperçu historique, situation présente, principes normatifs », *in* BACQUE Marie-Hélène et *al*., *La démocratie participative*, La Découverte, 2011, pp. 261-282.

PESTRE, Dominique, « Des sciences, des techniques et de l'ordre démocratique et participatif », *Participations*, n°1, 2011, pp. 210-238.

PESTRE, Dominique, « Chapitre 3. Pour une politique assumée de l'ignorance. A propos du savoir et de ses limites », *in* PESTRE, Dominique, *A contre-science*, Paris, Le Seuil, 2013, pp. 63-87.

PESTRE, Dominique, « Néolibéralisme et gouvernement. Retour sur une catégorie et ses usages », *in* PESTRE Dominique, *Le gouvernement des technosciences*, La Découverte, 2014, pp. 261-284.

PETITEVILLE, Franck, « Quatre décennies de « coopération franco-africaine : usages et usure d'un clientélisme », *Études internationales*, 27(3), 1996, pp. 571–601.

POIRMEUR, Yves, « Les grands corps et l'alternance de 1981 : déclin ou redéploiement ? », *in* LOCHAK D., *La Haute Administration et la politique*, PUF, 1986, pp. 101-129.

PONDI, Jean-Emmanuel, « La coopération franco-africaine vue d'Afrique », *Revue internationale et stratégique*, volume 45, n°1, 2002, pp. 127-136.

POUPONNEAU, Florent, « Les changements de la politique française d'exportations nucléaires (1974-1976) : un triple double jeu », *Critique internationale*, n° 58, 2013/1, pp. 95-116.

RAGHEB, Magdi, « Solar Thermal Power and Energy Storage Historical Perspective »,2014, https://mragheb.com/NPRE%20498ES%20Energy%20Storage%20Systems/Solar%20Thermal%20Power%20and%20Energy%20Storage%20Historical%20Perspective.pdf

REBER, Bernard, « Technologie et débat démocratique en Europe. De la participation à l'évaluation pluraliste. », *Revue française de science politique*, vol. 55, 2005/5, pp. 811-833.

RIBEILL, Georges, « De l'utopie technique à l'utopie sociale. Les ressorts de l'imaginaire technologique des ingénieurs au XIX^{e} siècle », *Réseaux*, n°109, 2001/5, pp. 114-144.

RISSO, Linda, « NATO and the Environment : The Committee on the Challenges of Modern Society », *Contemporary European History*, Volume 25, August 2016, pp. 505-535.

ROBERT, Cécile, « Défendre l'intérêt, promouvoir l'influence : les administrations nationales dans la construction de l'expertise européenne », *Revue française d'administration publique*, n°158, 2016/2, pp. 447-461.

ROCHE Sylvain, CLÉMENT Alain H., BABARIT Aurélien, BOUNEAU Christophe, « Transformer les vagues en énergie : utopie ou réalité ? », *Artefact,* n°9, 2018, pp. 239-265.

ROSE, Gideon, « Neoclassical Realism and Theories of Foreign Policy », *World Politics*, 51 (1), octobre 1998, pp. 144-172.

RUMPALA, Yannick, « Formes alternatives de production énergétique et reconfigurations politiques. La sociologie des énergies alternatives comme étude des potentialités de réorganisation du collectif », n° 92, *Flux* 2013/2, pp. 47-61.

SAURRUGER, Sabine, « L'expertise un mode de participation des groupes d'intérêt au processus décisionnel communautaire », *Revue française de science politique*, n°4, 2002, pp. 375-401.

SINHA Abhijit, BISWAS Agnimitra and SHARMA K. K., « Comparison of Efficiency of a Solar Driven Carnot Engine under Maximum Power and Power Density Conditions », *Journal of Urban and Environmental Engineering* , Vol. 8, N° 2, July to December 2014, pp. 225-231.

STOFFEL, Jean-François, « La révolution copernicienne responsable du «désenchantement du monde»? L'exemple des analogies solaires », *Revue belge de philologie et d'histoire*, tome 80, fasc. 4, 2002, pp. 1189-1224.

STOFFAËS, Christian, « Le rôle du Corps des Mines dans la politique industrielle française : deux siècles d'action et d'influence », *Annales des Mines - Réalités industrielles,* 2011/4, pp. 48-67.

SZEMAN Imre, BARNEY Darin, « From Solar to Solarity », *The South Atlantic Quarterly*, « Solarity », Volume 120, Issue 1, January, Duke University, 2021, pp. 1-11.

TASDEMIROGLU, E., « The Energy Situation in OIC Countries. The Possible Contribution of Renewable Energy Ressources », *Energy Policy*, December 1989, pp. 577-590.

TEISSIER, Pierre, « Le solaire passif à l'ombre de la politique énergétique française, 1945-1986 », *Annales historiques de l'électricité*, Les politiques publiques de l'énergie solaire, N°11, 2013/1, pp. 11-25.

TEISSIER, Pierre, « Fours et maisons solaires de Mont-Louis-Odeillo. Interstices, intersciences et internationalismes de la recherche contemporaine », *in* LE GARS Stéphane, BOISTEL Guy, *Dans le champs solaire. Cartographie d'un objet scientifique*, Paris, Hermann Editeurs, 2015, pp. 181-219.

TESSON, Yves, Compte-rendu de lecture de l'ouvrage : « Aluminium. Du métal de luxe au métal de masse (XIX^{e}-XXI^{e} siècle) », *Cahiers d'histoire de l'aluminium*, n° 54, 2015/1, pp. 94-105.

VAÏSSE, Maurice, « L'historiographie française relative au nucléaire », *Revue historique des armées* [En ligne], 262 | 2011, mis en ligne le 09 février 2011.

VARASCHIN, Denis, « EDF et l'Outre-mer, de 1946 au début des années 1960 », *Outre-mers*, tome 89, n°334-335, 2002, pp. 387-408.

VERLUISE, Pierre, « Géopolitique – La puissance », *Diploweb.com La revue de géopolitique*, 10 novembre 2013.

VRIGNON, Alexis, « Écologie et politique dans les années 1970. Les Amis de la Terre en France », *Vingtième Siècle. Revue d'histoire*, n° 113, 2012/1, pp. 179-190.

VRIGNON, Alexis, « Vers une société solaire ? Réflexions et expérimentations autour d'une transition énergétique potentielle dans les années 1968 » *in* MATHIS C.-F., MASSARD-GUILBAUD G. (dir.), *Sous le soleil. Systèmes et transitions énergétiques du Moyen Age à nos jours*, Paris, Éditions de la Sorbonne, 2019, pp. 344-352.

WALTZ, Kenneth N., « International Politics Is not Foreign Policy », *Security Studies*, 6 (1), automne 1996.

WRIGHT, Albert Michel, « Réponses au questionnaire du Bimensuel Sahel-Sciences », Niamey, 7 avril 2007.

ZAKARIA, Fareed, « Realism ans Domestic Politics : A Review Essay », *International Security*, 17 (1), été 1992, pp. 177-198.

OUVRAGES

ABEILLON, Jean-Claude, *Les grandes figures de la riche histoire des Sociétés de Commerce Extérieur françaises*, OSCI Les entrepreneurs de l'international, 2016 (?).

AKRICHT Madeleine, CALLON Michel, LATOUR Bruno, *Sociologie de la traduction*, Paris, Presses des Mines, 2006.

ALLEAU, Thierry, *L'Hydrogène, énergie du futur ?,* EDP Sciences, 2007.

ALLISON, Graham T., *Essence of Decision : Explaining the Cuban Missile Crisis*, Boston, Little, Brown and Company, 1971.

AUDIBERT, Jean, *Miferma : une aventure humaine et industrielle en Mauritanie*, Paris, L'Harmattan, 1991.

AUZANNEAU, Matthieu, *Or noir, la grande histoire du pétrole*, Paris, La Découverte, 2016.

ARDILLO, José, *Les illusions renouvelables. Energie et pouvoir. Une histoire*, L'Echappée, 2015.

ARON, Raymond, *Paix et guerre entre les nations*, Calmann-Lévy, 1962.

BADIE, Bernard, *Un monde sans souveraineté*, Paris, Fayard, 1999.

BAILLEUL, David (dir.), *L'énergie solaire, aspects juridiques*, Université de Savoie, Chambéry, 2010.

BARBER, Daniel A., *A house in the Sun*, *Modern Architecture and Solar Energy in the Cold War,* Oxford University Press, 2016.

BATISTELLA Dario, SMOUTS Marie-Claude, VENNESSON Pascal (dir.), *Dictionnaire des relations internationales*, Paris, 2ème édition, Dalloz, 2006.

BATISTELLA, Dario, *Théorie des relations internationales*, 4ème édition mise à jour et augmentée, Paris, Presses de la Fondation nationale des sciences politiques, 2012.

BAUDRY Jérôme, BLANC Jan, HILAIRE-PEREZ Liliane, RATCLIFF Marc, WENGER Sylvain (dir.), *Produire du nouveau ? Arts-techniques-sciences en europe (1400-1900)*, Paris, CNRS Editions, 2021.

BELTRAN Alain, COUVREUX Jean-Paul, *Électricité de France, Cinquante ans d'histoire(s) à l'international*, Paris, Le Cherche-Midi Éditeur, 1996.

BELTRAN Alain, BOUNEAU Christophe, BOUVIER Yves, VARASCHIN Denis, WILLIOT Jean-Pierre (dir.), *État et énergie XIXe-XXe siècle*, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Paris, IGPDE, 2009.

BEZES, Philippe, *Réinventer l'État. Les réformes de l'administration française (1962-2008)*, Paris, Presses Universitaire de France, 2009.

BIHOUIX, Philippe, *L'âge des low-tech*, Paris, Seuil, 2014.

BIJKER Wiebe E, HUGUES Thomas P., PINCH Trevor (dir.), *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge, MIT Press, 1987.

BLANC, Pierre, *Proche-Orient : Le pouvoir, la terre et l'eau*, Paris, Les Presses de Sciences Po, 2012.

BONNEUIL Christophe, FRESSOZ Jean-Baptiste, *L'événement anthropocène*, Paris, Seuil, 2016.

BOOKCHIN, Murray, *Au-delà de la rareté, l'anarchisme dans une société de l'abondance*, Les Éditions Ecosociété, 2015.

BOURDIEU, Pierre, *La noblesse d'état, grandes écoles et esprit de corps*, Paris, Les éditions de minuit, 1989.

BOURDIEU, Pierre, *Sur l'État*, Paris, Seuil, 2012.

BOURGEOIS Bernard, FINON Dominique, MARTIN Jean-Marie (dir.), *Energie et changement technologique. Une approche évolutionniste*, Paris, Economica, 2000.

BOUSSAGUET Laurie, JACQUOT Sophie, RAVINET Pauline (dir.), *Dictionnaire des politiques publiques,* Paris, Presses de la Fondation nationale des sciences politiques, 2014.

BOUSSAGUET Laurie, JACQUOT Sophie, RAVINET Pauline (dir.), *Une « French touch » dans l'analyse des politiques publiques ?*, Paris, Presses de la Fondation nationale des sciences politiques, 2015.

BOUVIER, Yves, *Connexions électriques. Technologies, hommes et marché dans les relations entre la Compagnie générale d'électricité et l'État, 1898-1992*, Bruxelles, Peter Lang, 2014.

BOYER D., SEZMAN I., *Energy Humanities. An Anthology*, Johns Hopkins University Press, 2017.

BOYER, Dominic, *Energopolitics: Wind and Power in the Anthropocene* (single authored volume of a collaborative duograph with Cymene Howe), Duke University Press, 2019.

BRADFORD, Travis, *Solar Revolution : The Economic Transformation of the Global Energy Industry*, The MIT Press, 2006.

BRUYERRE, Philippe, *La puissance du vent. Des moulins à vent aux éoliennes modernes*, Toulouse, Presses universitaires du Midi, 2020.

BRZEZINSKI, Zbigniew, *Between two ages – America's role in the technetronic ag*e, New York : The Viking Press, 1970.

BUHLER, Pierre., *La puissance au XXI^e siècle, les nouvelles définitions du monde*, Paris CNRS, 2014.

BUSSIÈRE, Éric, *Georges Pompidou face à la mutation économique de l'Occident, 1969-1974* , Presses Universitaires de France « Politique d'aujourd'hui », 2003.

BUTTI Ken, PERLIN John, *A Golden Thread*, Cheshire Books, Palo Alto, U.S.A., Van Nostrand Reinhold Compagny, New York, U.S.A., 1980.

CAILLE, Frédéric, *L'invention de l'énergie solaire : la véritable histoire d'Augustin Mouchot*, à paraître.

CAILLE Frédéric, BADJI Mamadou (dir.), *Du soleil pour tous : l'énergie solaire au Sénégal : un droit, des droits, une histoire*, Québec (Québec), Éditions science et bien commun [esbc], Environnement, 2018.

CAILLE Frédéric (Dir.), *Abdou Moumouni Dioffo (1929-1992), le précurseur nigérien de l'énergie solaire*, Éditions science et bien commun, Québec, 2018.

CAILLE, Frédéric (dir.), *Penser les énergies depuis les Suds. Une anthologie de textes de Amulya K. N. Reddy (1930-2066)*, Québec, Éditions science et bien commun, 2022.

CAMPANELLA, Tommaso, *La cité du soleil*, Librairie Droz, Genève, 1972.

CARLES Cédric, ORTIZ Thomas, DUSSERT Eric, *Rétrofutur. Une contre-histoire des innovations énergétiques*, Paris, Buchet Chastel.

CARON, François, *La dynamique de l'innovation. Changement de technique et changement social* (XVI^{e}-XX^{e} siècle), Paris, Gallimard, 2010.

CHARNONNEAU, Bertrand, *Le système et le chaos. Critique du développement exponentiel*, Paris, Anthropos, 1973.

CLASTRES, Pierre, *La société contre l'Etat*, Paris, Les éditions de Minuit, 1974.

COHEN Antonin, LACROIX Bernard, RIUTORT Philippe, *Nouveau manuel de science politique,* Paris, La Découverte, 2009.

COHEN Samy, SMOUTS Marie-Claude (dir.), *La politique extérieure de Valéry Giscard d'Estaing*, Paris, Presses de la fondation nationale des sciences politiques, 1985.

COHEN, Samy, *La monarchie nucléaire, les coulisses de la politique étrangères sous la V^{e} République*, Paris, Hachette, 1986.

COLLOMBAT Benoit, SERVENAY David (dir.), *Histoire secrète du patronat de 1945 à nos jours*, Paris, La Découverte, 2010.

DEBEIR Jean-Claude, DELEAGE Jean-Paul, HEMERY Daniel, *Une histoire de l'énergie. Les servitudes de la puissance*, Paris, Flammarion, 2013.

DELTOMBE T., DOMERGUE M., TATSITSA J., *La guerre du Cameroun, l'invention de la Françafrique*, Paris, La Découverte, 2016.

DENEAULT, A., *De quoi Total est-elle la somme ?,* Paris, Rue de l'échiquier/Ecosociété, 2017.

DESCOLA, Philippe, *Par-delà nature et culture*, Paris, Gallimard, 2005.

DE SENARCLENS, P., *Politique internationale,* Paris, Armand Colin, 1992.

DE SENARCLENS, P., *La mondialisation. Théories, enjeux et débats*, Paris, Armand Colin, 2001.

DESSUS Benjamin, LAPONCHE Bernard, *En finir avec le nucléaire, pourquoi et comment*, Paris, Seuil, , 2011.

DEVICTOR, Vincent, *Gouverner la biodiversité, ou comment réussir à échouer*, Editions Quae, 2021.

DUBEY Gérard, GRAS Alain, *La servitude électrique. Du rêve de liberté à la prison numérique,* Paris, Seuil, 2021.

EDGERTON, David, *Quoi de neuf ? Du rôle des techniques dans l'histoire globale*, Paris, Seuil, 2013.

ELLUL, Jacques, *La technique ou l'enjeu du siècle*, Paris, Armand Colin, 1954.

EVRARD, Aurélien, *Contre vents et marées. Politiques des énergies renouvelables en Europe*, Paris, Presses de la Fondation nationale des sciences politiques, 2013.

FALIGOT Roger, GUISNEL Jean (dir.), *Histoire secrète de la V^e^ République*, Paris, La Découverte, 2007.

FALIGOT Roger, GUISNEL Jean, KAUFFER Rémi, *Histoire politique des services secrets français*, Paris, La Découverte, 2013.

FOUCAULT, Michel, *Naissance de la biopolitique. Cours au Collège de France (1978-1979)*, Paris, EHESS-Gallimard-Le Seuil, 2004.

FRIEDENSON Patrick, GRISET Pascal (dir.), *Entreprises de haute technologie, État et souveraineté depuis 1945*, Comité pour l'histoire énonomique et financière de la France, Paris, IGPDE, 2013.

FREYSSENET M., FRIDENSON P., POINTET JM. (dir.), *Les données économiques et sociales de Renault. Les années 70 et 80*, Paris, GERPISA, 1995, 222 p. Éditions numérique, freyssenet.com, 2006.

FUREIX Emmanuel, JARRIGE François, *La modernité désanchentée. Relire l'histoire du XIX^e siècle français*, Paris, La Découverte, 2020.

GAILLARD, Frédéric, *Le soleil en face. Rapport sur les calamités de l'industrie solaire et des prétendues énergies alternatives*, Montreuil, L'échappée, 2012.

GALLOIS, Pierre-Marie, *Géopolitique. Les voies de la puissance*, L'Age d'Homme, 2000.

GARÇON Anne-Françoise, BELHOSTE Bruno (dir.), *Les ingénieurs des Mines : cultures, pouvoirs, pratiques*, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Paris, IGPDE, 2012.

GILLES, Bertrand (dir.), *Histoire des techniques*, Paris, Gallimard, 1978.

GOMEZ-TEMESIO, Veronica, *L'Etat sourcier. Eau et politique au Sénégal*, Lyon, ENS Editions, 2019.

GRAS, Alain, Les *macro-systèmes techniques*, Paris, PUF, 1997.

GRAS, Alain, *Fragilité de la puissance. Se libérer de l'emprise technologique*, Paris, Fayard, 2003.

GRAS, Alain, *Le choix du feu*, Paris, Fayard, 2007.

GRINEVALD, Jacques, *La biosphère de l'Anthropocène*, Genève, Georg Editeur, 2007.

GUTHLEBEN, Denis, *Histoire du CNRS, de 1939 à nos jours*, Comité pour l'histoire du CNRS, Paris, Armand Colin, 2009.

HABERMAS, Jürgen, *La technique et la science comme « idéologie »*, Gallimard, 1968, 1973.

HACHEZ-LEROY, Florence, *L'aluminium français : l'invention d'un marché, 1911-1983*, Paris, CNRS histoire, 1999.

HANSEN Jean-Pierre, PERCEBOIS Jacques, *Energie. Economie et politiques,* De Boeck, 2015.

HECHT, Gabrielle, *Le rayonnement de la France, énergie nucléaire et identité nationale après la Seconde Guerre mondiale*, Paris, La Découverte, 2014.

HECHT, Gabrielle, *Uranium africain, une histoire globale*, Paris, Seuil, 2016.

HERLEA, Alexandre, *Les moteurs*, Paris, PUF, 1985.

HILAIRE-PEREZ Liliane, GARÇON Anne-Françoise (dir.), *Les chemins de la nouveauté. Innover, inventer au regard de l'histoire*, Paris, CTHS, 2003.

HODDESON Lillian, GARETT Peter, *The Man Who Saw Tomorrow : The Life and Inventions of Stanford R. Ovshinsky*, The MIT Press, 2018.

HUGHES, Thomas P., *Network of Power. Electrification in Western Society*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1983.

HUGHES Thomas P., MAYNTZ Renate (dir.), *The Developement of Large Scale Technical Systems*, Campus, 1988, Routledge, 2019.

INVERNIZZI, C. M., *Closed Power Cycles. Thermodynamic Fundamentals and Applications*, London, Springer, 2013.

JANICAUD, Dominique, *La puissance du rationnel*, Paris, Gallimard, 1985.

JARRIGE François, VRIGNON Alexis (dir.), *Face à la puissance. Une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel*, Paris, La Découverte, 2019.

JOBERT Bruno, MULLER Pierre, *L'État en action. Politiques publiques et corporatismes*, Paris, PUF, 1987.

JONES Geoffrey, BOUAMANE Loubna, *Power from Sunshine : A Business History of Solar Energy*, Harvard Business School, May 2012.

JUNGER, Friedrich Georg, « La perfection de la technique », Paris, Allia, 2018 (1946).

KEOHANE O. Robert, NYE S. Joseph, *Transnational Relations and World Politics*, Cambridge, Harvard University Press, 1972.

KEOHANE O. Robert, NYE S. Joseph, *Power and interdependance : World politics in Transition*, Boston, Little Brown, 1977.

KESSLER, Marie-Christine, *Les grands corps de l'Etat*, Paris, Presses de la fondation nationale des sciences politiques, 1986.

LAIRD, Frank N., *Solar Energy, Technology Policy, and Institutional Values*, Cambridge University Press, 2001.

LARSON Ronal, WEST E. Ronald, *Implementation of Solar Thermal Technology*, The MIT Press, 2003.

LE GARS Stéphane, BOISTEL Guy, *Dans le champs solaire. Cartographie d'un objet scientifique*, Paris, Hermann Editeurs, 2015.

LEVY-LEBOYER, Maurice (dir.), *Les banques en Europe de l'Ouest de 1920 à nos jours*, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Paris, IGPDE,1995.

LOBELL Steven E., RIPSMAN Norrin M., TALIAFERRO Jeffrey W. (eds.), *Neoclassical Realism, the State, and Foreign Policy*, Cambridge, Cambridge University Press, 2009.

LOLOUM Tristan, ABRAM Simone, ORTRAR Nathalie, *Ethnographies of Power*, New York – Oxford, Berghahn Books, 2021.

LOPEZ, Fanny, *Le rêve d'une déconnexion*, Paris, Éditions de La Villette, 2014.

MACCHI E., ASTOLFI M., *Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems. Technologies and Applications*, Woodhead Publishing Series in Energy, Number 107, Elsevier, 2017.

MALM, Andreas, *Fossil Capital, the Rise of Steam Power and the Riots of Global Warning*, London, Verso, 2016.

MALM, Andreas, *L' Anthropocène contre l'histoire*, Paris, La Fabrique, 2017.

MALIS, Christian, *Guerre et stratégie au XXI^e siècle*, Paris, Fayard, 2014.

MALIS, Christian, *Raymond Aron et le débat stratégique français : 1930-1966*, Paris, Economica, 2005.

MARCHESIN, Philippe, « *La politique française de coopération. Je t'aide, moi non plus* », Paris, L'Harmattan, 2021.

MARÇOT, Jean-Louis, *Une mer au Sahara*, Paris, Editions de la Différence, 2003.

MARÇOT, Jean-Louis (dir.), *Arpenter l'utopie. Elie Roudaire à la recherche de la mer intérieure saharienne*, Guéret, Edition de la Bibliothèque Multimédia du Grand Guéret, 2018.

MARIEKE Louis, MAERSTENS Lucile, *Why international organizations hate politics. Depoliticizing the world*, London & New-York, Routledge, 2021.

MATHIS Charles-François, MASSARD-GUILBAUD Geneviève, *Sous le soleil, systèmes et transitions énergétiques du Moyen Age à nos jours*, Paris, Editions de la Sorbonne, 2019.

MISSEMER, Antoine, *Nicholas Georgescu-Roegen, pour une révolution bioéconomique*, Lyon, ENS Editions, 2013.

MITCHELL, Timothy, *Colonising Egypt*, University of California Press, 1991.

MITCHELL Timothy, *Rule of Experts : Egypt, Techno-Politics, Modernity*, University of California Press, 2002.

MITCHELL, Timothy, *Carbon democracy. Le pouvoir politique à l'ère du pétrole,* Paris, La Découverte, 2017.

MORGENTHAU, Hans*, Politics Among Nations. The struggle for Power and Peace*, New York, Mc Graw, 1948.

MORSEL, Henri (dir.), *Histoire de l'électricité en France, tome troisième 1946 – 1987*, Paris, Fayard, 1996.

MOORE, Sharlissa, *Sustainable Energy Transfromation, Power and Politics : Morocco and Mediterranean*, Routledge, 2019.

MUMFORD, Lewis, *Le mythe de la machine*, tomes I et II, Paris, Fayard, 1973.

MUMFORD, Lewis, *Technique et civilisation*, Editions Parenthèses, 2015.

MUSSO, Pierre, *La Religion industrielle*, Paris, Fayard, 2017.

NADER, Laura, *The Energy Reader*, Whiley-Blacwell, 2010.

NEW DAGGETT, Cara, *The Birth of Energy*, Durham and London, Duke University Press, 2019.

NYE, Joseph, *Bound to lead – the changing nature of american power*, New York: Basic Books, 1990.

PALZ, Wolfgang, *Power for the World : The Emergence of Electricity from the Sun*, Pan Stanford Publishing, 2011 et 2013.

PAYRE Renaud, POLLET Gilles, *Sociohistoire de l'action publique*, Paris, La Découverte, 2013.

PERLIN, John, *From space To Earth, The Story Of Solar Electricity,* Harvard University Press, 2002.

PERLIN, John, *Let It Shine, New World Library*, California, Novato, 2013.

PESSIS Céline, TOPÇU Sezin, BONNEUIL Christophe (dir.), *Une autre histoire des « Trente Glorieuses »*, Paris, La Découverte, 2015.

PESTRE, Dominique, *A contre-science. Politiques et savoirs des sociétés contemporaines*, Paris, Seuil, 2013.

PESTRE Dominique, *Le gouvernement des technosciences*, Paris, La Découverte, 2014.

PESTRE Dominique, BONNEUIL Christophe (dir.) , *Le siècle des technosciences (depuis 1914)*, *Histoire des sciences et des savoirs, tome* 3, Paris, Seuil, 2015.

POLANYI, Karl, *La Grande Transformation. Aux origines politiques et économiques de notre temps*, Paris, Gallimard, 1983 (1944).

PROCTOR Robert N., SCHIEBINGER Londa (Dir.), *Agnotology. The making & unmaking of ignorance*, Stanford University Press, Stanford California, 2008, 298 p.

QUATREPOINT, Jean-Michel, *Alstom, scandale d'Etat*, Paris, Fayard, 2015.

ROCHE, J.-J., *Théories des relations internationales*, Paris, Monchrestien, 1997.

ROSENAU J.-N., *Turbulence in World Politics, A Theory of Change and Continuity*, Princeton, Ney Jersey, Princeton University Press, 1990.

SAMUEL, Pierre, *Histoire des Amis de la Terre, 1970-1989, vingt ans au cœur de l'écologie*, 1998. https://www.amisdelaterre.org/wp-content/uploads/2012/08/histoire-des-at-1970-1989.pdf

SCHWELLER, Randall L., *Unanswered Threats : Political Constraints in the Balance of Power*, Princeton, Princeton University Press, 2006.

SIMONDON, George, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier, 1989.

SKOLNIKOFF, Eugene, *Science, Technology and American Foreign Policy*, Cambridge, MIT Press, 1967.

SKOLNIKOFF, Eugene*, The International Imperative of Technology*, Berkley, Institute of International Studies, 1972.

SKOLNIKOFF, Eugene, *The elusive transformation – sciences, technology and the evolution of international politics*, Princeton University Press, 1993.

SMIL, Vaclav, *Power Density : A Key to Understand Energy Sources and Uses*, The MIT Press, 2015.

SMIL, Vaclav, *Energy and Civilization : A History*, The MIT Press, 2017.

SMOUTS, M.-C., (dir.), *Les nouvelles relations internationales, Pratiques et théories*, Paris, Presses de Sciences Po, 1998.

SOVACOLL Benjamin, DRUPADY Martina, *Energy Access, Poverty, and Development, the governance of small-scale renewable energy in developing Asia*, Ashgate Publishing Ltd, 2012.

STRANGE, Suzane, *State and markets. An Introduction to International Political Economy,* Pinter, University of California, 1988.

STRANGE, Suzane, *The Retreat of the State. The Diffusion of Power in the World Economy*, Cambridge, Cambridge University Press, 1996.

STENGERS, Isabelle, *Cosmopolitiques I*, Paris, La Découverte, 2003.

SUPIOT, Alain, *Homo Juridicus, essai sur la fonction anthropologique du Droit*, Paris, Seuil, 2009.

SUPIOT, Alain, *La gouvernance par les nombres*, Paris, Fayard, 2015.

SUR, Serge, *Relations internationales*, Paris, Éditions Montchrestien, 2000.

TELLENNE, Cédirc, *Géopolitique des énergies*, Paris, La Découverte, 2021.

TOPÇU, Sezin, *La France du nucléaire. L'art de gouverner une technologie contestée*, Paris, Seuil, 2013.

VRIGNON, Alexis, *La naissance de l'écologie politique en France*, Rennes, PUR, 2017.

WALTZ, Kenneth N., *Theory of International Politics*, New York, Mc Graw-Hill, 1979.

WATTS, Laura, Energy at the End of The World. An Orkney Islands Saga, Boston, The MIT Press, 2019.

WEBER, Max, *La domination*, Paris, La Découverte, 2015.

WINNER, Langdon, *La baleine et le réacteur. A la recherche de limites au temps de la haute technologie*, Paris, Descartes & Cie, 2002.

ZELEM, Marie-Christine, Politiques de maîtrise de la demande d'énergie et résistances au changement : une approche socio-anthropologique, Paris, l'Harmattan, 2012.

ZELEM Marie-Christine, BESLAY Christophe (dir.), *Sociologie de l'énergie. Gouvernance et pratiques sociales*, Paris, CNRS Editions, 2015.

ZETING, Liu, *Politique d'innovation et PME en France. Une histoire de liens faibles*, Paris L'Harmattan, 2013.

PERIODIQUES

Afrique contemporaine, N° 261-262, 2017/1-2.

Annales historiques de l'électricité, Les politiques publiques de l'énergie solaire, n° 11, 2013/1.

Combats et opérations, « Dossier l'Armée française au Tchad », n°5, déc.-janv.-fév. 2013.

Revue d'anthropologie des connaissances, « Ignorance(s) », 15-4, 2021.

Journal of Energy History – Revue d'Histoire de l'Energie (JEHRHE)
http://www.energyhistory.eu/fr
Notamment : « Pour une histoire de l'énergie », n°1, décembre 2018.

South Atlantic Quaterly, « Solarity », Vol. 120, 2021/1.

Systèmes solaires, Le soleil au service de l'homme, 40e anniversaire du congrès, 1973 – 2013, édition spéciale, 3 octobre 2013.

PUBLICATIONS INSTITUTIONNELLES

Commission des Affaires Étrangères, Rapport d'information parlementaire n°1859-02, Comptes rendus d'auditions, par AUBERT Marie-Hélène, BRANA Pierre, BLUM Roland, *Sur le rôle des compagnies pétrolières dans la politique internationale et son impact social et environnemental*, 1999.

Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières, Observatoire de l'Énergie, *Les énergies renouvelables en France 1970-2005*, juin 2006.

École nationale d'administration (ENA), Promotion Copernic, Séminaire Énergie et Société, Groupe 18, *L'information et le débat dans le domaine de l'énergie*, janvier 2002.

Fondation Énergie pour le Monde, *Technologies européennes du pompage solaire photovoltaïque*, Paris, Systèmes solaires, 2004.

Fondation Gabriel Péri, *Géopolitiques des ressources et conflits au Sahel*, troisième séance du cycle de conférences sur l'espace sahélo-saharien, 26 février 2013.

Fondation SolarPlanet, ADNV, De Witt, JAVEL Raphaëlle, *Histoire des véhicules et des aventures solaires*, 2016.

KAESER, Paul, *La sécurité énergétique des armées françaises. Le soutien pétrolier à l'heure de la transition*, Focus stratégique n°66, IFRI, Laboratoire de Recherche sur la Défense, Mars 2006.

KALINOWSKI Laurent, PASTOR Jean-Marc, Rapport au nom de L'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, *L'hydrogène : vecteur de la transition énergétique* ?, 19 décembre 2013.

Ministère de la Défense, *Stratégie ministérielle de la performance énergétique*, février 2012.

Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, Ministère du Logement, de l'Égalité des Territoires et de la Ruralité, Comité d'histoire, *Pour mémoire*, n°15, été 2015.

Premier Ministre, Centre d'analyse stratégique, *Rapport énergies 2050*, Rapport du groupe de travail présidé par PERCEBOIS Jacques, Rapports & Documents, 2012.

THESES ET MEMOIRES

BARZIN, Nader, « L'Économie Politique de Développement de l'Énergie Nucléaire en Iran (1957- 2004) », thèse de doctorat en socioéconomie du développement, sous la direction de KHOSROKHAVAR, Farhad, , École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS), 2004.

BRUYERRE, Philippe, « Dynamiques d'innovation technique et d'intégration socio-économique : le cas de l'éolienne en allemangne, au Danemark et en France », thèse de doctorat en histoire, sous la direction de HILAIRE-PEREZ, Liliane, École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS), 2017.

CARRASCO BRIHUEGA, Daniel, « Les carrières ministérlelles en France et au Mexique. une étude comparée 1981-2002 », thèse de doctorat en science politique, sous la direction de BRÉCHON Pierre, DEL ALIZAL Laura, IEP de Grenoble, 2003.

CHAUVIN-MICHEL, Marion, « Architectures solaires et politiques énergétiques en France de 1973 à 1985 », thèse de doctorat en histoire de l'art, sous la direction de MASSU, Claude, Université de Paris I, 2012.

DEVAUX, Jean-Baptiste, « L'Etat technologique - Rationalisations et institutionnalisation d'un territoire bureaucratique : l'innovation (1963-2003) », thèse de doctorat en science politique, sous la direction de TAIEB Emmanuel, KALUSZYNSKI Martine, Université de Lyon 2, 2021.

DIEDHIOU, Salif, « L'énergie électrique au Sénégal de 1887 à 1985. Transfert de technologie, appropriation et enjeu politique d'un patrimoine industriel naissant », thèse de doctorat d'histoire, sous la direction de BELHOSTE, Jean-François, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 2016.

EVRARD, Aurélien, « L'intégration des énergies renouvelables aux politiques publiques de l'électricité en Europe. Une comparaison : Allemagne, Danemark, France », thèse de doctorat de science politique, sous la direction de LASCOUMES, Pierre, IEP de Paris, 2010.

FOASSO, Cyrille, « Histoire de la sûreté de l'énergie nucléaire civile en France (1945-2000). Technique d'ingénieur, processus d'expertise, question de société », thèse de doctorat en histoire, sous la direction de RAMUNNI, Girolamo, Université Lumière Lyon 2, 2003.

FONTAINE, Antoine, « De la source à la ressource. Territoires, héritages et coopération autour de la valorisation de l'énergie solaire en Rhône-Alpes », thèse de doctorat en géographie, sous la direction de LABUSSIERE Olivier, NADAI Alain, SOUBEYRAN Olivier, Université Grenoble Alpes, 2018.

FROZEL BARROS, Natalia, « Un océan d'incertitudes. Problématisations et mise en forme légale des fonds marins par le travail diplomatique », thèse de doctorat en Science politique, sous la direction de GAITI, Brigitte, Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, 2019.

GECIT, Jean, « Les énergies nouvelles en Afrique de l'Ouest. Des recherches scientifiques aux défis industriels (1960-1987) », thèse de doctorat en histoire, sous la direction de GRISET, Pascal, Sorbonne Université, 2020.

GUEDJ, Muriel, « L'émergence du principe de conservation de l'énergie et la construction de la thermodynamique », thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, sous la direction de PATY, Michel, Université de Paris 7, 2000.

KISHTA, Abdalla M., « Designing, modeling, and testing a solar water pump for developing countries », PhD. In Agriculturel Engineering, Iowa State University, 2002.

MAOUNDONODJI, Gilbert., « Les enjeux géopolitiques et géostratégique de l'exploitation du pétrole au Tchad », thèse de doctorat en sciences politiques, Université catholique de Louvain, Presse universitaires de Louvain, Louvain, 2009.

MARREC, Anaël, « Histoire des énergies renouvelables en France, 1880-1990 », thèse de doctorat en histoire des sciences et des techniques, sous la direction de PECAUD Dominique et TEISSIER Pierre, Université de Nantes, 2018.

MAUREL, Chloe, « L'UNESCO de 1945 à 1974 », thèse de doctorat en histoire, sous la direction de ORY, Pascal, Université Panthéon-Sorbonne, Paris, 2006.

PATINAUX, Leny, « Enfouir des déchets nucléaires dans un monde conflictuel. Une histoire de la démonstration de sûreté de projets de stockage géologique, en France (1982-2013) », thèse de doctorat en histoire, sous la direction de PESTRE, Dominique, EHESS, 2017.

PEHLIVANIAN, Sophie, « Histoire de l'énergie solaire en France. Science, technologies et patrimoine d'une filière d'avenir », thèse de doctorat en histoire, sous la direction de VARASCHIN, Denis, Université de Grenoble, 2014.

QUINTANA S., Victor M., « Paysans et citoyens au Mexique. Stratégie paysannes de résistances à la mondialisation à l'Ouest de l'Etat du Chihuahua », thèse de doctorat en sociologie, sous la directions de GROS, Christian, Université Sorbonne nouvelle-Paris 3, 2009.

ROUSSOT, Pierre, « Marianne, Aryamehr et l'ayatollah : la diplomatie française en Iran de 1969 à 1979 », mémoire de quatrième année de l'IEP, sous la direction de CARREZ, Maurice, IEP de Strasbourg, Juin 2016.

SANCY, Mary, « L'énergie solaire et le droit : analyse de droit comparé, éléments pour l'élaboration d'un système juridique cohérent favorisant le recours à cette forme d'énergie », thèse de doctorat en droit de l'environnement, sous la direction de DE BACKER, Luc, Fondation Universitaire Luxembourgeoise, 1994.

SIMONCINI, Nicolas, « Histoire de la recherche sur les piles à combustible en France des années soixante aux années quatre-vingt », thèse de doctorat en histoire, sous la direction de BELOT, Robert, Université de Bourgogne Franche-Comté, 2018.

SIRY RAYON, François, « L'évolution des échanges scientifiques entre le Mexique et la France. Des réseaux entre intellectuels de l'Entre-deux-guerres et de l'Apres-guerre à l'institutionnalisation d'une coopération franco-mexicaine (1930-1994) », thèse de doctorat en histoire, sous la direction de DOSIL MANCILLA, Francisco Javier, Universidad Michoacana De San Nicolas De Hidalgo, 2019.

DIOP, Thierno S., « l'histoire de l'énergie solaire au Sénégal contemporain », mémoire de Master, sous la direction de TEISSIER, Pierre, Université de Nantes, 2016.

Sites Web

https://www.encyclopedie-energie.org dont plus particulièrement :
- JOLY, Jean-Pierre, « Solaire thermique – Les technologies et leurs trajectoires », 26 février 2019, https://www.encyclopedie-energie.org/solaire-thermique-les-technologies-et-leurs-trajectoires/
- JOLY, Jean-Pierre, « Solaire thermique et photovoltaïque : brève histoire », 22 février 2019, https://www.encyclopedie-energie.org/solaire-thermique-et-photovoltaique-une-breve-histoire/
- JOLY, Jean-Pierre, « Energie solaire : les bases théoriques pour la comprendre », 26 mars 2018, https://www.encyclopedie-energie.org/energie-solaire-les-bases-theoriques-pour-la-comprendre/
- ROUSSEAU, Jean-Claude, « Histoire de l'énergie nucléaire », 14 décembre 2015, https://www.encyclopedie-energie.org/histoire-de-lenergie-nucleaire/
- CHATEAU, Bertrand, « Les besoins d'énergie », 17 août 2015, https://www.encyclopedie-energie.org/les-besoins-denergie/

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : indice d'utilité de l'énergie solaire. MASSON, Henri, *op. cit*., avril 1960, p. 175…….**149**

Figure 2 : les pompes SOMOR utilisées par Masson dans la cour de l'IPM de Dakar. MASSON, Henri, *op. cit.*, avril 1960, p. 177……**150**

Figure 3 : photographie de la pompe SECRA. Archives personnelles de Jean-Pierre Girardier……**164**

Figure 4 : caractéristiques thermiques des fluides. GIRARDIER, Jean-Pierre, *op. cit*.,1963, p. 30……...**167**

Figure 5 : « *Schéma type d'une installation thermodynamique solaire de pompage* ». Extrait du témoignage écrit de Clémot Max, Durand Jean-Paul, Girardier Jean-Pierre, *op. cit*., 2010, p. 10……...**168**

Figure 6 : une version d'ITTEC sur puits. Plan 21437, 15 avril 1965, archives privées fonds usine Mengin……...….**177**

Figure 7 : l'insolateur et l'échangeur ITTEC en cours de montage à l'IPM de Dakar. Archives personnelles de Jean-Pierre Girardier. Une photographie quasiment identique est publiée dans GIRARDIER Jean-Pierre, MASSON Henri, « Le moteur solaire face au moteur diesel », *Annales des Mines*, mai 1967, p. 3, tiré à part, archives personnelles de Jean-Pierre Girardier…….**177**

Figure 8 : first Ormat hermetically sealed solar unit powering an electric water pump in Mali, Africa. Diapositive extraite de BRONICKI, L.Y., « Short review of the long history of ORC power systems », 2sd international seminar on ORC power systems, Rotterdam, October 7, 2013, Keynote lecture, ORMAT technologies, Inc……..**179**

Figure 9 : plan d'une pompe solaire sur puits équipée d'un moteur à gaz (à piston). Plan 21176, 15 décembre 1964, archives privées fonds usine Mengin……..**180**

Figure 10 : prix de revient d'une station de pompage solaire par rapport à une station Diésel. MASSON Henri, GIRARDIER Jean-Pierre, « Le moteur solaire face au moteur Diésel », *Annales des Mines*, 1967, p. 6, tiré à part, archives personnelles de Jean-Pierre Girardier……**183**

Figure 11 : description de la pompe NADJE. Négatif photographique pour l'impression d'une brochure par Mengin. Archives privées fonds usine Mengin……..**184**

Figure 12 : MGS 2-1000. Plan N° 23571, 14 octobre 1967. Archives privées fonds usine Mengin……...**186**

Figure 13 : description de la pompe SEGAL. Négatif photographique pour l'impression d'une brochure par Mengin. Archives privées fonds usine Mengin……..**187**

Figure 14 : plan Mengin de la pompe ONERSOL. Plan N°24366, 8 juillet 1968, archives privée de Georges Alexandroff……..…**190**

Figure 15 : description de la pompe ONERSOL. Négatif photographique pour l'impression d'une brochure par Mengin. Archives privées fonds usine Mengin…….**191**

Figure 16 : description de la pompe EIER. Négatif photographique pour l'impression d'une brochure par Mengin. Archives privées fonds usine Mengin……..**192**

Figure 17 : descriptif des canalétas en amiante ciment modifiés en capteurs solaires par les Alexandroff et Girardier. Archives privées de Georges Alexandroff……..**202**

Figure 18 : plan de la pompe solaire intégrée de Chinguetti dessiné par George Alexandroff. Établissements Pierre Mengin, 29 mars 1971, plan n°27015, archives privées de Georges Alexandroff…….**204**

Figure 19 : échangeur de la pompe solaire de Chinguetti. MIFERMA-Informations, 1972, *op. cit*., p. 33……...**205**

Figure 20 : moteur solaire MGS 2-1000. MIFERMA-Informations, 1972, *op. cit*., p. 33. ……...**207**

Figure 21 : plan de génie civil de la station de pompage solaire de Chinguetti. Dessin de Georges Alexandroff, 30 octobre 1972, n°28449, Établissements Pierre Mengin, archives privées de Georges Alexandroff……..…..**208**

Figure 22 : plan de l'Hôpital solaire pour la Lazaret à Niamey au Niger. Dessin de Georges Alexandroff. GIRARDIER, ALEXANDROFF, GUENNEC, « Rapport sur l'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau en zone aride », p. 15, archives privées de Jean-Pierre Girardier et archives privées de Georges Alexandroff……...**213**

Figure 23 : « Sénégal. Projet d'installation d'une pompe solaire de 85 m^2 ». Établissements Pierre Mengin, plan n° 26987, 22 mars 1971, archives privées de Georges Alexandroff……**214**

Figure 24 : projet de centre agricole pilote pour la République Algérienne. Dessin de Georges Alexandroff. GIRARDIER, ALEXANDROFF, GUENNEC, « Rapport sur l'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau en zone aride », p. 16, archives privées de Jean-Pierre Girardier et archives privées de Georges Alexandroff……...**215**

Figure 25 : installation d'une pompe solaire d'irrigation, Monsieur le Président de la République du Niger. Etablissements Pierre Mengin, plan n°27585, 3 janvier 1972, archives privées de Georges Alexandroff…….....**215**

Figure 26 : Projet de caravansérail autonome le long des axes transsahariens. Dessin de Georges Alexandroff. GIRARDIER, ALEXANDROFF, GUENNEC, « Rapport sur l'utilisation de l'énergie solaire pour le pompage de l'eau en zone aride », p. 17, archives privées de Jean-Pierre Girardier et archives privées de Georges Alexandroff……...**216**

Figure 27 : carte de la Mauritanie avec le tracé de la voie ferrée de la MIFERMA qui relie Port-Etienne à Fort-Gouraud. Extraite de AUDIBERT, Jean, *Miferma : une aventure humaine et industrielle en Mauritanie*, L'Harmattan, 1991, p. 10……..**218**

Figure 28 : Chinguetti, la pompe solaire construite par MIFERMA est en place et fonctionne. *MIFERMA-Informations*, n°25, décembre 1973, p. 20……**225**

Figure 29 : plan de vol du Concorde 001 le 30 juin 1973. Bureau du Cabinet de Jean Charbonnel, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19771408, carton 69……...**247**

Figure 30 : photographie du bâtiment de la pompe-école de Chinguetti en Une de la revue *Butane-Propane*, n°69, été 1974. Archives privées de Georges Alexandroff……**253**

Figure 31 : carton d'invitation à venir observer fonctionner la réplique de la pompe solaire de Chinguetti dans les jardins de l'UNESCO. Archives privées de Jean-Pierre Girardier…… **258**

Figure 32 : la Une du quotidien mexicain *La Opinion de Monclovia*, 20 novembre 1973. Archives privées de Max Clémot……...**294**

Figure 33 : « Installation d'une pompe solaire à San Luiz Potosi ». Plan de Georges Alexandroff pour la SOFRETES, n°528, 21 janvier 1974, archives privées de Georges Alexandroff……**382**

Figure 34 : schéma réalisé fin 1978 par Jean-Paul Durand, ingénieur du CEA responsable de la R&D à la SOFRETES. Archives privées fonds BCD (CEA)……**480**

Figure 35 : présentation des deux modèles prototypiques d'installations solaires de 25 et 50 kW du GIE PROMETHEE. GIE Prométhée (CEA-SOFRETES), *Utilisation du soleil pour la fourniture en énergie des zones arides (moyennes et grandes puissances)*, archives privées de Jean-Pierre Girardier et Pochette SOFRETES-MENGIN, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 2……**493**

Figure 36 : évaluation comparative du coût de l'énergie solaire par rapport à la distance. Archives privées fonds BCD (CEA)……..**495**

Figure 37 : coûts comparatifs des installations de pompage de petite puissance (1 kW ou équivalent). Ministère de la Coopération, Direction des Programme et ministère de l'Industrie et de la Recherche, Délégation aux Énergies Nouvelles, *Rapport technique du Programme Énergie Nouvelle pour le Sahel*, mai 1975, p. 41, archives privées de Georges Alexandroff……**497**

Figure 38 : coûts comparatifs des installations de pompage de grande puissance (50 kW ou équivalent). Ministère de la Coopération, Direction des Programme et ministère de l'Industrie et de la Recherche, Délégation aux Énergies Nouvelles, *Rapport technique du Programme Énergie Nouvelle pour le Sahel*, mai 1975, p. 43, archives privées de Georges Alexandroff……**498**

Figure 39 : installation de San Luis de la Paz. PHELINE, Jean, « Énergie solaire et production décentralisée d'électr*icité* », *Annales des Mines*, avril 1979, p. 121……...**499**

Figure 40 : la station de Diré au Mali. Documents issus des archives personnelles de Jean-Pierre Girardier……..**509**

Figure 41 : plan du capteur type DIRE de 1977 et photographie du montage des capteurs de DIRE en 1977. Documents issus des archives personnelles de Jean-Pierre Girardier……**512**

Figure 42 : schéma de fonctionnement de la station de Diré. Documents issus des archives personnelles de Jean-Pierre Girardier……**515**

Figure 43 : SOFRETES, *Pompage solaire et production d'électricité, Stations thermodynamiques à basse température*, plaquette de présentation des produits SOFRETES, 1981, archives privées fonds BCD (CEA)…….**529-530**

Figure 44 : plan de Georges Alexandroff pour la SOFRETES du complexe solaire agricole de la station mixte de force motrice de Diré au Mali. Archives privées de Georges Alexandroff……**542**

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : caractéristiques générales du secteur de l'électricité et de l'alternative « énergies renouvelables ». EVRARD, Aurélien, *op. cit*., 2014, p. 74……..……**22**

Tableau 2 : l'intervention financière des organismes publics dans divers étapes de l'innovation. ZETING, Liu, « L'évolution des politiques du soutien à l'innovation dans les PME en France. Le cas de l'ANVAR », thèse de doctorat en sciences économiques, sous la direction de SCHMEDER, Geneviève, Cnam, 2011, p. 60…….**273**

Tableau 3 : patrimoine des installations SOFRETES en 1983-1984……...**346-359**

Tableau 4 : répartition géographique des principaux *solar cables* de la base de données *Wikileaks*……**410**

Tableau 5 : le solaire au CEA (1972-1983)……**478**

Tableau 6 : le programme de R&D de la SOFRETES et de ses partenaires (1976-1978)……..**501**

Tableau 7 : tableau des dernières commandes de stations mixtes de force motrice et de production de froid en 1978……...**519**

Tableau 8 : propositions de financement de recherches déposées par le CEA auprès de la DGRST (1976-1978) en dehors du financement du programme de R&D de la SOFRETES. Il s'agit de projets complémentaires qui prolongent la R&D solaire engagée avec la SOFRETES……**521**

Tableau 9 : aides financières du COMES 1978-1979 : recherches et *opérations de démonstration* qui bénéficient aux activités de la SOFRETES……...**525**

Tableau 10 : aides financières du COMES 1980 : recherches et *opérations de démonstration* qui bénéficient aux activités de la SOFRETES……...**527**

Tableau 11 : aides financières du COMES 1981 : recherches et *opérations de démonstration* qui bénéficient aux activités de la SOFRETES……...**527**

Tableau 12 : évolution de l'organisation administrative de la SOFRETES (1973-1983) filiale des Etablissements Pierre Mengin……...**573**

Tableau 13 : moyens de prospection envisagés pour les pays prioritaires en 1977-1978. Dossier COFACE déposé par SOFRETES-Mengin-Renault Moteurs Développement le 18 mai 1977 pour une demande d'assurance prospection à l'étranger de 1976 à 1982, Archives nationales, ministère de l'Industrie, répertoire 19910399, carton 16……...**595**

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières

Remerciements *7*

Sommaire *9*

INTRODUCTION GÉNÉRALE *11*

1. Une enquête sociohistorique : périmètre et itinéraire critique des sources **14**

2. Le plan de la démonstration **19**

3. Analyser la relation du moteur solaire de la SOFRETES avec l'État **21**

4. Du politique dans l'objet **26**

5. De l'objet dans le politique **32**

6. Évaluer l'objet pour dépolitiser la technique **39**

7. Histoire de techniques solaires apolitiques, histoires apolitiques d'énergie **57**

7.1 La SOFRETES dans l'historiographie du solaire : de quelques expérimentations isolées, ratées et oubliées 59

7.2 Le solaire dans l'historiographie de l'énergie 75

PARTIE I Du soleil au service de l'homme au soleil au service du rayonnement de la France *87*

Introduction de la partie I **88**

Chapitre 1 Un moteur solaire en Afrique *91*

Introduction chapitre 1 ..... **92**

1. Les Etablissements Pierre Mengin : une PMI d'un secteur traditionnel outil de diversification solaire **95**

2. Le solaire au laboratoire africain : convergences et divergences d'idées, d'institutions et d'intérêts **104**

2.1 Des petits moteurs solaires pour les zones arides 106

2.2 Des petits moteurs solaires controversés 126

2.3 L'administration de la chaleur à bas potentiel 140

2.4 Vers une solarité divergente 144

3. Des prototypes solaires à l'IPM de Dakar (1962-1971) **161**

3.1 SECRA et ITTEC : de l'assemblage en Afrique à l'usinage en Métropole et retour 162

3.2 NADJE et SEGAL : des machines solaires préindustrielles soutenues par les pouvoirs publics 178

3.3 ONERSOL et EIER : des prototypes d'appropriation, du Sénégal vers le Niger et la Haute-Volta 188

4. L'opération Chinguetti : vers une relation technopolitique à la machine **198**

4.1 La pompe solaire de Chinguetti vue de Mengin : une opération de démonstration à long terme 199

4.2 La pompe solaire de Chinguetti vue de la MIFERMA : une opération de prestige à court terme 217

4.3 Chinguetti : une opération asymétrique 227

Conclusion chapitre 1 ..... **231**

Chapitre 2 Faire face à l'imprévisible *239*

Introduction chapitre 2 ..... **240**

1. Dans l'ombre du Concorde : quelle actualité solaire au MDIS à l'été 1973 ? 245

2. Le soleil au service de l'homme : quel suivi du congrès de l'UNESCO par le MDIS ? 254
2.1 Une solarité divergente qui se prolonge 254
2.2 Une veille solaire au MDIS 262

3. La naissance de la SOFRETES : quels relais au MDIS ? 269
3.1 La création de la SOFRETES : une PME dans l'action publique d'aide à l'innovation en France en 1973 270
3.2 Le dossier mexicain : un moteur solaire industrialisable et un outil de séduction politique 291
3.3 Le solaire sans discussion : *continuum* pétrolier, chaleur nucléaire et « énergies nouvelles » . 298

Conclusion chapitre 2 311

Conclusion partie I 320

PARTIE II La SOFRETES et son moteur solaire, des instruments de séduction politique 323

Introduction de la partie II 324
1. Le solaire dans la politique de l'énergie de 1973 à 1983 325
2. La SOFRETES dans la politique étrangère du Président Valéry Giscard d'Estaing 333

Chapitre 3 L'opération solaire : entre opportunités et contraintes 343

Introduction du chapitre 3 344

1. Croissance (1973-1979) et déclin (1979-1983) 363

2. Des opportunités 369
2.1 Pour la SOFRETES 369
2.2 Pour les gouvernements clients 371
2.3 Pour les partenaires de la SOFRETES 399

3. Des contraintes 413
3.1 Des contraintes internes 413
3.2 Des terrains difficiles 418
3.3 Des gouvernements clients peu impliqués et des populations pauvres 422
3.4 Concurrences et accords internationaux en matière d'énergie solaire 448

Conclusion chapitre 3 474

Chapitre 4 L'objet technique : des machines pour une sociotechnique 477

Introduction chapitre 4 478

1. La station de pompage solaire intégrée 484

2. La station mixte de force motrice 492

3. La récupération de la chaleur géothermique à basse température 531

4. L'habitat solaire 541

5. Le photovoltaïque 554

Conclusion chapitre 4 559

Conclusion de la partie II 563

PARTIE III Du soleil au service du rayonnement de la France à l'irrécupérable chaleur solaire 565

Introduction de la partie III 566

Chapitre 5 Forces centrifuges et forces centripètes 571

Introduction du chapitre 5 572

1. 1973-1974 : valorisation et diversification 575

2. 1975-1977 : filialisation et mirage industriel 579

3. 1978-1979 : le verrouillage administratif 600

4. 1980-1983 : la liquidation 617

5. 1984- La *damnatio memoriae* 644

Conclusion chapitre 5 660

Chapitre 6 L'impossible moteur solaire : une décision gouvernementale 663

Introduction chapitre 6 664

1. CEA *versus* COMES 666

2. L'arbitrage ministériel de 1979 679

3. La société « S » 688

4. De rouille et de sable 700

Conclusion chapitre 6 709

Conclusion de la partie III 712

CONCLUSION GÉNÉRALE 715

Désorienter l'analyse des relations entre l'État et l'énergie solaire 716

De quelques résultats de la recherche menée 720

De la continuité : solarité divergente et régime de savoir-pouvoir 722

SOURCES 727

BIBLIOGRAPHIE 843

TABLE DES FIGURES 885

TABLE DES TABLEAUX 891

TABLE DES MATIÈRES 893