

*ÉCOLE DOCTORALE MSII*

Laboratoire LGECO

**THÈSE** présentée par :

**Sébastien BACH**

soutenue le : 27 septembre 2017

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université de Strasbourg**

Mention/Spécialité : Génie industriel/Conception

**Cadres méthodologiques pour la  
conception innovante d'un Plan  
Énergétique Durable à l'échelle d'une  
organisation.**

**Application d'une planification énergétique pour  
une économie compétitive bas carbone au  
Sonnenhof.**

**THÈSE dirigée par :**  
M. DE GUIO Roland

Professeur, INSA Strasbourg

**RAPPORTEURS :**  
M. NEGNY Stéphane  
M. ALDANONDO Michel

Professeur, INP-ENSIACET  
Professeur, Ecole des Mines d'Albi

---

**AUTRES MEMBRES DU JURY :**  
Mme GARTISER Nathalie

Maître de conférences, INSA Strasbourg, Examineur



# Remerciements

Je tiens d'abord à remercier M. Pierre-Yves Lochet, mon responsable de projet de fin d'étude à EDF, pour m'avoir proposé de continuer après mon diplôme d'ingénieur par une thèse de doctorat. La construction et le financement du projet ont été permis par son implication et la volonté d'EDF et du Programme Energie Alsace de continuer à porter des projets de recherche pour améliorer la transition énergétique. Je remercie aussi l'INSA Strasbourg et le laboratoire LGECO pour avoir accepté de travailler sur mon sujet de thèse et finaliser cette thèse CIFRE. Je remercie ensuite l'entreprise ES Services Energétiques qui a été mon entreprise d'accueil pour la durée de cette thèse ainsi que la Fondation Sonnenhof pour avoir collaboré de manière opérationnelle à ce projet.

Je remercie aussi mes encadrants à commencer par Roland, mon directeur de thèse, qui m'a accompagné durant ce travail de thèse et qui m'a permis d'acquérir de nouvelles connaissances sur des sujets scientifiques vastes me permettant de réaliser ce travail interdisciplinaire. Il m'a encouragé à approfondir mes recherches et à ne pas hésiter à affronter l'inconnue pour créer de la connaissance.

Je remercie aussi Nathalie, mon encadrante, pour sa disponibilité au quotidien, ses conseils pour l'avancement et le suivi du projet et pour sa rigueur qu'elle m'a transmise dans la façon d'aborder, de construire puis de restituer la problématique et les résultats d'un projet de recherche.

Je remercie aussi Gilles, mon collègue à ESSE, pour les connaissances qu'il m'a apporté sur les logiques Bilan Carbone et son travail avec le Sonnenhof ainsi que l'ensemble des collègues d'ESSE pour les repas partagés à la cantine et ailleurs, pour les sorties sports et pour leur bonne humeur.

Je remercie enfin Fabrice, pour le temps passé à la collecte des informations ainsi que toutes les personnes du Sonnenhof m'ayant permis de construire mes résultats opérationnels.



# Table des matières

Introduction Générale.....	15
0/1. Contexte général.....	15
0/2. Contexte de recherche.....	18
PARTIE I Methode de planification énergétique à l'échelle d'une organisation.....	25
CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation.....	29
1/1. Planification énergétique et management de l'énergie.....	30
1/2. Le BEGES.....	46
1/3. Conclusion du chapitre 1.....	62
CHAPITRE 2 Apport des démarches de conception.....	65
2/1. Structuration de problème.....	67
2/2. Incertitudes : Définition et proposition d'une typologie.....	78
2/3. Les parties prenantes.....	83
2/4. Conclusions du chapitre 2.....	89
CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique.....	93
3/1. Présentation du cadre méthodologique de l'IEPCT.....	94
3/2. Liste des verrous s'opposant à une démarche opérationnalisable de conception de plan énergétique à l'échelle d'une organisation.....	111
3/3. Proposition d'une démarche opérationnalisable de conception d'un plan énergétique à l'échelle d'une organisation.....	113
3/4. Conclusion du chapitre 3.....	138
CHAPITRE 4 Application au cas de la planification énergétique du Sonnenhof.....	139
4/1. Présentation générale de la Fondation Sonnenhof.....	139
4/2. Approche BEGES du Sonnenhof.....	140
4/3. Application de la démarche de conception d'un plan énergétique au Sonnenhof.....	158
4/4. Conclusion du chapitre 4.....	181

Conclusion de la Partie 1 .....	183
PARTIE II Formulation et structuration des problèmes à partir des données .....	185
CHAPITRE 5 Gestion des véhicules du Sonnenhof (I) : Analyse du contexte.....	191
5/1. Contexte et motivations du Sonnenhof .....	191
5/2. Analyse du système de transport.....	194
5/3. Conclusion du chapitre 5 .....	209
CHAPITRE 6 : Identification des contradictions à partir des données.....	213
6/1. Etat de l'art des méthodes d'identification des contradictions .....	214
6/2. Identification de la contradiction technique généralisée avec le concept de Pareto. ....	227
6/3. Recherche de la contradiction physique généralisée .....	232
6/4. Conclusion du chapitre 6 .....	240
CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions .....	241
7/1. Cadrage général de l'application .....	241
7/2. Déroulement de l'analyse de cas.....	248
7/3. Conclusion du chapitre 7 .....	285
Conclusion de la Partie 2 .....	287
CHAPITRE 8 . Synthèse et perspectives.....	289
8/1. Synthèse de la thèse .....	289
8/2. Discussion et perspectives .....	291
Bibliographie .....	299

## Liste des tableaux

Tableau 1-1 : Types de données d'activités .....	54
Tableau 1-2 : Sources d'émissions d'une organisation suivant les postes et catégories d'émissions .....	58
Tableau 2-1 : Typologie des incertitudes.....	82
Tableau 2-2 : Typologies des PP .....	84
Tableau 3-1 : Types d'incertitude dans une BEGES .....	123
Tableau 3-2 : Comparaison incertitude typologique et processus .....	128
Tableau 4-1 : Listes des périmètres et activités associées .....	160
Tableau 4-2 : Parties prenantes selon les typologies 1 et 2 .....	161
Tableau 4-3 : Parties prenantes selon la typologie 3.....	163
Tableau 4-4 : Les paramètres suivant le modèle ENV .....	180
Tableau 5-1 : Flotte des véhicules du Sonnenhof pour notre étude .....	195
Tableau 5-2 : Analyse des PP selon les typologies des PP pour les véhicules du Sonnenhof.....	196
Tableau 6-1 : Effets sur les PE avec l'exemple de PA1.....	236
Tableau 7-1 : Performances TS, Coût en fonction des PA 9P et Gestion (parc 9P) : aucune solution n'atteint tous les objectifs (TS=1 ; Coût<3900).....	252
Tableau 7-2 : Evolution du front de Pareto avec la marge en mn (Coût Total et TS moyen) pour l'ensemble du parc ; les cases en vert sont celles ayant atteint l'objectif. ....	257
Tableau 7-3 : Pareto et paire de contradictions techniques en fonction de l'objectif.....	260
Tableau 7-4 : Apport de la sous-traitance .....	265
Tableau 7-5 : Solutions du Pareto avec l'utilisation des 3 principes .....	275



## Liste des figures

Figure 0–1 : La thèse : coopération entre une entreprise, une organisation et un laboratoire .....	19
Figure 0–2 : Articulation de la démarche suivant le plan de thèse .....	24
Figure 1–1 : Première ressource pour notre démarche .....	30
Figure 1–2 : Articulation du plan climat entre niveau planétaire et niveau d'action, source : Guide PCET p11 (Ademe, 2009).....	33
Figure 1–3 : Modèle de système de management de l'énergie de la norme ISO 50001, source : (Organisation internationale de normalisation, 2011a) pVI.....	40
Figure 1–4 : Diagramme de processus de planification énergétique, source : (Organisation internationale de normalisation, 2011a) p16 .....	43
Figure 1–5 : Etapes clés de la réalisation d'un BEGES et du plan d'actions associé, source : (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2016) (p12).....	52
Figure 1–6 : Les différents scopes (catégories) et les différentes sources liées aux activités d'une organisation, source (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2016) (p16).....	57
Figure 2–1 : Deuxième ressource pour notre démarche.....	65
Figure 2–2 : Approche générale de la TRIZ (Dubois, 2004).....	72
Figure 2–3 : Le processus convergent de la TRIZ, source (Gartiser et al., 2002) ....	73
Figure 2–4 : Le processus MCDA, basée sur (Belton and Stewart, 2002) .....	77
Figure 2–5 : Schéma des parties prenantes possibles d'une entreprise selon la nature de l'acteur.....	85
Figure 2–6 : Typologie de parties prenantes selon les attributs d'après (Mitchell et al., 1997).....	87
Figure 3–1 : Ressources pour notre démarche et proposition détaillée de la démarche .....	94
Figure 3–2 : Approche générale de la TRIZ (Dubois, 2004).....	96
Figure 3–3 : Evolution de la théorie TRIZ (Khomenko et al., 2007).....	97
Figure 3–4 : Tongs model, source : (Mirakyan, 2014).....	98

Figure 3–5 : Diagramme Multi-Ecrans .....	99
Figure 3–6 : Procédure IEPCT d’après (Mirakyan, 2014) .....	102
Figure 3–7 : IDEF0 BEGES – A0.....	114
Figure 3–8 : IDEF0 BEGES – A1.....	115
Figure 3–9 : IDEF0 BEGES – A2.....	116
Figure 3–10 : IDEF0 BEGES – A3.....	117
Figure 3–11 : IDEF0 BEGES – A4.....	119
Figure 3–12 : IDEF0 BEGES – A5.....	120
Figure 3–13 : IDEF0 BEGES – A6 et suite .....	121
Figure 4–1 : Pôles d’activités du Sonnenhof.....	140
Figure 4–2 : Les 13 sites analysés pour le BEGES .....	141
Figure 4–3 : Etablissements du site de Bischwiller .....	142
Figure 4–4 : Synthèse des émissions directes par poste d’émission de GES (année 2011).....	143
Figure 4–5 : Synthèse des émissions indirectes associées à l’énergie par poste d’émissions de GES (année 2011).....	143
Figure 4–6 : Incertitudes par postes d’émissions du BEGES du Sonnenhof pour l’année 2011 .....	145
Figure 4–7 : Répartition des émissions par secteur clé du Sonnenhof (bilan réglementaire 2011).....	146
Figure 4–8 : Plan d’actions du BEGES.....	147
Figure 4–9 : Bilan complet (2011/2012) des émissions de GES et incertitudes du Sonnenhof.....	149
Figure 4–10 : Répartitions des émissions de GES par scope .....	149
Figure 4–11 : Schéma pour identifier les leviers d’actions potentiels .....	154
Figure 4–12 : Scope 1 : Combustion directe fixe de l’énergie : .....	155
Figure 4–13 : Scope 1 : Combustion directe mobile de l’énergie .....	155
Figure 4–14 : Scope 1 : Emissions directes fugitives 1 .....	155
Figure 4–15 : Scope 1 : Emissions directes fugitives 2.....	156
Figure 4–16 : Scope 1 : Emissions directes fugitives 3.....	156

Figure 4–17 : Scope 2 : Consommation d'électricité.....	156
Figure 4–18 : Scope 3 : Transport de marchandise amonts/aval .....	157
Figure 4–19 : Scope 3 : Les déchets .....	157
Figure 4–20 : Flux énergétique scope 1 .....	164
Figure 4–21 : Flux énergétique scope 2 .....	164
Figure 4–22 : Flux énergétique scope 3 .....	165
Figure 4–23 : Légendes des flux énergétiques .....	165
Figure 4–24 : Multi-Ecrans du système énergétique.....	166
Figure 4–25 : Multi-Ecrans du système GES .....	167
Figure 4–26 : Matrice du management de l'énergie du Sonnenhof.....	168
Figure 4–27 : Matrice du management des GES du Sonnenhof.....	169
Figure 4–28 : Multi-Ecrans du système énergétique avec vision future .....	172
Figure 4–29 : Multi-Ecrans du système GES avec vision future .....	173
Figure 4–30 : « Causal map » du Sonnenhof .....	177
Figure 4–31 : « Means-ends objective network » du Sonnenhof .....	178
Figure 4–32 : « Objective hierarchy » du Sonnenhof.....	179
Figure 5–1 : Analyse des PP pour la problématique des véhicules du Sonnenhof .	195
Figure 5–2 : Flux énergétique des véhicules du Sonnenhof .....	197
Figure 5–3 : Schéma BEGES pour l'analyse des leviers d'action pour les véhicules du Sonnenhof .....	197
Figure 5–4 : Multi-Ecrans du système des transports.....	199
Figure 5–5 : Matrice de management des transports.....	200
Figure 5–6 : Multi-Ecrans du système transport avec vision future .....	201
Figure 5–7 : « Causal map » du système des transports.....	203
Figure 5–8 : « Means-ends objective network » du système des transports .....	204
Figure 5–9 : « Objective hierarchy » du Sonnenhof.....	206
Figure 5–10 : Paramètres d'évaluation avec le modèle ENV .....	207
Figure 5–11 : Schéma initial de modélisation.....	210
Figure 6–1 : Contribution de la Partie 2 à notre démarche .....	214
Figure 6–2 : le système de contradictions selon la TRIZ et OTSM-TRIZ .....	217

Figure 6–3 : Système de contradictions généralisées d'après (Rasovska et al., 2010). .....	219
Figure 6–4 : Lien entre expériences binarisées et système de contradictions d'après (Lin, 2016). .....	222
Figure 6–5 : Système PA, PE. ....	225
Figure 6–6 : Invention versus optimisation .....	225
Figure 6–7 : Interprétation de la contradiction de la TRIZ classique en termes d'optimisation .....	226
Figure 6–8 : Interprétation de la contradiction physique généralisée en termes d'optimisation .....	226
Figure 6–9 : Mise en évidence de la contradiction technique.....	228
Figure 6–10 : Identification des contradictions techniques généralisées.....	229
Figure 6–11 : Données, matrice binaire, Pareto binaire et contradictions techniques du cas de la Figure 6–9 .....	230
Figure 6–12 : Points du Pareto binaire servant à l'identification de la contradiction technique.....	231
Figure 6–13 : Résultats de l'analyse SVM .....	235
Figure 6–14 : Graphique des effets principaux pour PE1.....	237
Figure 6–15 : Graphiques des effets principaux pour PE2.....	237
Figure 6–16 : Diagramme des interactions entre les PA sur PE1 .....	239
Figure 6–17 : Diagramme des interactions entre les PA pour PE2.....	239
Figure 7–1 : Modèle PA, PE initial .....	245
Figure 7–2 : Modèle PA, PE simulation .....	245
Figure 7–3 : Modélisation du système dans le logiciel de simulation Witness.....	246
Figure 7–4 : Méthode d'analyse d'un cas par bouclages successifs.....	247
Figure 7–5 : Pareto TS Coût du système initial pour les véhicules 9P .....	249
Figure 7–6 : Comparaison des solutions gestion par établissement et gestion mutualisée .....	251
Figure 7–7 : Poids des valeurs des variables par rapport à l'objectif (Méthode SVM) .....	252

Figure 7–8 : Comparaison des effets de la mutualisation sur le coût(a) et le TS(b)	254
Figure 7–9 : Evolution du front de Pareto avec la marge (Coût Total et TS moyen) pour l'ensemble du parc.	257
Figure 7–10 : Effets principaux sur TS de la marge et des nombres de véhicules .	258
Figure 7–11 : Effets principaux sur le coût de la marge et des nombres de véhicules .....	258
Figure 7–12 : Analyse de la variance de la marge sur le coût.....	261
Figure 7–13 : Analyse de la variance du TS pour la marge départ.....	261
Figure 7–14 : Poids des variables obtenu avec la démarche SVM pour l'objectif (TS=1, Coût<6000).....	262
Figure 7–15 : Comparaison des Pareto avec et sans sous-traitance .....	264
Figure 7–16 : Poids obtenus par la méthode SVM pour le système mutualisé avec sous-traitance .....	267
Figure 7–17 : Apport du surclassement sur le TS et le Coût .....	269
Figure 7–18 : Composants du Pareto global Mutualisé + surclassement.....	269
Figure 7–19 : Effets principaux sur le TS du Pareto (TS, Coût) gestion mutualisée avec surclassement.....	271
Figure 7–20 : Effets principaux sur le Coût du Pareto (TS, Coût) gestion mutualisée avec surclassement.....	271
Figure 7–21 : Table des PA, PE du Pareto (TS,Coût) dans le cas du surclassement .....	272
Figure 7–22 : Poids des variables sur les objectifs obtenus par la méthode SVM.	272
Figure 7–23 : Comparaison du Pareto (TS, Coût) mutualisée versus utilisation des 3 principes de résolution de la contradiction. ....	274
Figure 7–24 : Solutions binarisées en fonction de l'objectif (1=atteint).....	278
Figure 7–25 : Analyse SVM de la solution mutualisée. ....	279
Figure 7–26 : Performances binarisées et contradictions techniques lorsque l'on fait appel à la sous-traitance.....	280
Figure 7–27 : Analyse SVM de la sous-traitance et mutualisée .....	282
Figure 7–28 : Analyse SVM des solutions faisant appel à la sous-traitance.....	282

Figure 7–29 : Résumé des solutions mutualisées lorsque l'on peut utiliser des véhicules électriques. .... 283

Figure 7–30 : Résumé des familles de solutions lorsque l'on peut sous-traiter et utiliser des véhicules électriques. .... 283

# Nomenclature

ACV	Analyse de Cycle de Vie
AD	Aide à la Décision
ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
ANOVA	ANalysis Of VAriance
ARS	Agence Régionale de Santé
BBC	Bâtiment Basse Consommation
BEGES	Bilan des Emissions de Gaz à Effet de Serre
BEPOS	Bâtiment à Energie POSitive
BIM	Building Information Modeling
BSI	British Standars Institution
CG	Conclusion Générale
CH <sub>4</sub>	Méthane
CIFRE	Conventions Industrielles de Formation par la REcherche
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
COP	Coefficient de Performance
COP21	Conférence sur le climat de Paris (Conference of the Parties)
CP	Contradiction Physique
CPG	Contradiction Physique Généralisée
CT	Contradiction Technique
CTG	Contradiction Technique Généralisée
DEFRA	Department for Environment Food and Rural Affairs
EDF	Electricité De France
EIFER	European Institute for Energy Research
ENV	Elément – Nom du paramètre – Valeurs du paramètre
ESSE	Electricité de Strasbourg Services Energétiques
FE	Facteur d'Emission
FLJ	Facteur de Lumière Jour
GES	Gaz à Effet de Serre
GHG Protocol	Greenhouse Gas Protocol
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
HFC	Hydrofluorocarbures
HM	Hypothèse méthodologique
IDEFO	Integration Definition for fonction modeling
IDM	Inventive Design Method
IEPCT	Integrated Energy Planning for Cities and Territories
INSA	Institut National des Sciences Appliquées
IPE	Indicateurs de Performances Energétiques
ISO	Organisation Internationale de Normalisation
LGECO	Laboratoire du GENie de la CONception
MCDA	Multi Criteria Decision Analysis
N <sub>2</sub> O	Protoxyde d'azote
NF <sub>3</sub>	Trifluorure d'azote

ONG	Organisation Non Gouvernementale
OTSM	Théorie Générale de la Pensée Avancée
PA	Paramètre d'Action
PAC	Pompe A Chaleur
PAS 2050	Publicly Available Specification 2050
PCAET	Plan Climat Air Energie Territorial
PCET	Plan Climat Energie Territorial
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PE	Paramètre d'Evaluation
PFC	Perfluorocarbures
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PM	Personne Morale
PP	Partie Prenante
PPM	Partie Par Million
PRG	Pouvoir de Réchauffement Global
PSM	Problem Structuring Methods
RO	Recherche Opérationnelle
SCOT	Schéma de Cohérence Territorial
SF <sub>6</sub>	Hexafluorure de soufre
SMART	Spécifique – Mesurable – Atteignable – Réaliste – Temporellement défini
SME	Système de Management de l'Energie
SM-GES	Système de Management des Gaz à Effet de Serre
SNBC	Stratégie Nationale Bas Carbone
SRADDET	Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires
SRCAE	Schéma Régional Climat Air Energie
SSM	Soft Systems Methodology
SVM	Support Vector Machine
SWOT	Forces – Faiblesses – Opportunités – Menaces
tCO <sub>2eq</sub>	Tonnes de dioxyde de carbone équivalent
TS	Taux de satisfaction
TRIZ	Théories de Résolution des Problèmes d'Invention
UE	Union Européenne
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WRI	World Resources Institute

---

# INTRODUCTION GENERALE

---

## 0/1. Contexte général

### 0/1.1. Motivation sociétale

La question du réchauffement climatique est un thème récurrent dans notre vie de tous les jours. Le début du 21ème siècle est marqué par des problématiques énergétiques majeures qui ont pris une importance capitale dans la politique mondiale. L'utilisation majeure des énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon) depuis la révolution industrielle a provoqué une augmentation significative des rejets de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, et les effets sur le climat commencent à se faire sentir. Par rapport à 1850, la température globale de la Terre a déjà augmenté d'environ 0,85°C (GIEC, 2014a) et la quantité de CO<sub>2</sub> atmosphérique est passée d'environ 280ppm à environ 400ppm aujourd'hui (GIEC, 2014a). Pour rester dans l'objectif d'une augmentation de température globale inférieure à 2°C, le GIEC estime que la concentration atmosphérique devra rester sous 450ppm CO<sub>2eq</sub> d'ici 2100 (GIEC, 2014b). En d'autres termes, les émissions globales de GES devront être divisées par deux d'ici à 2050 (par rapport au niveau de 1990) ; et l'effort des pays industrialisés devra être important, de l'ordre de 80% (European Commission, 2011).

Il va donc falloir arriver à maîtriser les activités anthropiques et à proposer des solutions d'atténuation et d'adaptation pour diminuer le phénomène du réchauffement climatique.

Les pays développés se doivent donc de réfléchir aux alternatives énergétiques de demain. La réduction des émissions de GES passe nécessairement par une maîtrise de l'énergie consommée : améliorer l'efficacité énergétique et basculer vers une économie décarbonée semblent être les principaux objectifs à atteindre.

La mise en place de la transition énergétique va demander l'implication de différents acteurs agissant à différentes échelles. A l'échelle européenne, la feuille de route de l'UE (European Commission, 2011) propose des solutions pour permettre à l'Europe de développer une économie compétitive bas carbone à l'horizon de 2050. L'objectif pour l'UE est, d'ici 2050, de réduire ses émissions de GES de 80% à 95% (par rapport au niveau de 1990) suivant les secteurs économiques émetteurs de GES.

## 0/1.2. Echelles et acteurs globaux

Les questions qui se posent à l'échelle macroscopique (pays – régions) sont souvent générales et se basent sur des objectifs globaux de réduction des émissions de GES et des consommations énergétiques à atteindre.

Pour les plus petites échelles (entreprises – acteurs), le questionnement et les études menés à l'échelle macroscopique donnent le cadre légal, général et les orientations à respecter dans le processus de transition énergétique. Cependant les solutions proposées dans les scénarios sont difficilement directement applicables pour une organisation particulière, pour laquelle les objectifs sont beaucoup plus opérationnels : économique (diminution du coût de l'énergie) et vertueux (diminution des émissions de GES).

Les acteurs participant à cette transition vers une économie compétitive bas carbone seront obligés de répondre à des contraintes de plus en plus fortes et ne sont pas forcément des spécialistes du domaine de l'énergie. Les entreprises vont devoir trouver des solutions pour diminuer leurs propres émissions de GES. Cette réduction s'effectue essentiellement grâce à des possibles économies d'énergie mais pourrait aussi s'effectuer grâce à d'autres actions plus pertinentes par rapport à l'organisation elle-même mais qui sont à construire au cas par cas. Il faudra donc doter ces organisations d'outils leur permettant de se projeter vers une économie bas carbone tout en restant compétitives : l'évolution devra se faire en trouvant un nouvel équilibre entre innovations et compétitivité.

### 0/1.3. Positionnement des entreprises

Au niveau des entreprises, plusieurs méthodologies sont disponibles pour évaluer leur consommation énergétique (e.g. audit énergétique) et leurs émissions de GES (e.g. bilan des émissions de GES - BEGES) et permettre de proposer des plans d'actions et des solutions d'amélioration. Il existe aussi des approches pour arriver à organiser un processus d'amélioration avec une démarche méthodique pour améliorer leurs performances énergétiques ou intégrer la gestion des émissions de GES (SME - Système de management de l'énergie ISO 50001 et SM-GES - Système de management des GES).

Les entreprises savent ce qu'elles doivent faire et certaines peuvent être soumises à un cadre légal avec obligation de réaliser leur audit énergétique et/ou leur BEGES. Toutefois elles ne savent pas forcément comment le faire. La plupart du temps, les entreprises n'ont pas les compétences pour répondre à ces obligations et sont obligées de faire appel à un pilotage externe. De plus, le questionnement sur les économies d'énergie et sur la diminution des émissions de GES est une démarche complexe dans laquelle ces deux problématiques sont le plus souvent liées : lorsqu'on agit sur l'une on agit sur l'autre également. Il n'existe pas de solution prédéfinie et une analyse devra être faite dans chaque cas pour apporter des solutions adaptées à la situation et économiquement viables pour l'entreprise. Une autre difficulté est de trouver des solutions valables sur le long terme (les solutions les plus simples sont souvent des solutions court terme) car les cibles à atteindre ont des horizons à 2020 – 2050 et que les solutions faciles sont insuffisantes pour respecter ces cibles. Cette problématique entraîne des difficultés supplémentaires comme les incertitudes inhérentes aux projets à long terme ou encore la prise en compte du progrès technologique qui va avoir lieu dans les prochaines années.

## **0/2. Contexte de recherche**

### **0/2.1. Cadre global de déploiement de la recherche**

La contribution visée de cette thèse est de répondre à la problématique de l'accompagnement méthodologique et l'analyse de la transition énergétique à l'échelle d'une organisation. Cette recherche est menée en collaboration avec deux acteurs : EDF-ESSE, porteur du dispositif CIFRE et la Fondation Sonnenhof, fondation protestante située à Bischwiller (67-Bas-Rhin) dont l'activité principale est l'accueil de personne en situation de handicap, qui constitue le terrain pratique et d'expérimentation de la thèse.

Le Sonnenhof et EDF-ESSE sont des partenaires de longue date, ils partagent les mêmes valeurs et ont déjà lancé des projets pour le développement durable comme le « Sonnenhof de l'environnement 2010 ». La collaboration dans le cadre de cette thèse permet à EDF-ESSE de créer des méthodes pour le pilotage des activités consommatrices d'énergie et la réduction des émissions de GES. La caractéristique spécifiquement visée dans ce travail de recherche est l'intégration dès la phase de conception de démarches à caractère opérationnel. C'est aussi une opportunité pour mettre au point une méthodologie dans un but de généralisation et ainsi fournir un ensemble d'outils pour tous les secteurs.

La Fondation Sonnenhof, sensible au développement durable, souhaite optimiser et conduire au mieux l'évolution de son système énergétique. Elle a également besoin d'un soutien méthodologique pour la réalisation de son BEGES réglementaire. Elle est accompagnée en cela par EDF-ESSE qui établit le bilan et propose des recommandations pour la diminution des émissions des GES.

ESSE, de son côté, maîtrise la partie réglementaire des démarches du BEGES, mais souhaiterait explorer et développer une méthodologie de qualité pour la réalisation d'un BEGES complet (la partie règlementaire ne correspond pas un bilan complet).

Enfin, le LGECO de manière plus générale souhaite évaluer les démarches de résolution de problème, et comment elles peuvent être appliquées dans les projets

de planification énergétique durable directement à l'échelle des organisations. Ainsi en se plaçant du point de vue du laboratoire, l'entreprise et l'organisation sont des ressources pour tester la démarche. Du point de vue de l'entreprise et de l'organisation, la méthodologie sert à répondre aux questions et à trouver des solutions.

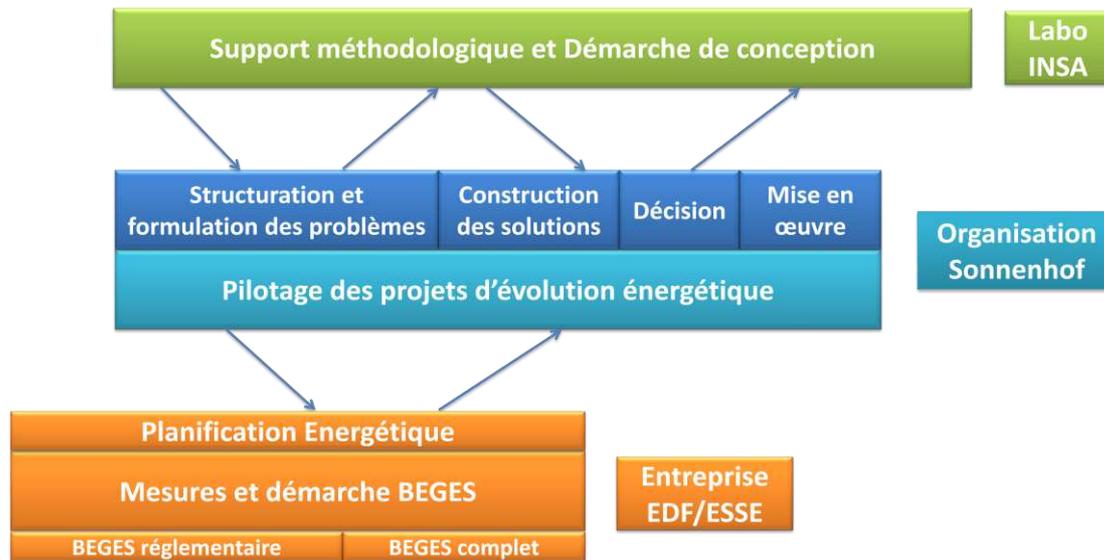


Figure 0–1 : La thèse : coopération entre une entreprise, une organisation et un laboratoire

## 0/2.2. Problématique de la thèse

Le but de cette thèse est de fournir à une organisation une méthodologie pour réaliser le management stratégique des projets relatifs à sa transition énergétique. Nous souhaitons de manière plus générale évaluer la manière dont les démarches de résolution de problèmes d'innovation, que le laboratoire LGECO de l'INSA Strasbourg a contribué à élaborer dans le cadre de travaux et de thèses antérieurs, peuvent être appliquées dans les problèmes méthodologiques des projets de la planification énergétique durable directement à l'échelle des organisations. C'est aussi une opportunité pour mettre au point une méthodologie dans un but de généralisation et ainsi fournir un ensemble d'outils pour divers secteurs.

Cette thèse vise, à partir de différents états de l'art sur la planification énergétique et la conception en particulier, à pointer le déficit méthodologique auquel doit faire face

une organisation : si les démarches et outils existent lorsqu'un problème est clairement identifié, comment justement identifier un ou des problèmes à partir uniquement d'une formulation de buts ou d'intentions. Ainsi, la contribution de cette thèse est double : tout d'abord proposer une démarche de planification énergétique à l'échelle d'une organisation de manière à faire émerger de manière structurée les problèmes auxquels l'organisation est confrontée (Partie 1) et ensuite appliquer une démarche de structuration des problèmes précédemment identifiés sous forme de contradictions à partir de données de simulation en vue de leur résolution (Partie 2). De ce fait, cette thèse se positionne comme une contribution méthodologique d'amélioration et d'adaptation d'une démarche complète d'aide à la décision en matière de planification énergétique à l'échelle d'une organisation.

### 0/2.3. Structuration de la thèse

Cette thèse s'articule autour de 8 chapitres. La **Partie 1** « Méthodologie de planification énergétique à l'échelle d'une organisation », qui compte 4 chapitres, s'attache à analyser la question de l'aide à la planification énergétique à l'échelle d'une organisation. Elle conduit à proposer, en croisant les travaux existants dans le domaine de la planification énergétique, de la conception et de la démarche d'analyse des émissions de GES, une démarche opérationnelle permettant de passer à l'échelle d'une organisation spécifique en s'attaquant aux questions qu'elle se pose en partant de la manière dont elle se les pose.

Tout d'abord, dans le **chapitre 1**, nous avons analysé la problématique de la planification énergétique et son corollaire : l'analyse des émissions de GES. Ce premier chapitre conclut qu'une des difficultés des organisations est la maîtrise du pilotage de la démarche de management énergétique et la difficulté d'appréhender, d'exploiter les résultats et de suivre le bon déroulement des recommandations du BEGES.

De ce fait, dans le **chapitre 2**, nous analysons les démarches de conception de manière, d'une part, à faire un état des éléments transposables dans les projets de management énergétique à l'échelle d'une organisation et, d'autre part, à identifier

les manques à combler. Constatation est faite que la plupart des démarches de conception souffrent, dans la phase de compréhension de la situation initiale, de l'insuffisance d'outil pour faire émerger le ou les problèmes à résoudre, notamment si l'on souhaite apporter des solutions innovantes.

En conséquence, dans le **chapitre 3**, nous construisons une première contribution de cette thèse en proposant une démarche opérationnelle de problématisation de la conception et du management de la planification énergétique d'une organisation. Pour cela, nous partons d'une première brique méthodologique globale de problématisation issue de travaux sur l'IEPCT-Integrated Energy Planning for Cities and Territories. L'approche sélectionnée, qui croise démarche de conception et de planification énergétique, répond en particulier aux manques que nous avons identifiés dans notre état de l'art et s'adapte à l'échelle d'une organisation. Elle nous confronte toutefois à une limite opérationnelle. C'est pourquoi nous lui avons adjoint une seconde brique nécessaire à son appropriation par une organisation dans une optique d'aide à la décision au management énergétique, brique que nous présentons en fin de chapitre.

Le **chapitre 4** est le chapitre de déploiement de la démarche générale que nous proposons sur notre terrain d'application : le Sonnenhof. Face à leur obligation, de mener leur BEGES, cette organisation s'est posée des questions en termes de management de l'énergie et d'émission de GES. Consciente d'une volonté assez globale de réduire son impact carbone tout en maîtrisant ses dépenses énergétiques, l'organisation se trouvait face à la difficulté de prendre des décisions quant à sa planification énergétique. En effet, le Sonnenhof a la particularité de présenter l'ensemble des secteurs susceptibles d'être des ressources pour la diminution d'émission de GES : production d'énergie, transport, agriculture, bâtiment et industrie. De ce fait, lorsque nous avons analysé conjointement l'ensemble des dimensions, les pistes problématiques à explorer étaient très nombreuses. Toutefois, notre travail d'analyse a permis de faire émerger des axes importants et d'inscrire les premières tâches dans le temps.

Dans la **seconde partie** « Formulation et structuration des problèmes », composée de trois chapitres, nous examinons le passage de l'analyse de la situation initiale et d'identification des problématiques importantes impactant la planification énergétique à des pistes de solutions. L'objectif de cette partie est d'outiller le processus d'exploration des solutions possibles. Pour ce faire, nous utilisons la contradiction et un ensemble de concepts associés de manière à mieux comprendre le problème et l'espace de conception à explorer pour le résoudre.

Dans le **chapitre 5**, nous présentons le cas spécifique issu de notre analyse du pilotage de la planification énergétique du Sonnenhof. Parmi l'ensemble des problématiques mises en évidence, une émerge car ne nécessitant pas d'analyse et de mesures préalables longues : celle de la gestion du parc de véhicules de transport de personnes. La question de départ formulée par le Sonnenhof était une question de renouvellement de certains véhicules. Ainsi est très vite apparue l'opposition de principe entre des acteurs qui réclamaient le renouvellement de certains véhicules vétustes et la demande d'autres acteurs de justification de ces investissements supplémentaires. Dans ce chapitre nous présentons tout d'abord l'analyse préalable que nous avons faite de ce système de transport en nous appuyant sur les contributions méthodologiques de la Partie 1. Nous présentons également les données spécifiques de cette flotte, ainsi que les paramètres que nous avons utilisés pour la caractériser. Notre objectif étant d'utiliser une approche d'identification des contradictions à partir des données, nous expliquons la manière dont nous avons collecté et généré les données.

Dans le **chapitre 6**, nous présentons le concept de base que nous proposons de mobiliser pour guider le processus de compréhension et résolution de problème : la contradiction. De nombreux travaux s'appuient sur la contradiction afin de résoudre les problèmes et de faire émerger des concepts de solution pertinents. La démarche habituelle lorsque l'on manipule le concept de contradiction est de s'appuyer sur l'humain et sa connaissance experte d'un système. Une limite de ces travaux est que la démarche d'identification de la contradiction s'appuie quasi exclusivement sur le savoir, d'une part des experts des démarches de conception et d'autre part des

experts du problème spécifique. De plus, une autre limite importante à l'approche par les experts est la capacité humaine à manipuler et interpréter les données elles-mêmes d'une part, et un grand nombre de données d'autre part. Ce que nous proposons ici est d'outiller la phase d'identification des contradictions à partir des données de simulation. L'illustration sur notre cas de terrain sera faite dans le chapitre suivant. Toutefois, avant de passer au cas pratique, nous avons jugé nécessaire de présenter d'un point de vue plus théorique les différents éléments, outils et concepts, que nous proposons de mobiliser. Ainsi après un bref rappel de ce qu'on appelle contradiction, nous présentons le lien entre la conception, l'optimisation de Pareto et les modèles de contradictions. Nous présentons les dimensions plus approfondies de la contradiction, montrant ainsi que ce concept est en fait extrêmement riche et donne au concepteur des ressources nouvelles pour explorer l'espace de conception. Nous poursuivons en présentant progressivement comment identifier le lien entre des contradictions d'objectifs ou d'effets et plusieurs leviers d'action qui en sont à l'origine. Pour cela nous mobilisons d'une part des outils standards d'analyse de données et de plans d'expérience, et d'autre part, un outil d'apprentissage supervisé de type séparateur à vaste marge (support vector machine en anglais-SVM). Ce dernier permet de réaliser des analyses discriminantes.

Enfin dans le **chapitre 7**, nous menons le processus de résolution sur notre cas (problème multi-objectifs établi au chapitre 5) en soulignant l'emploi des outils présentés dans le chapitre 6. Nous présentons les démarches successives d'analyse conduisant à une meilleure compréhension du problème et à l'émergence des différents concepts de solutions. Notre objectif dans ce chapitre est de montrer comment cette nouvelle approche méthodologique à partir de données permet d'accompagner le processus de résolution en fournissant rapidement les informations nécessaires pour la mise en œuvre des méthodes de résolution de problème à base de contradiction.

Le **chapitre 8** termine le mémoire en résumant et liant les contributions des deux parties du mémoire. Il discute les points forts, les limites et l'extension de la méthode proposée à d'autres champs d'application.

Nous proposons le schéma suivant qui montre l'articulation de la démarche que nous allons développer suivant le plan de thèse précédemment exposé.

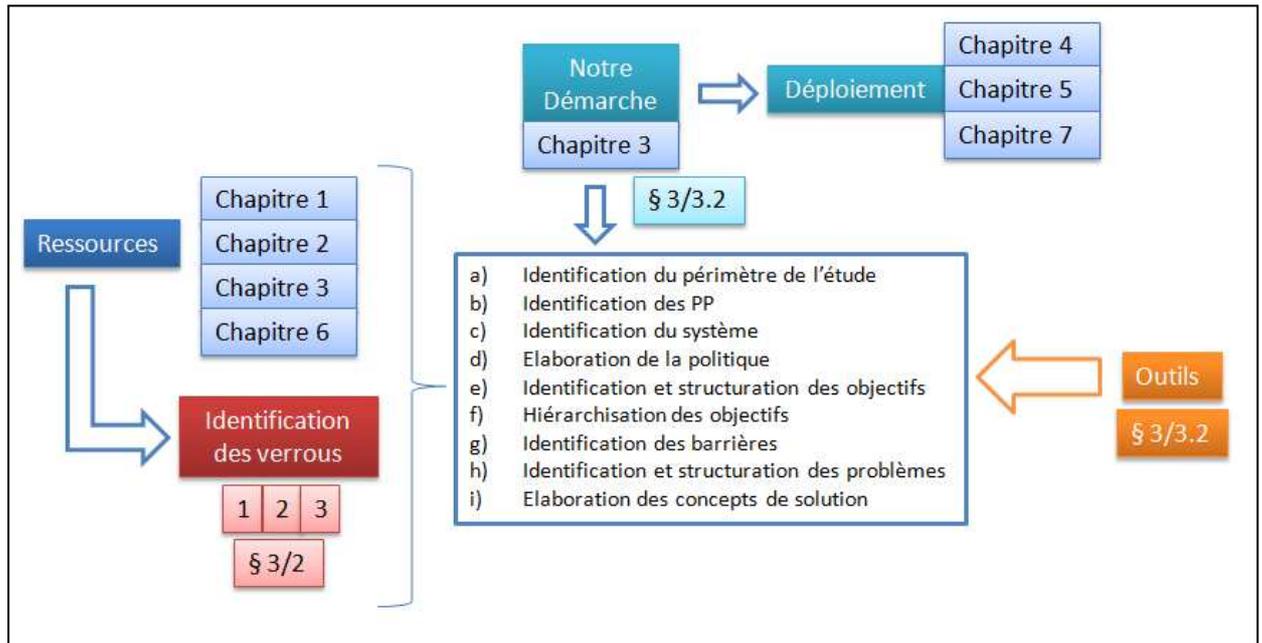


Figure 0–2 : Articulation de la démarche suivant le plan de thèse

**PARTIE I. METHODE DE  
PLANIFICATION  
ENERGETIQUE A  
L'ECHELLE D'UNE  
ORGANISATION**



Le contexte sociétal de cette recherche, comme nous l'avons posé dans l'introduction générale, est aujourd'hui très marqué, tant d'un point de vue politique que d'un point de vue de société. L'intérêt et l'engagement pour le développement durable et la protection des ressources naturelles semblent relativement partagés<sup>1</sup>. Si d'abondantes ressources méthodologiques sont disponibles et discutées aux échelles macroscopiques, nous proposons dans cette première partie d'analyser la question de l'aide à la planification énergétique à l'échelle d'une organisation. Pour ce faire, nous croisons les travaux existants dans le domaine de la planification énergétique (chapitre 1) et dans le domaine de la conception (chapitre 2), ce qui nous conduit à proposer une démarche opérationnelle permettant de passer à l'échelle d'une organisation spécifique (chapitre 3). Nous terminons cette partie en appliquant la démarche au cas du Sonnenhof (chapitre 4).

---

<sup>1</sup> Il est à noter toutefois, au regard des récents événements outre-Atlantique (retrait des Etats-Unis de la COP21), que malgré une relative unanimité, toute volte face est possible, en particulier d'un point de vue politique. Nous ne discuterons pas de cet aspect de la problématique dans cette recherche et nous nous appuyerons sur les textes et décisions qui, en France, aujourd'hui s'imposent aux organisations en général et aux entreprises en particulier.



---

# CHAPITRE 1 CONTEXTE DE LA PLANIFICATION ENERGETIQUE A L'ECHELLE D'UNE ORGANISATION

---

De nombreuses réflexions ont été menées en vue de traiter la problématique de la planification énergétique. On constate que la question de l'échelle d'analyse impacte et distingue la nature des travaux présentés. D'un point de vue méthodologique, aux échelles macroscopiques (internationales, nationales, régionales ou urbaines) les différents textes et travaux traitent des problématiques de planification énergétique (cf. § 1/1.1. ) ; alors qu'aux échelles microscopiques (organisations en général et entreprises en particulier) ils portent davantage sur le management de l'énergie (cf. § 1/1.2. ). La question des émissions de GES accompagne ces réflexions car elle est totalement liée à la question d'une économie sobre en énergie, décarbonée et partiellement impactée par les stratégies énergétiques des organisations (cf. § 1/2. ). En France, une démarche relativement bien cadrée est largement déployée : le Bilan des Emissions de Gaz à Effet de Serre (BEGES). Toutefois la compilation d'un ensemble de ressources disponibles sur les questions du management de l'énergie et des GES nous conduit à conclure que les plans d'actions préconisés sont bien souvent construits de manière standards et routinières sans réelle projection de l'organisation quant à ses besoins (cf. § 1/3. ).

Ce premier chapitre va permettre de mobiliser une première ressource, illustrée par la Figure 1–1, pour alimenter notre démarche : les ressources des experts pour réaliser un BEGES dans un cadre réglementaire (planification énergétique, ISO).

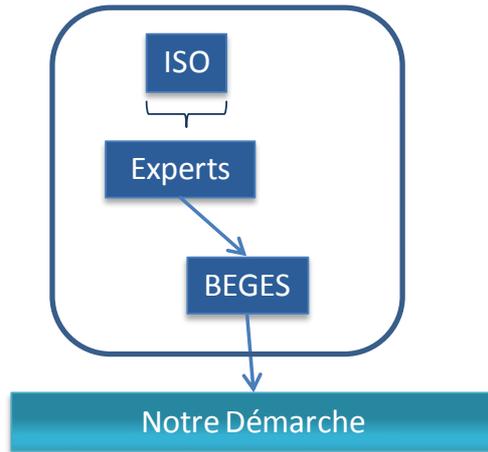


Figure 1–1 : Première ressource pour notre démarche

## 1/1. Planification énergétique et management de l'énergie

En fonction de l'échelle (macro- ou microscopique), la question énergétique se décline de manière différente. La question de la planification énergétique (§ 1/1.1. ) se construit principalement par rapport aux grands engagements internationaux (e.g. COP21, feuille de route de l'UE) alimentés en partie par les travaux du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC). La planification énergétique est déclinée aujourd'hui à des échelles géographiques plus restreintes (e.g. pays, régions, villes) et en donne les principales orientations. Cependant, pour une organisation donnée, ces orientations globales doivent se décliner de manière à s'intégrer dans des approches managériales ; la mise en place de textes réglementaires (e.g. ISO 50001) vise à se focaliser davantage sur le management de l'énergie (§ 1/1.2. ).

### 1/1.1. La planification énergétique

La planification énergétique consiste à mettre en place une démarche d'amélioration de la gestion des consommations, des ressources, et des infrastructures énergétiques pour un périmètre donné. Cette démarche demande une coordination entre les politiques énergétiques, les spécificités du périmètre étudié et les différents

## CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation

acteurs entrant en jeu. La planification énergétique est un sujet traité essentiellement à des échelles nationales, locales et territoriales (Ahmed et al., 2015; Gustafsson et al., 2015; Neves et al., 2015; Nilsson and Mårtensson, 2003; Özbuğday and Erbas, 2015).

En France, la question de la planification énergétique et de la lutte contre le changement climatique est d'abord déclinée à l'échelle nationale au travers des lois Grenelle 1 et 2 et du plan climat national, puis à l'échelle d'une région avec les schémas régionaux climat air énergie (SRCAE), et enfin à l'échelle d'un territoire (département, ville, commune etc.) avec les plans climat-énergie territoriaux (PCET).

Le Grenelle de l'environnement pose les bases en France de la prise de conscience sur le fait de l'urgence écologique et de la mise en place de mesures luttant contre le réchauffement climatique. La loi Grenelle 1 (Loi n°2009-967 du 3 août 2009) (Legifrance, 2009), « avec la volonté et l'ambition de répondre au constat partagé et préoccupant d'une urgence écologique, fixe les objectifs et, à ce titre, définit le cadre d'action, organise la gouvernance à long terme et énonce les instruments de la politique mise en œuvre pour lutter contre le changement climatique [...]. Elle assure un nouveau modèle de développement durable qui respecte l'environnement et se combine avec une diminution des consommations en énergie, en eau et autres ressources naturelles » (Article 1). La loi fixe comme objectif pour la France de réduire d'au moins 20% ses émissions de GES, d'améliorer de 20% l'efficacité énergétique et de s'engager à porter la part des énergies renouvelable à au moins 23% de sa consommation énergétique d'ici à 2020 par rapport à 1990. Elle donne aussi les orientations à suivre suivant les secteurs d'activités :

- Elle fait du bâtiment le principal chantier dans la lutte contre le changement climatique (norme BBC pour le neuf et programme de rénovation ambitieux pour l'ancien).
- Elle a pour ambition de diminuer les émissions de GES de 20% du secteur des transports d'ici à 2020 (par rapport à 2005 – pour revenir au niveau de 1990) et de réduire la dépendance de ce secteur aux ressources fossiles (priorité du non routier pour le transport de marchandises et du collectif pour le transport de voyageur).

- Elle veut renforcer les économies d'énergie et diminuer les émissions de GES au sens large (accélérer les démarches des plans climat-énergie territoriaux, améliorer les processus énergétiques, rendre obligatoire les BEGES pour les personnes morales employant plus de 250 salariés).
- Elle veut initier et accélérer la transformation de l'agriculture (agriculture durable, diminution de l'épandage des engrais).

La loi Grenelle 2 (Loi n°2010-788 du 12 juillet 2010) (Legifrance, 2010a) confirme les intentions formulées dans la loi Grenelle 1 et apporte des améliorations et précisions :

- Le secteur du bâtiment devra améliorer sa performance énergétique (réduire les consommations d'énergie de 38% d'ici à 2020) avec une véritable rupture technologique dans le neuf (BBC en 2012 puis à énergie positive BEPOS en 2020) et effectuer une accélération des rénovations thermiques dans l'ancien pour améliorer l'efficacité énergétique de ces bâtiments. Le tout devra être piloté par de nouveaux outils de planification et d'éco-conception à élaborer.
- Il va falloir faire évoluer les infrastructures et les comportements dans les secteurs des transports. Développer des alternatives durables au routier et développer les véhicules propres de demain. Mettre en place un bilan GES pour les professionnels du transport pour informer du contenu carbone des transports et informer les clients (fret) ou utilisateurs (transport en commun).
- Améliorer pour le secteur de l'énergie l'efficacité énergétique et le contenu carbone de la production (continuer à mettre en place des démarches pour lutter contre le réchauffement climatique : obligation pour les entreprises de plus de 500 salariées et des collectivités de plus de 50 000 habitants de réaliser leur BEGES, développer les schémas du climat de l'air et de l'énergie au niveau régional, obligation de réaliser un plan-climat territorial pour les collectivités de plus de 50 000 habitants et favoriser le développement des énergies renouvelables) .

Le plan climat national reprend essentiellement les objectifs fixés par les lois Grenelle 1 et 2. Pour arriver à atteindre ces objectifs, il faut absolument associer les acteurs qui devront agir en conséquence pour y arriver. C'est pour cela que le plan

national est décliné sur des échelles plus petites comme la région ou les territoires.

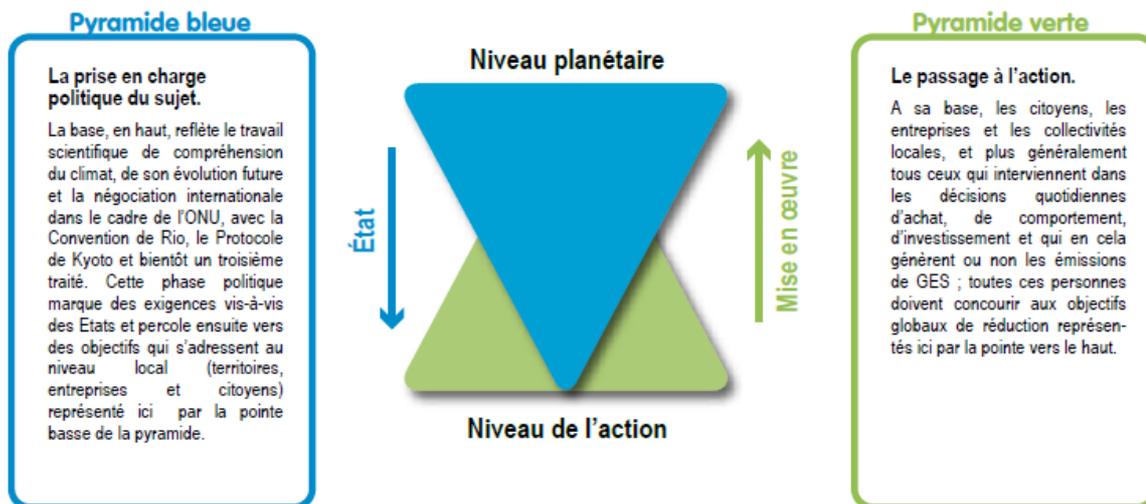


Figure 1–2 : Articulation du plan climat entre niveau planétaire et niveau d'action, source : Guide PCET p11 (Ademe, 2009).

Le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) découle de l'article 68 de la loi Grenelle 2. Cet article permet de renforcer la cohérence des actions à chaque échelle du territoire, il est cohérent avec le Plan Climat National et permet de faire la liaison entre les objectifs nationaux et les objectifs régionaux (en prenant en compte les spécificités régionales, leur potentiel et leur spécificité). Le SRCAE est un outil stratégique, élaboré par la région et l'Etat, au service de tous les acteurs locaux concernés visant à réduire les émissions GES et la consommation d'énergie, à lutter contre le réchauffement climatique et à améliorer la qualité de l'air aux horizons 2020 et 2050. Un SRCAE définit une feuille de route dans le but d'atteindre les objectifs nationaux et internationaux et d'impulser les orientations nécessaires pour y arriver. Ce schéma se veut un véritable outil de travail en tant que cadre stratégique sur les actions futures à y mener.

Les SRCAE doivent comporter différents bilans pour visualiser la situation de la région :

- Un BEGES,
- Un bilan des principales émissions polluantes atmosphériques,

- Un bilan des consommations énergétiques (avec un focus sur quatre secteurs économique : le bâtiment, l'industrie, l'agriculture et les transports),
- Une évaluation du potentiel énergétique et renouvelable.

Les SRCAE doivent aussi fournir des orientations possibles et des objectifs à partir des bilans précédents sur les points suivants : développement des énergies renouvelables, réduction des émissions de GES et des consommations d'énergie, et évaluation des potentiels d'économie d'énergie.

Pour l'Alsace, les objectifs sont une réduction de 20% des émissions de GES entre 2003 et 2020, une réduction de 20% de la consommation énergétique entre 2003 et 2020, une division par 4 des émissions de GES entre 2003 et 2050 ainsi qu'une part des énergies renouvelables portées à 26.5% d'ici à 2020 (Région Alsace, 2012).

Un rapport intermédiaire (Région Alsace, 2015), montre que entre 2003 et 2013 :

- Les émissions de GES ont baissé de 38%, permettant déjà d'atteindre les objectifs 2020 grâce, en outre, à la diminution des émissions de protoxyde d'azote de l'industrie chimique, à l'augmentation des bioénergies. Les principaux efforts à réaliser à l'avenir sont sur les émissions du transport routier et des bâtiments.
- La consommation énergétique a baissé de 8%, reste une diminution de 12% à réaliser en 7 ans.
- La part d'énergies renouvelables est portée à 22.4% atteignant presque les objectifs 2020 (26.5%).

Au niveau des territoires, les Plans Climat-Energie Territoriaux (PCET) sont des projets de développement durable mettant en avant les actions que peuvent effectuer les différents acteurs pour lutter contre le changement climatique. Les PCET doivent être cohérents et compatibles avec les orientations définies par le SRCAE de la région. La loi Grenelle 2 (article 75) les rend obligatoires pour l'Etat, les régions, les départements, les communautés urbaines, les communautés d'agglomération et les communes ou les communautés de commune de plus de 50 000 habitants. Ces acteurs s'engagent à diminuer les émissions de GES, à améliorer l'efficacité énergétique, à promouvoir le développement des énergies renouvelables et à adapter leur territoire aux effets du changement climatique. Ils

## CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation

définiront des objectifs opérationnels visant à mettre en œuvre deux buts (Ademe, 2009) :

- L'atténuation : il s'agit de limiter l'impact du territoire sur le climat (réductions des émissions de GES, meilleure efficacité énergétique etc.).
- L'adaptation : il s'agit de réduire la vulnérabilité du territoire vis-à-vis du changement climatique (décision long-terme, changement des conditions de vie etc.).

Un PCET se caractérise ensuite par les objectifs à atteindre, le périmètre d'action à considérer et les acteurs à mobiliser. La démarche se place effectivement dans le cadre d'une politique nationale avec des objectifs chiffrés à atteindre. La mise en œuvre se fait en mobilisant tous les acteurs du périmètre retenu ayant des activités liées à l'énergie et/ou des activités émettant des GES ainsi que ceux étant impactés par les effets du changement climatique. Les collectivités permettent donc de faire la liaison entre le niveau national (responsable des orientations politiques et du suivi scientifique) et le niveau local (où les actions doivent être menées). En Alsace, le PCET est construit en mobilisant de nombreux acteurs dans la région et en mettant en place une coordination sur le territoire pour promouvoir, accompagner et aider les projets de transition énergétique. Le PCET est aussi décliné à plus petite échelle comme le PCET du Bas-Rhin ou de la communauté urbaine de Strasbourg.

Les collectivités ont un rôle important dans les démarches opérationnelles car elles possèdent des compétences sur la gestion de leur patrimoine (bâtiment, transport ou énergie), des responsabilités sur l'aménagement du territoire (Plan Local d'Urbanisme – PLU ou Schéma de Cohérence Territorial - SCOT) et sur les acteurs évoluant dans leur secteur d'action (entreprises et organismes publics). Elles peuvent ainsi mobiliser plus facilement les acteurs moteurs de la transition énergétique mais aussi agir sur les comportements et les futures actions des citoyens (valeur de conseil et d'orientation).

Les lois Grenelles ont lancé la dynamique pour le développement durable en France, elles ont initié les plans climats, les schémas régionaux, les bilans GES et les audits énergétiques. Pour continuer dans cette dynamique et garder des objectifs de

performance élevée dans le temps, la France a lancé le débat sur la transition énergétique visant à faire participer les citoyens aux problématiques énergétiques (formation et communication pour la compréhension auprès du grand public et groupe de travail composés d'experts). Ce Débat National sur la Transition Énergétique a abouti à la Loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (Legifrance, 2015a).

Elle définit les objectifs pour la France :

- De réduire les émissions de GES de 40% entre 1990 et 2030 et de diviser par quatre les émissions de GES entre 1990 et 2050.
- De réduire la consommation d'énergie finale de 50 % en 2050 par rapport à 2012.
- De réduire la consommation énergétique primaire d'énergies fossiles de 30% en 2030 par rapport à 2012.
- De porter la part des énergies renouvelables de la consommation finale brute d'énergie à 23% en 2020 et à 32% en 2030.
- De réduire la part du nucléaire dans la production d'électricité à 50% à l'horizon 2025.

La Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC), présentée en novembre 2015 et instituée par la loi de la transition énergétique pour la croissance verte, définit la marche à suivre pour réduire les émissions de GES en France et évoluer vers une économie bas-carbone (Legifrance, 2015a). Elle fixe trois budgets carbone qui donnent les objectifs de plafonds des émissions de GES (2015-2018, 2019-2023 et 2024-2028). Elle précise en particulier la répartition des efforts de réduction par secteur :

- Réduire de 29% les émissions de GES du secteur des transports à l'horizon 2024-2028 par rapport à 2013 et de 70% d'ici 2050.
- Réduire de 54% les émissions de GES du secteur du bâtiment à l'horizon 2024-2028 et d'au moins 86% à l'horizon 2050. Réduire de 28% la consommation d'énergie à l'horizon 2030 par rapport à 2010.
- Réduire de plus de 12% les émissions de GES du secteur de l'agriculture à l'horizon 2024-2028 par rapport à 2013 et de 48% à l'horizon 2050.
- Diminuer de 24% les émissions de GES du secteur de l'industrie à l'horizon de 2024-2028 et de 75% d'ici 2050.

## CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation

- Maintenir les émissions de GES du secteur de l'énergie à un niveau inférieur à 2013 à l'horizon 2030 et réduire les émissions liées à la production d'énergie par rapport à 1990 de 95% d'ici 2050.

Ces dispositifs pour la planification énergétique sont en constante évolution, d'ici 2019 le SRCAE sera intégré dans le futur Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (SRADDET). Ce nouveau schéma définira des objectifs à moyen et long termes relatifs au climat, à l'air et à l'énergie, portant sur l'atténuation et l'adaptation du changement climatique, la lutte contre la pollution atmosphérique, la maîtrise de la consommation d'énergie et le développement des énergies renouvelables. Les PCET évoluent en plans climat air énergie territoriaux (PCAET), qui sont des outils d'animation du territoire pour définir les objectifs stratégiques et opérationnels qui devront s'articuler avec les SRCAE et SRADDET. L'obligation des PCAET est portée par les intercommunalités de plus de 20 000 habitants (contre 50 000 auparavant). Les PCAET comprennent un diagnostic, une stratégie territoriale, un plan d'action et un dispositif de suivi et d'évaluation et remplaceront les PCET au plus tard fin 2018 (Article L229-26 du code de l'environnement) (Legifrance, 2016a).

La question énergétique s'invite dans l'actualité, avec en juillet 2017, la volonté affichée par le gouvernement, au travers du discours de politique générale du premier ministre, de faire atteindre à la France la neutralité carbone en 2050. Pour affirmer la volonté du gouvernement, le ministère de la transition écologique et solidaire a présenté, le 07 juillet 2017, le Plan Climat pour accélérer la transition énergétique et climatique avec des objectifs forts (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2017) :

- Rendre irréversible les accords de Paris (COP21).
- Améliorer le quotidien des Français (e.g. mobilité propre, éradiquer la précarité énergétique).
- Atteindre la neutralité carbone et en finir avec l'utilisation des énergies fossiles.
- Encourager le potentiel des écosystèmes et de l'agriculture.
- Faire de la France un leader de l'économie verte.
- Intensifier la mobilisation internationale sur la diplomatie politique.

Comme cela vient d'être présenté, la planification énergétique est assez bien articulée en termes de buts et d'objectifs aux différents niveaux territoriaux, jusqu'à l'échelle de la commune. Les grands acteurs économiques (tels que EDF-Electricité de Strasbourg) se sont aussi clairement positionnés afin d'œuvrer dans le sens de ces différents plans (i.e. en Alsace avec le Programme Energie Alsace 2008-2015 – Programme Je rénove BBC 2010-2014 – Engagement pour la croissance verte du territoire 2017).

Qu'en est-il lorsque l'on change de niveau et que l'on se positionne au niveau d'une organisation comme une entreprise ? A ce niveau, la planification énergétique prend la forme d'un management de l'énergie mieux adapté aux problématiques plus opérationnelles d'une organisation<sup>2</sup>.

## 1/1.2. Le management de l'énergie

Le management de l'énergie est décrit dans la littérature par de nombreux auteurs et n'a pas une définition unique (Backlund et al., 2012). (Gordić et al., 2010) exposent que le management de l'énergie est un processus d'amélioration continue qui doit être continuellement mise à jour. (Van Gorp, 2004) précise qu'il faut mettre en place des systèmes de récupération des données, définir des cibles et communiquer avec les parties prenantes de l'organisation. (Mizuta, 2003) confirme en exposant le fait que tous les employés (un type de parties prenantes) participent au processus de réduction énergétique et que les utilisations et les données relatives à l'énergie doivent être connues et suivies.

Le management de l'énergie est formalisé avec la norme ISO 50001 publié en 2011 et donnant un cadre pour l'amélioration des performances énergétiques pour les organisations.

---

<sup>2</sup> Nous entendons par organisation, une coordination rationnelle des activités d'un groupe d'individus afin d'atteindre un but explicite commun, en s'appuyant sur une division du travail et une hiérarchie d'autorité et de responsabilités (une entreprise est une organisation).

## CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation

Nous présentons donc tout d'abord la norme ISO 50001 qui s'applique à l'échelle d'une organisation, ensuite les bénéfices qu'elle apporte avant de pointer les difficultés qu'elle pose.

### 1/1.2.1. La norme ISO 50001

Un cadre plus adapté pour une organisation est proposé par l'intermédiaire des audits énergétiques et de l'ISO 50001 (Système de management de l'énergie - SME) (Organisation internationale de normalisation, 2011a). La norme ISO 50001 « spécifie les exigences pour concevoir, mettre en œuvre, entretenir et améliorer un système de management de l'énergie permettant aux organismes de parvenir, par une démarche méthodique, à l'amélioration continue de sa performance énergétique, laquelle inclut l'efficacité, l'usage et la consommation énergétique » (p1).

La mise en œuvre de la norme ISO 50001 conduit à :

- L'évaluation des consommations énergétiques (situation de référence, usages significatifs).
- La construction d'indicateurs de performance énergétique (IPE)
- L'identification des cibles, objectifs et plans d'actions qui tiennent compte des exigences légales.
- Une veille réglementaire et normative.

L'ISO 50001 fournit un cadre et propose d'accompagner la mise en place des stratégies de management de l'énergie pour améliorer la performance énergétique d'un organisme dans le but de diminuer les consommations énergétiques, les émissions de GES, les impacts environnementaux et les coûts de l'usage de l'énergie. Le SME permet à une entreprise d'appliquer une politique énergétique cohérente, d'établir des objectifs et des plans d'action. Ces actions concernent toutes les énergies et peuvent s'appliquer à l'ensemble des activités pratiquées par l'entreprise.

La norme se base sur la méthodologie d'amélioration continue PDCA (Plan-Do-Check-Act) et intègre le principe de l'amélioration continue pour l'amélioration de la performance énergétique (consommations, utilisations et efficacité de l'énergie).

L'amélioration continue selon le PDCA peut être décrite comme ceci (Organisation internationale de normalisation, 2011b, 2011a) :

- Planifier : procéder à la revue énergétique et définir la consommation de référence, les indicateurs de performance énergétique (IPE), les objectifs, les cibles et les plans d'actions nécessaires pour obtenir des résultats qui permettront d'améliorer la performance énergétique en cohérence avec la politique énergétique de l'organisme.
- Mise en œuvre : appliquer les plans d'actions de management de l'énergie.
- Vérifier : surveiller et mesurer les processus et les caractéristiques essentielles des opérations qui déterminent la performance énergétique au regard de la politique et des objectifs énergétiques, et de rendre compte des résultats.
- Agir : mener à bien des actions pour améliorer en permanence la performance énergétique et le SME.

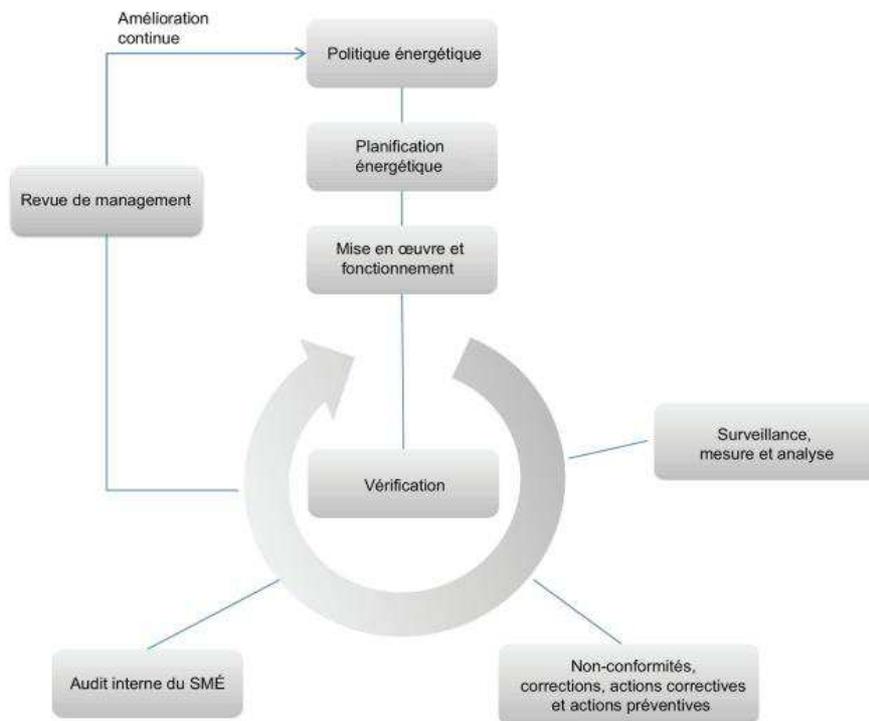


Figure 1–3 : Modèle de système de management de l'énergie de la norme ISO 50001, source : (Organisation internationale de normalisation, 2011a) pVI

Cette structure (PDCA) est similaire aux normes ISO 9001 et ISO 14001 (Organisation internationale de normalisation, 1996, 1987) déjà utilisées par un

## CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation

nombre important d'organisations, ce qui permet une adoption et une compréhension plus rapide par les entreprises. La particularité de la norme ISO 50001 est de placer le problème de l'énergie comme une véritable priorité ; de plus, elle comporte de nouvelles exigences non couvertes par les précédentes normes d'amélioration continue et de management environnemental. Un des ajouts de la norme est la définition d'Indicateurs de Performance Energétique (IPE) pour l'organisation : « elle doit identifier des IPE adaptés à la surveillance et à la mesure de sa performance énergétique » p8 (Organisation internationale de normalisation, 2011a). Ces indicateurs peuvent être exprimés sous la forme d'une mesure simple, d'un ratio, ou d'un modèle plus complexe. Ces indicateurs sont à définir dès la phase de planification et permettront d'améliorer la démarche de recherche de performance (contrairement à la norme ISO 14001 ne définissant que des cibles à atteindre).

De manière opérationnelle, l'organisation qui veut mettre en place un processus de management de l'énergie va devoir s'investir pour intégrer du mieux possible cette charge supplémentaire de travail à son système de management. L'organisation va devoir mobiliser différentes ressources et connaissances (ou devra en créer dans la mesure d'un manque ciblé). Pour démarrer la démarche, il est important de définir les rôles et les responsabilités des acteurs. La direction va devoir s'engager et s'impliquer dans la démarche en nommant notamment un représentant de la direction aux compétences adéquates et ayant l'autorité pour assurer la mise en œuvre et l'alimentation du SME ainsi que la communication envers la direction et les salariés. La direction doit également approuver la constitution d'un groupe de travail chargé du management de l'énergie dirigé par le représentant de la direction. Le volet de la communication dans l'entreprise est une partie importante, il faut que le projet implique l'ensemble des salariés pour que le processus soit le plus efficace possible (*i.e.* se sont les opérateurs qui connaissent le mieux les process qui pourront remonter le plus facilement des informations pour son analyse et son étude énergétique).

La direction, avec le groupe de travail, va devoir ensuite construire une politique énergétique cohérente et adaptée pour l'entreprise. Cette politique doit être

l'expression formelle de l'engagement de l'organisation à améliorer sa performance énergétique et s'engager à respecter :

- L'amélioration continue de sa performance énergétique,
- La mise à disposition des informations et des ressources nécessaires à la réalisation des objectifs,
- Les exigences légales et le cadre politique en matière d'économie d'énergie,
- L'investissement dans des produits et services économes en énergie,
- La documentation, la communication et la revue régulière du SME.

Ensuite, il va falloir connaître parfaitement le système énergétique *i.e.* le périmètre (limites géographiques ou opérationnelles) et les domaines d'activités ou processus utilisant de l'énergie. A partir de cela, le processus de planification énergétique peut commencer. L'organisation doit commencer par effectuer une revue énergétique visant à analyser ses consommations énergétiques. La revue sera conçue en analysant les différents usages et consommations d'énergie à partir de mesures, de relevés voire d'estimations. Elle devra également faire le point avec une analyse exhaustive des différentes sources d'énergie, des consommations et des usages présents dans le périmètre d'étude et identifier les installations, équipements et activités consommateurs d'énergie. A partir de cette première étude, il faudra utiliser les résultats pour mettre en évidence les domaines les plus énergivores et pour évaluer la performance énergétique des installations présentes par rapport à la politique énergétique, aux cibles (les états que l'on souhaite atteindre) et aux objectifs (les intentions précises que l'on se fixe, si possible quantifiables et inscrits dans le temps). Il faut ensuite estimer les consommations futures et réfléchir à des potentiels d'améliorations de la performance énergétique (les identifier et les hiérarchiser selon leur potentiel). Cette revue pourra être alimentée avec la réalisation d'un audit énergétique qui pourra être utile pour fournir les données de suivi de la revue énergétique. Il faut aussi établir la consommation énergétique de référence sur une période pertinente aux usages de l'organisation ; cette référence permettra de comparer les performances énergétiques attendues et les performances réelles. Il est utile de noter que cette comparaison se fera en tenant compte des exigences réglementaires ou des variables affectant la consommation

CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation d'énergie (e.g. paramètres météorologiques, cycles d'activités économiques). Pour arriver plus facilement à suivre la performance énergétique, la revue énergétique doit aussi définir des IPE. Ces indicateurs doivent être adaptés à la surveillance et à la mesure de la performance énergétique (e.g. des kWh/m<sup>2</sup>/an pour la performance énergétique d'un bâtiment, le coefficient de performance - COP pour une pompe à chaleur - PAC). La dernière partie de la planification énergétique consiste à établir les objectifs, les cibles et les plans d'actions. Les objectifs et les cibles établis doivent être cohérents avec la politique énergétique et doivent tenir compte du contexte réglementaire. Les plans d'actions doivent être construits pour permettre d'atteindre ces cibles et objectifs ; ils devront indiquer les délais pour atteindre une cible et les moyens de vérifications de l'amélioration de la performance énergétique.

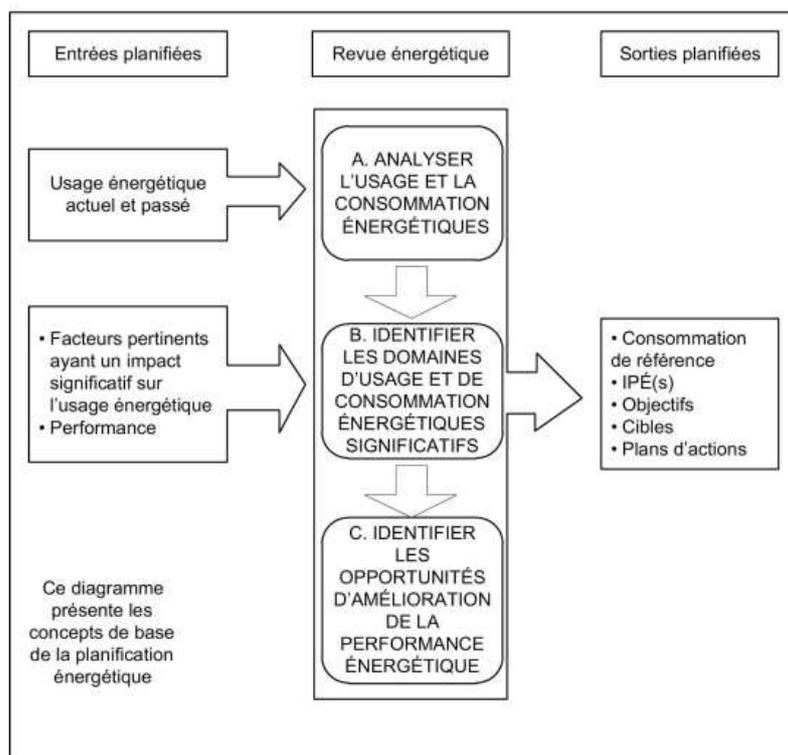


Figure 1–4 : Diagramme de processus de planification énergétique, source :

(Organisation internationale de normalisation, 2011a) p16

### 1/1.2.2. Intérêts, motivations et bénéfices

La principale motivation pour une organisation à commencer une démarche ISO 50001 est de pouvoir réaliser des économies et réduire significativement les

dépenses liées à l'énergie. De plus cette démarche est déjà répandue et a fait l'objet d'application concrète (Dörr et al., 2013; Gopalakrishnan et al., 2014; Jovanović and Filipović, 2016). L'apport méthodologique du management de l'énergie permet d'améliorer leur performance énergétique et propose un cadre de réflexion pour améliorer les projets en cours ou à venir. L'analyse détaillée et systématique des caractéristiques énergétiques des projets permet de mettre en œuvre des mesures d'améliorations et ainsi éviter de futurs problèmes de consommations d'énergie non prévues car non pris en compte durant l'élaboration du projet. D'autres motivations peuvent être le déclencheur de la démarche comme l'envie (démarche volontaire) ou la nécessité (démarche obligatoire) de réduire ses émissions de GES et d'être plus vertueux vis à vis de l'environnement. Cette amélioration permet aussi de valoriser l'image de l'organisation. De plus, diminuer ses émissions de GES et ses consommations d'énergie permet de prendre les devants sur une possible augmentation du prix des énergies (e.g. augmentation du prix des ressources fossiles avec leur raréfaction) ou du prix du carbone (e.g. future taxe carbone) et permet ainsi d'être moins vulnérable. Les démarches vont aussi permettre de restructurer le système énergétique de l'organisation pour baisser sa vulnérabilité vis-à-vis des évolutions imposées par les évolutions énergétiques dans le cadre législatif et obligatoire (anticipation et choix des solutions en accord avec les politiques globales).

Le management de l'énergie permet aussi des bénéfices non-financiers qui sont directement liés à la volonté d'améliorer sa performance énergétique. L'organisation possède, *in fine*, une meilleure connaissance de sa structure et de ses consommations énergétiques, elle surveille ses consommations énergétiques grâce à la mise en place des IPE. L'élaboration des objectifs, des cibles et des plans d'action permet de hiérarchiser ses actions et est parfois déclencheur d'innovation et de réorientation des secteurs étudiés.

### 1/1.2.3. Les difficultés

Les difficultés rencontrées sont principalement liées à la mise en place d'un processus de management. Il faut que les salariés disposent d'un temps nécessaire et suffisant pour traiter leurs nouvelles tâches, qu'il s'agisse du groupe de travail dédié au management de l'énergie ou des autres salariés qui devront aussi être parties prenantes de la démarche (participer à l'étude du système au départ puis au suivi des indicateurs et des consommations pour alimenter la revue énergétique).

Une autre difficulté liée à la précédente est la formation du personnel pour acquérir les réflexes et les connaissances pour le bon suivi des performances énergétiques. Cette limite dans la formation peut amener des difficultés à bien formuler les objectifs, les cibles et les problèmes à résoudre, à construire des plans d'action adaptés et à formaliser des méthodes de vérification de l'amélioration de la performance énergétique.

Des difficultés techniques peuvent aussi être rencontrées ; les problèmes liés à la vétusté des bâtiments ou des installations demandent une étude supplémentaire et une réflexion plus poussée. Sur un parc de bâtiment ancien, par exemple, il est intéressant de se poser la question du choix entre la rénovation et la reconstruction à neuf. Il est aussi possible de constater, *a posteriori*, des oublis dans la description du système énergétique et dans la comptabilisation des consommations d'énergie.

Face à la quantité d'informations nécessaires pour mettre en place un management de l'énergie, d'autres ressources peuvent être utilisées pour mobiliser des connaissances ou récupérer des données directement exploitables pour la planification énergétique. Une exploration de la problématique des bilans des émissions de GES (BEGES) s'avère pertinente car une partie de ces bilans concerne les émissions liées aux consommations d'énergie.

## 1/2. Le BEGES

Après l'explication du lien entre énergie et GES, nous décrivons ci-dessous plus en détail l'approche BEGES, avant d'en pointer les limites.

### 1/2.1. Articulation entre énergie et GES

On a vu précédemment qu'au-delà de l'aspect énergétique, les entreprises sont amenées volontairement ou obligatoirement à devoir comptabiliser et réduire leurs émissions de GES (Lois Grenelle). Les bilans énergétiques et GES sont le plus souvent liés : quand on agit sur l'un, on agit sur l'autre. En effet, lorsque que l'on diminue ses consommations énergétiques (à système énergétique constant) on obtient aussi une baisse des émissions de GES. De la même manière, en se concentrant sur la réduction des émissions de GES on obtient le plus souvent une baisse des consommations énergétiques (hors activités émettrices de GES sans processus énergétique).

On peut donc faire l'hypothèse qu'associer une planification de diminution des GES avec la planification énergétique « classique » va aider à améliorer la recherche et le suivi des données importantes pour l'organisation. De plus, les données d'activité nécessaires pour la revue des activités GES englobent les données d'activités énergétiques : la démarche GES va obtenir une analyse plus fine et une meilleure compréhension du système global de l'entreprise. Une démarche similaire à l'ISO 50001 et au SME, le système de management GES (SM-GES) est une possibilité pour commencer à mettre en place le traitement de la problématique de management des émissions de GES (Association Bilan Carbone, 2015).

Le SM-GES se base de la même manière sur une démarche PDCA d'amélioration continue ; il s'intègre donc naturellement avec les autres systèmes de management (environnemental, de l'énergie ou de la qualité). Cette démarche est cohérente avec l'outil Bilan Carbone® et exploite les informations récupérées en réalisant le BEGES.

De la même manière que le SME, les objectifs du SM-GES sont

- La comptabilisation de l'ensemble des émissions de GES de l'organisme,

## CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation

- Le suivi de l'évolution des émissions avec le suivi d'indicateur GES,
- L'efficacité de la gestion des émissions visant la réduction de ces émissions en mettant en œuvre des plans d'actions.

Une des entrées possibles pour définir des IPE pour une organisation est de réaliser dans un premier temps son BEGES qui va constituer une base solide fournissant des données sur les secteurs d'activités émettant des GES et sur les secteurs d'activités consommateurs d'énergie. Les données d'activité nécessaires dans l'élaboration de ce bilan seront des IPE à suivre pour l'entreprise. Cette première étude donnera aussi une première classification sur l'ordre d'importance de ces facteurs (suivant sa valeur élevée, les risques pour l'entreprise etc.).

### 1/2.2. Présentation de l'approche BEGES

#### 1/2.2.1. Législation, principes et objectifs

L'article 75 de la loi Grenelle 2 prévoit la généralisation des BEGES avec pour objectif de réaliser un diagnostic des émissions de GES des acteurs publics et privés (Legifrance, 2010b). Cette généralisation a pour but d'arriver à quantifier les émissions de GES pour avoir une base de travail afin de trouver des pistes et des solutions pour réduire ces émissions des GES à travers des plans d'action. Elle impose la réalisation d'un BEGES pour :

- Les personnes morales de droit privé employant plus de 500 personnes (250 personnes pour les régions et départements d'outre-mer),
- Les collectivités territoriales de plus de 50000 habitants,
- Les établissements publics de plus de 250 personnes.

Ce bilan doit être rendu public avant le 31 décembre 2012, mis à jour tous les 3 ans mais ne prévoit pas de sanction pour les obligés n'ayant pas réalisé leur rapport. Le décret n°2015-1738 du 24 décembre 2015 (entré en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2016) modifie la fréquence des BEGES et introduit une sanction pour le non-respect de l'obligation (Legifrance, 2015b). La périodicité du rapport pour les personnes morales de droit privé de plus de 500 personnes (250 pour l'outre-mer) passe de 3 à 4 ans. Ce changement permet de correspondre à la périodicité des audits énergétiques

obligatoires. Les autres obligés (Etat, collectivités et établissements publics) restent sur une périodicité de 3 ans. Une sanction (amende de 1500€) peut maintenant être appliquée pour les organisations qui ne respectent pas les obligations. Néanmoins le décret ne fixe pas de nouvelle date butoir mais précise que « lorsqu'un manquement a été constaté, le préfet met en demeure l'auteur de ce manquement de satisfaire à son obligation dans un délai qu'il détermine ». A la fin de ce délai, il peut ordonner le paiement de l'amende.

Le décret n°2011-829 du 11 juillet 2011 (Legifrance, 2011) présente le BEGES comme apte à fournir « une évaluation du volume d'émissions de GES produit par les activités exercées par la personne morale sur le territoire national au cours d'une année. Le volume à évaluer est celui produit au cours de l'année précédant celle où le bilan est établi ou mis à jour ou, à défaut de données disponibles, au cours de la pénultième année. Les émissions sont exprimées en équivalent de tonnes de dioxyde de carbone » (Art. R. 229-47).

Les principes à respecter pour une étude BEGES, d'après l'ISO 14064-1 (Organisation internationale de normalisation, 2006), sont :

- La pertinence (sélectionner les sources, les données et méthodologies en fonction des besoins de l'utilisateur),
- La complétude (inclure toutes les émissions des GES pertinents),
- La cohérence (permettre des comparaisons significatives des informations relatives aux GES),
- L'exactitude (réduire les biais et les incertitudes),
- La transparence (publier des informations suffisantes et fiables pour exploiter le bilan et prendre des décisions pour les utilisateurs cibles).

Les objectifs du diagnostic BEGES sont :

- D'évaluer les émissions de GES générées par toutes les activités de la personne morale pour évaluer son impact en matière d'effet de serre.
- De hiérarchiser le poids de ces émissions en fonction des activités et des sources.
- D'apprécier la dépendance des activités de la personne morale à la consommation des énergies fossiles, principales sources d'émissions, et d'en déduire sa fragilité dans un contexte d'augmentation des prix de l'énergie.

## CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation

- De proposer des plans d'actions à court et moyen terme pour réduire ces émissions et diminuer la vulnérabilité économique de la personne morale.

### 1/2.2.2. Méthodes et outils

Il existe plusieurs méthodologies pour réaliser son BEGES :

- Méthode Ministère

La méthode, proposée par le Ministère de la Transition écologique et solidaire, pour la réalisation des BEGES constitue une base méthodologie à l'élaboration des bilans GES (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2016). Elle est conforme à l'article L. 229-25 du code de l'environnement (Legifrance, 2010c) et s'inspire de la norme ISO 14064-1 qui propose les spécifications et les lignes directrices, au niveau des organisations, pour la quantification et la déclaration des émissions et des suppressions de GES. Elle propose une méthode et des exemples pour réaliser un BEGES mais ne propose pas d'outils pour aider la réalisation de ce bilan. Elle donne le cadre législatif à respecter en France et indique le format de restitution à respecter avec les informations nécessaires à fournir dans le rapport à transmettre à l'ADEME (via le site [www.bilans-ges.ademe.fr](http://www.bilans-ges.ademe.fr)).

- Méthode Bilan Carbone<sup>®</sup>

La base méthodologique du ministère est complétée avec la méthode Bilan Carbone<sup>®</sup> : créé en France par l'ADEME et publiée en 2004 (aujourd'hui reprise par l'Association Bilan Carbone). Le Bilan Carbone<sup>®</sup> propose une méthodologie pour réaliser son BEGES (qui est compatible au format de restitution nationale et avec l'ISO 14064) et des outils pour aider à la réalisation (tableur Bilan Carbone<sup>®</sup>) (ADEME, 2010).

- GHG Protocol

En 1998, le World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) et le World Resources Institute (WRI) ont développé, en partenariat avec des entreprises,

des ONG et des représentants d'états, une méthode de comptabilisation et de déclaration des émissions de GES pour les entreprises : le GHG Protocol « A Corporate Accounting and Reporting Standard » (Greenhouse Gas Protocol, 2004). Ce protocole, largement diffusé à l'international, a servi de base à l'élaboration de l'ISO 14064-1. En septembre 2011, le GHG Protocol a été complété du « Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard » qui précise notamment les postes potentiels d'émissions indirectes de GES d'une organisation (Greenhouse Gas Protocol, 2011).

- PAS 2050

La PAS 2050 est une méthode (développée en 2008 et révisée en 2011) préparée par le BSI British Standards et sponsorisée par le Carbon Trust et le Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs). Elle a été développée pour aider les organisations à évaluer leur empreinte carbone. Elle permet d'évaluer les émissions de GES en se basant sur le cycle de vie complet des activités, des biens et des services, ceci en proposant un cadre cohérent valable pour tout produit et toute organisation quelle que soit sa taille et sa situation géographique (BSI et al., 2011).

Ce qui différencie ces méthodes est principalement le format de restitution des données selon les modalités établies par les organismes cités. Cependant on peut remarquer que la méthode Bilan Carbone<sup>®</sup> propose via son outil (feuille de calcul sur tableur) une extraction suivant le format de restitution GHG Protocol, du ministère ou encore de l'ISO 14069 (Organisation internationale de normalisation, 2013). Outre ces formats de restitution, on peut constater que le GHG Protocol ne propose pas, contrairement au Bilan Carbone<sup>®</sup>, un guide des facteurs d'émission, un outil intégré avec les facteurs d'émission les plus utilisés déjà remplis ou encore une prise en compte de l'incertitude directement intégrée dans le modèle du calcul des émissions. Le GHG Protocol propose essentiellement des principes de comptabilisations quand

## CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation

le Bilan Carbone<sup>®</sup> les complète avec des feuilles de calcul et une base de données (Base Carbone<sup>®</sup>), permettant le calcul pratique des émissions de GES dans un temps raisonnable pour une utilisation par une entreprise (via une formation préliminaire).

Le PAS 2050 propose un cadre cohérent avec le GHG Protocol pour la quantification de l'empreinte carbone (chacun s'est développé en intégrant les avancés de l'autre). Des différences restent visibles sur l'orientation prise par les deux standards : le PAS 2050 inclut des exigences pour établir un bilan de suivi des empreintes écologiques tandis que le GHG Protocol inclut des exigences pour l'élaboration de rapports publics d'inventaire de GES.

### 1/2.2.3. La démarche détaillée d'un BEGES

#### 1/2.2.3.1. Cadre général

Pour évaluer les émissions de GES, la méthode Bilan Carbone<sup>®</sup> de l'ADEME est compatible avec la démarche BEGES proposée par le ministère et propose en plus un outil opérationnel (qui est utilisé par EDF/ESSE dans ses prestations BEGES). Le BEGES contient le bilan des émissions de GES mais aussi un plan d'action dont le but est de proposer différentes solutions pour diminuer les émissions de GES. Pour commencer, on se propose de décrire quelques points spécifiques de la démarche pour réaliser un BEGES en prenant comme base les étapes clés proposées par la méthode du ministère synthétisée sur la Figure 1-5.

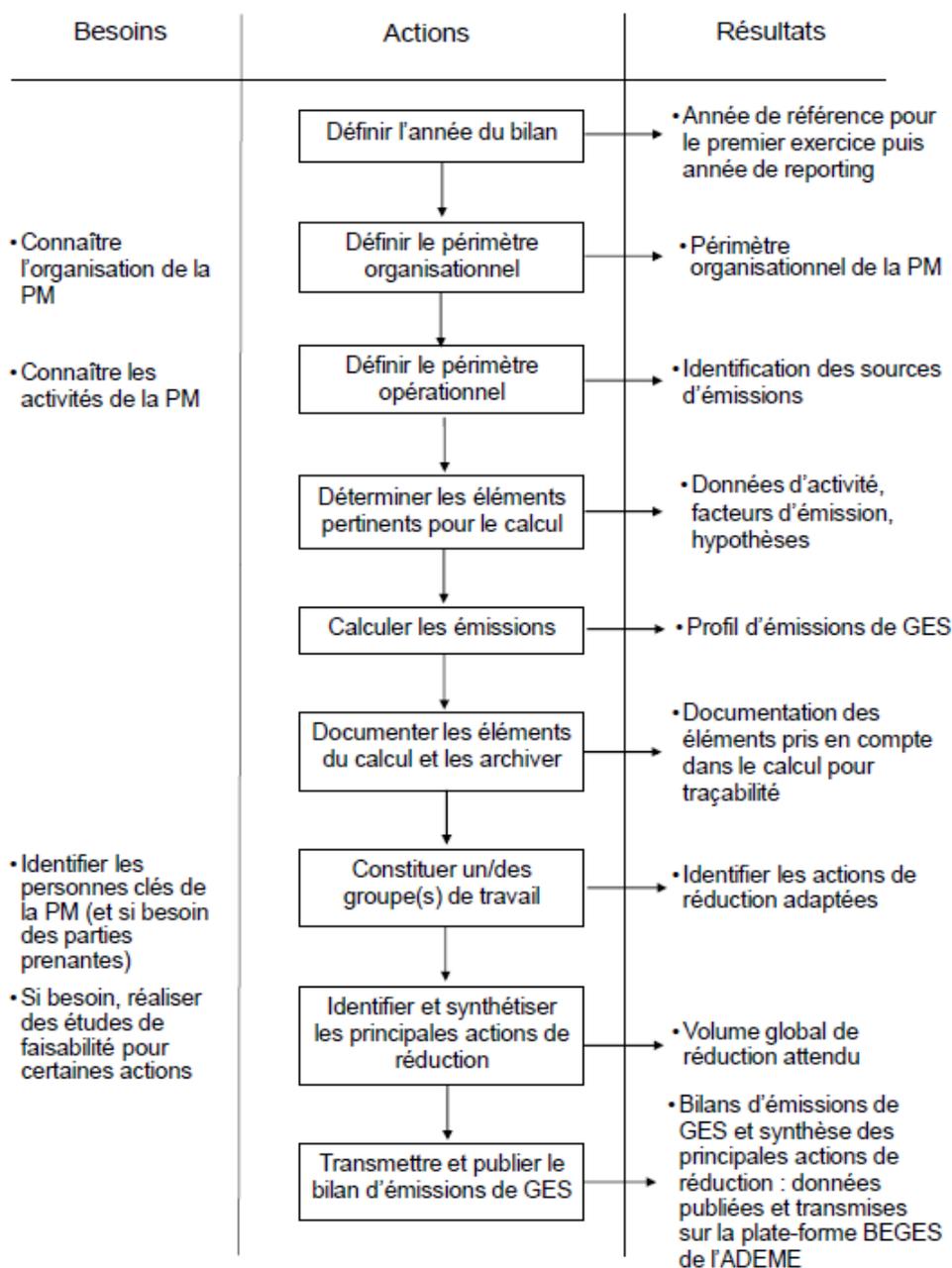


Figure 1–5 : Etapes clés de la réalisation d'un BEGES et du plan d'actions associé, source : (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2016) (p12)

La personne morale (PM) doit définir les périmètres de l'étude à une date donnée (année d'étude). Les périmètres à définir sont le périmètre **organisationnel** et le périmètre **opérationnel** constitués à partir des structures et activités de la PM ainsi que des opérations générant des émissions de GES.

## CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation

Le périmètre organisationnel varie selon la complexité de la structure de la personne morale (plusieurs établissements, plusieurs bâtiments ...). La comptabilisation de l'ensemble des établissements concernés ayant des activités émettrices de GES constitue la définition **du périmètre organisationnel** c'est-à-dire répondant à la question « Quels sont les biens et activités concernés par le BEGES ? » (p13).

D'après la norme ISO 14064-1, deux modes de consolidations existent :

- L'approche « part du capital » : l'organisation consolide les émissions des biens et activités à hauteur de sa prise de participation dans ces derniers.
- L'approche « contrôle » :
  - o Financier : l'organisation consolide 100% des émissions des installations pour lesquelles elle exerce un contrôle financier,
  - o Opérationnel : l'organisation consolide 100% des émissions des installations pour lesquelles elle exerce un contrôle opérationnel (c'est-à-dire qu'elle exploite).

La méthode du ministère retient l'approche « contrôle », « restreinte [...] aux seuls établissements identifiés sous le numéro SIREN de la personne morale devant réaliser son bilan des émissions GES. Ainsi le périmètre organisationnel de cette personne morale intègre, pour la totalité des établissements identifiés sous son numéro SIREN l'ensemble des biens et des activités qu'elle contrôle, et les émissions associées devront ainsi être consolidées » (p13). La personne morale précisera ensuite le mode de contrôle retenu, qui est à choisir en fonction de l'objectif recherché dans la réalisation de son BEGES. « La consolidation par le contrôle opérationnel facilite l'établissement du plan d'actions en prenant en compte l'intégralité des émissions générées par les biens et activités exploités par la personne morale et sur lesquelles il lui est possible d'agir » (p14). *A contrario*, la consolidation par le contrôle financier peut inclure des émissions où il sera difficile d'agir et de trouver des actions de réduction.

Une fois le périmètre organisationnel déterminé, la personne morale doit définir **ses périmètres opérationnels** *i.e.* répondre à la question « Quelles sont les opérations générant des émissions au sein du périmètre organisationnel ? » (p15). Il s'agit de définir toutes les activités générant des émissions de GES.

### 1/2.2.3.2. Les données d'émissions

Il existe différentes méthodes pour évaluer les émissions de GES : par le calcul, par les mesures ou par un mélange des deux. La méthode la plus répandue est la méthode par le calcul. La mesure directe des émissions de GES n'est que rarement accessible et est difficile à mettre en place (mise en œuvre et coût). Pour pouvoir évaluer les émissions par le calcul, il faut disposer d'information sur les données d'activités, les pouvoirs de réchauffement globaux (PRG) et les facteurs d'émissions (FE) liées aux émissions de GES que l'on veut évaluer.

Les données d'activités peuvent être soit directement disponibles, soit estimées à partir de données indirectes et se déclinent en quatre catégories. Ces données peuvent prendre des formes diverses et variées comme des kWh, des tonnes ou des litres etc.

Types de données	Description
<b>Données primaires</b>	Données observées, prélevées directement à partir des informations disponibles liées à la PM
<b>Données secondaires</b>	Données génériques ou moyennes provenant de sources publiées, qui sont représentatives des activités de la PM
<b>Données extrapolées</b>	Données primaires ou secondaires liées à une activité similaire qui sont adaptées à une nouvelle situation
<b>Données approchées</b>	Données primaires ou secondaires liées à une activité semblable qui peut être directement utilisée en lieu et place de données représentatives

Tableau 1-1 : Types de données d'activités

Ces données de base permettent de calculer les émissions de GES par la formule suivante :

$$\begin{aligned} \text{Emissions de GES} \\ = \text{Donnée d'activité} * FE * PRG \end{aligned}$$

où les émissions sont exprimées en tCO<sub>2eq</sub>

## CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation

Pour cela, il faut connaître le FE lié à la donnée d'activité et le PRG des GES émis par l'activité. Les FE permettent de convertir une donnée d'activité en quantité de GES. Les principaux FE sont disponibles dans la Base Carbone<sup>®</sup> de l'ADEME. Si d'autres facteurs sont utilisés, ils doivent être expliqués et justifiés. Ces facteurs d'émissions peuvent être :

- construits avec plusieurs facteurs de la base connue (e.g. ensemble de matière première),
- cherchés dans une autre base, source etc.,
- évalués avec une analyse de cycle de vie,
- cherchés dans un BEGES portant sur le secteur d'activité concerné.

Le PRG est le facteur qui permet de regrouper en une seule valeur l'effet additionné des émissions des différents GES comptabilisés. Ce facteur exprime pour chaque GES son potentiel de réchauffement climatique sur une base de 100 ans (pour tenir compte de sa durée de vie dans l'atmosphère). Pour les GES les plus utilisés, le PRG du CO<sub>2</sub> est de 1 par définition, celui du N<sub>2</sub>O sera de 265 et celui du CH<sub>4</sub> de 30 (GIEC, 2013). Les PRG des différents GES sont publiés par le GIEC et sont ceux à utiliser par la personne morale (PM).

Pendant cette étape, la PM devra aussi présenter des éléments d'appréciation de l'incertitude sur les principaux postes émetteurs de GES. L'incertitude devra être évaluée pour le FE et pour les données d'activités (l'évaluation de l'incertitude des émissions peut être réalisée avec le tableur Bilan Carbone<sup>®</sup>)<sup>3</sup>.

À la fin de cette étape, nous disposons d'une liste des sources d'émissions de GES de la personne morale. Pour chaque catégorie, il est possible de distinguer plusieurs postes d'émissions. Après avoir répertorié les postes d'émissions de la personne morale, il faut détailler toutes les sources d'émissions apparaissant dans chaque poste. Chaque source d'émission va devoir être comptabilisée en relevant les données pertinentes pour le calcul.

---

<sup>3</sup> Nous reviendrons de manière plus approfondie dans les chapitres suivants sur les différentes dimensions liées à la prise en compte de l'incertitude.

#### 1/2.2.3.3. Calcul des émissions de GES

Les émissions de GES sont calculées à partir des données d'activités et des facteurs d'émission consolidés précédemment. En appliquant les règles de calcul précédentes et en utilisant le support des tableurs de la méthode Bilan Carbone® nous pouvons alors évaluer les émissions de GES de la PM. Durant cette étape, il s'agit aussi de consolider une incertitude globale sur les émissions des GES de la personne morale.

#### 1/2.2.3.4. Le plan d'actions

La PM doit établir un plan d'action pour réduire ses émissions de GES. Le plan d'action synthétise les principales actions de réductions que la PM peut mettre en œuvre. Ce plan d'action doit décrire les solutions envisagées pour réduire les émissions de GES et ces émissions doivent être accompagnées d'une évaluation des réductions de GES quelles vont engendrer. Les postes à traiter en priorité sont les postes les plus émetteurs de la PM ainsi que les postes où les solutions sont les plus faciles et/ou économiques à réaliser.

#### 1/2.2.4. Catégories d'émissions : Les « Scopes » du BEGES

Par définition, le but du bilan est de comptabiliser l'ensemble des émissions de la personne morale.

Les émissions à prendre en compte sont celles des GES référencés par le protocole de Kyoto et ceux de l'article R. 229-45 du code de l'environnement c'est à dire :

- Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)
- Le méthane (CH<sub>4</sub>)
- Le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O)
- Les hydrofluorocarbures (HFC)
- Les perfluorocarbures (PFC)
- L'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>)

De plus l'arrêté de 25 janvier 2016 introduit la comptabilisation du trifluorure d'azote (NF<sub>3</sub>) dans la liste des GES visés à l'article R. 229-45 du code de l'environnement.

## CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation

Cette liste de GES est celle qui doit être utilisée dans les BEGES rendus à partir du 1<sup>er</sup> juillet 2016 (Legifrance, 2016b).

Les émissions sont classées selon trois catégories :

- **Scope 1** : Les émissions directes, produites par les sources, fixes et mobiles, nécessaires aux activités de la personne morale.
- **Scope 2** : Les émissions indirectes associées à la consommation d'électricité, de chaleur ou de vapeur nécessaires aux activités de la personne morale.
- **Scope 3** : Les autres émissions indirectes produites par les activités de la personne morale.

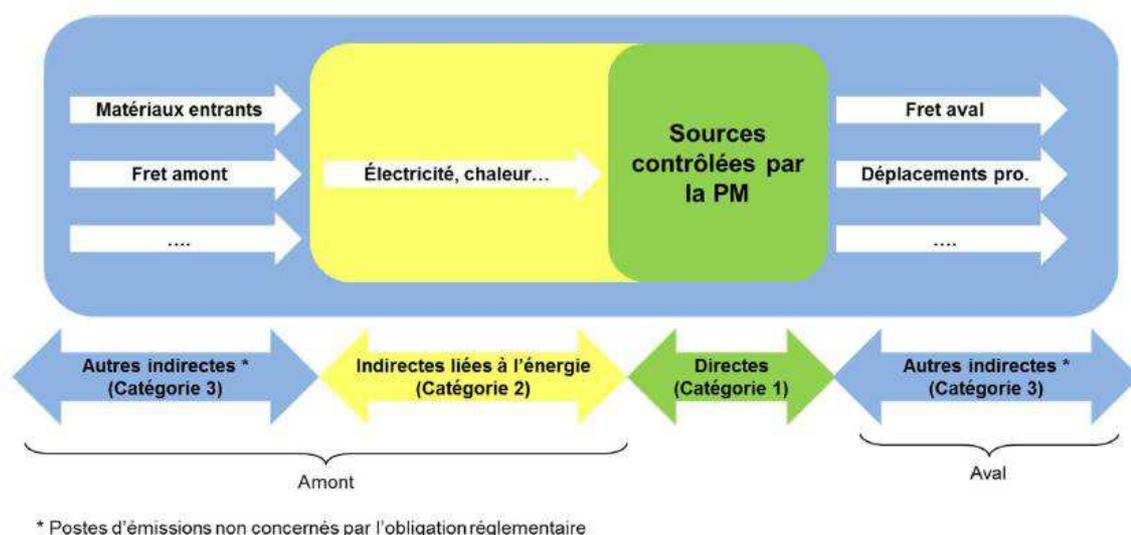


Figure 1–6 : Les différents scopes (catégories) et les différentes sources liées aux activités d'une organisation, source (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2016) (p16)

Seuls les scopes 1 et 2 font partie de l'obligation réglementaire. Le scope 3 n'est pour l'instant pas obligatoire.

Catégories d'émissions	N°	Postes d'émissions	Exemple de sources d'émissions
Emissions directes de GES Scope 1	1	Emissions directes des sources fixes de combustion	Combustion d'énergie de sources fixes
	2	Emissions directes des sources mobiles à moteur thermique	Combustion de carburant des sources mobiles
	3	Emissions directes des procédés hors énergie	Procédés industriels non liées à une combustion pouvant provenir de décarbonation, de réactions chimiques etc.
	4	Emissions directes fugitives	Fuites de fluides frigorigènes, bétail, fertilisation azotée, traitement de déchets organiques, etc.
	5	Emissions de la biomasse (sols et forêts)	Biomasse liée aux activités sur le sol, les zones humides ou l'exploitation des forêts
Emissions indirectes associées à l'énergie Scope 2	6	Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité	Consommation d'un appareil électrique
	7	Emissions indirectes liées à la consommation de vapeur, chaleur ou froid	Consommation de chaleur d'un réseau
Autres émissions indirectes de GES Scope 3	8	Emissions liées à l'énergie non incluse dans les postes 1 à 7	Extraction, production, raffinage et transport des combustibles consommés par la PM
			Extraction, production et transport des combustibles consommés lors de la production d'électricité, de vapeur, de chaleur et de froid par la PM
	9	Achats de produits ou de services	Extraction et production des intrants matériels et immatériels de la PM qui ne sont pas inclus dans les autres postes. Sous-traitance
	10	Immobilisations de biens	Extraction et production des biens corporels et incorporels immobilisés par la PM
	11	Déchets	Transport et traitement des déchets de la PM
	12	Transport de marchandise amont	Transport de marchandises dont le coût est supporté par la PM
	13	Déplacements professionnels	Transports des employés par des moyens n'appartenant pas à la PM
	14	Actifs en leasing amont	Actifs en leasing tel que les consommations d'énergie et la fabrication des équipements en tant que tel
	15	Investissements	Sources liées aux projets ou activités liées aux investissements financiers
	16	Transport des visiteurs et des clients	Consommation d'énergie liés au transport des visiteurs de la PM qu'ils soient clients, fournisseurs ou autres
	17	Transport de marchandise aval	Transport et distribution dont le coût n'est pas supporté par la PM
	18	Utilisation des produits vendus	Consommation d'énergie
	19	Fin de vie des produits vendus	Traitement de la fin de vie des produits
	20	Franchise aval	Consommation d'énergie des franchisés
	21	Leasing aval	Consommation d'énergie des actifs en bail
	22	Déplacement domicile travail	Déplacement domicile-travail et télétravail
	23	Autres émissions indirectes	Emissions indirectes non couvertes par les postes précédemment cités dans les catégories 7 à 23

Tableau 1-2 : Sources d'émissions d'une organisation suivant les postes et catégories d'émissions

## CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation

La question de la comptabilisation totale des émissions pour le scope 3 est plus délicate que pour les scopes 1&2 pour plusieurs raisons. En effet, dans l'idéal, toutes les sources d'émissions doivent être comptabilisées, mais ce n'est malheureusement pas toujours possible. Le scope 3 regroupe toutes les émissions indirectes de la personne morale ; ce champ d'investigation est souvent à lui seul beaucoup plus grand que celui des scopes 1&2 réunis. L'accès aux données nécessaires au calcul des émissions est plus compliqué et plus long voire même parfois impossible.

Il est à ce jour encore facultatif de réaliser le bilan du scope 3. Cependant le fait de ne pas comptabiliser les émissions du scope 3, qui représentent de manière générale 75% des émissions des entreprises (ADEME, n.d.), peut donner une image très partielle des sources d'émission. Pour simplifier la consolidation du scope 3, il est possible, dans un premier temps, de réaliser un scope 3 restreint en choisissant seulement de comptabiliser les sources faciles, importantes et/ou pertinentes pour la personne morale. Il faut toutefois être attentif à ne pas négliger et passer à côté de sources permettant l'identification de leviers d'action entraînant de possibles réductions d'émissions de GES : il faudra en priorité rassembler les données sur les postes supposés les plus importants (utilisation de la comptabilité pour la première approche) et ceux où les solutions vont pouvoir entraîner des réductions visibles (recherche de la performance).

La pertinence des émissions à traiter peut être évaluée avec quatre critères :

- L'importance en termes d'émissions,
- Le potentiel de réduction,
- Le risque pour la PM,
- La facilité de traitement.

Tout d'abord le critère de l'importance en termes d'émissions. Les postes représentant un grand volume de GES sont évidemment à comptabiliser. Ils auront un grand impact dans le bilan et le moindre effort réalisé pour diminuer les émissions de GES sur ce poste aura un impact significatif sur le bilan. La deuxième catégorie de postes à prendre en compte est constituée des postes pour lesquels le potentiel de réduction est important et pour lesquels la personne morale a la possibilité d'agir

(levier d'action). A l'inverse, les postes sur lesquels la personne morale n'a aucune possibilité d'action pourront être sortis du bilan. La troisième catégorie de postes représente les postes sur lesquels la personne morale porte une attention particulière. Les postes avec un facteur risque important pour la personne morale sont à comptabiliser. Ce risque peut prendre plusieurs formes : stratégique, financier, tactique, opérationnel ou réputationnel etc. La dernière catégorie est constituée des postes faciles à traiter, pour lesquels les informations nécessaires à l'établissement du bilan sont directement accessibles (ou facilement accessibles) et qui demandent donc peu de temps et de moyens de traitement.

Pour le premier bilan, on pourra utiliser des approches simplifiées pour calculer les émissions puis on améliorera la qualité de la collecte des données pour pouvoir affiner le bilan (méthode incrémentale). L'amélioration des données passera par l'engagement des partenaires et des parties prenantes dans le management GES.

### 1/2.3. Limites de l'approche BEGES

Nous pouvons constater que la démarche du BEGES est relativement bien structurée. Le calcul des émissions est particulièrement bien outillé (tableur Bilan Carbone<sup>®</sup>), les données à consolider bien décrites, et le FE disponible pour la plupart. Toutefois la limite forte du BEGES en général et de la méthode Bilan Carbone<sup>®</sup> en particulier est l'absence constatée d'une méthodologie pour établir un plan d'actions. Cette partie indispensable pour la partie réglementaire est laissée à l'appréciation de l'expert réalisant le bilan. Le plan d'actions est construit avec la personne morale en l'orientant vers des actions qu'elle peut réaliser d'une part, et limitée aux connaissances de l'expert d'autre part. Ainsi comme le plan d'actions est basé sur l'expérience de l'expert réalisant l'étude, les solutions sont le plus souvent limitées à des solutions classiques à court ou moyen terme se situant dans le domaine de compétence de l'expert. En effet, le plan d'actions est essentiellement construit en se basant sur l'expertise propre de celui ou ceux qui ont réalisé le BEGES en matière de solutions d'économie d'énergie. Ces solutions sont donc des solutions classiques dont la mise en œuvre est maîtrisée par l'expert pour les domaines touchant à

## CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation

l'énergie (e.g. combustion des sources fixes) ou des solutions « simples » pour les domaines transverses à l'énergie (e.g. les transports, l'agriculture).

La possibilité de proposer des solutions à plus long terme nécessite de mettre en place une méthodologie proposant une démarche pour inclure ce plan d'actions dans un processus plus large de planification énergétique. Par ailleurs, l'organisation, si elle n'est pas experte de ces solutions, se trouve dans la situation où elle doit avoir une entière confiance dans le plan d'actions. Rien *a priori*, en tout cas dans la démarche du BEGES, ne lui permet de vérifier la cohérence du plan d'actions par rapport aux mesures faites dans la phase amont de la méthode (on lui indique juste un potentiel de réduction d'émissions de GES par poste, jugeant de la future performance des solutions).

D'un point de vue opérationnel, si l'on se place du point de vue de l'expert BEGES (ce qui est le cas pour ESSE dans le cadre de la thèse), la réalisation du BEGES réglementaire ne pose pas de souci en particulier. Les informations sont le plus souvent disponibles ou ne nécessitent que quelques hypothèses simplificatrices pour obtenir des données moins précises mais suffisantes pour réaliser une estimation exploitable des émissions de GES (en accompagnant cette estimation d'une évaluation précise de l'incertitude). Les informations à consolider pour le scope 3 sont plus difficiles à rassembler. Cette partie comptabilise les émissions indirectes, les informations sont donc parfois à rechercher à l'extérieur du périmètre maîtrisé par la personne morale (contacter des clients, des prestataires, des fournisseurs etc.). De plus, ces informations ne sont parfois pas disponibles en externe et demandent le cas échéant des hypothèses importantes pour estimer les émissions de GES qui seront accompagnées d'incertitudes élevées.

## 1/3. Conclusion du chapitre 1

Par rapport à la problématique générale de notre travail de recherche, ce premier chapitre nous a conduits à formuler deux conclusions générales et à pointer cinq limites méthodologiques.

Les conclusions générales (CG) sont :

- Travaillant sur la question depuis de nombreuses années, différents groupes d'experts ont alimenté les réflexions politiques générales à différentes échelles géographiques posant ainsi un cadre objectif clair, même s'il n'est à ce jour pas (pas encore ?) assez contraignant pour les organisations en général.
- Du point de vue opérationnel, l'organisation souhaitant s'engager dans un processus de sobriété énergétique, les ressources de cadrage existent : ISO 50001 (Energie) – ISO 14064 (GES) – ISO 14069 (GES). Dans ces cadres les démarches sont explicitées et certains outils ont été développés (e.g. le Bilan Carbone® de l'Ademe avec son tableur) permettant une quantification objective de mesure.

Les hypothèses méthodologiques (HM) sont :

- A l'échelle d'une organisation, et de ses instances de direction, les questions liées à la sobriété énergétique restent des questions d'experts, sauf sur un volet : le volet financier (quels sont les investissements nécessaires ? quelles sont les économies possibles à réaliser ?). De ce fait, d'un point de vue méthodologique, il est indispensable d'articuler les propositions de plan d'actions avec une vision financière claire.
- Partant du même point de départ sur le fait d'un déficit d'expertise de l'organisation en matière énergétique, le plan d'actions se doit d'être le fruit d'une construction commune (entre expert et non-expert) ; il s'avère donc indispensable qu'il émane d'une démarche claire de conception.
- Au regard des échelles de temps du cadre général (horizon 2020 et 2050), le plan d'action se doit de projeter, dans l'idéal, l'organisation sur toutes les échelles de temps (y compris le long terme).
- S'appuyant exclusivement sur les capacités de l'expert, les démarches et les méthodologies n'intègrent pas explicitement la recherche de solutions innovantes pour alimenter le plan d'actions. Celles-ci n'apparaîtront que si l'expert lui-même est capable d'y accéder (par ses connaissances techniques ou ses propres démarches méthodologiques).

## CHAPITRE 1 Contexte de la planification énergétique à l'échelle d'une organisation

- Les dimensions liées à la prise en compte de l'incertitude, des acteurs ou des problématiques d'évolution notamment stratégiques de l'organisation ne sont que partiellement développées voire seulement implicitement présentes dans les démarches existantes. De ce fait, il n'est, d'une part, pas garanti qu'elles soient effectivement prises en comptes, et, d'autre part, qu'un accompagnement méthodologique soit formalisé dans les démarches. Ainsi nous faisons l'hypothèse que la prise en compte de ces éléments permet de concevoir des plans d'actions plus pertinents, plus performants et plus innovants pour les organisations. Nous faisons également l'hypothèse que les méthodes de conception inventives en particulier apportent des éléments méthodologiques pertinents pour la conception de plans d'actions énergétiques.



---

## CHAPITRE 2 APPORT DES DEMARCHES DE CONCEPTION

---

Le chapitre 1 nous a amené à la conclusion que la planification énergétique et les systèmes de management de l'énergie à l'échelle d'une organisation souffrent d'un déficit en termes de démarche de conception. De ce fait, le chapitre 2 vise à explorer l'existant de « l'engineering design », avec pour objectif de déterminer les aspects de ces démarches de conception que nous pourrions mobiliser dans une démarche de conception de plan énergétique (Figure 2–1).

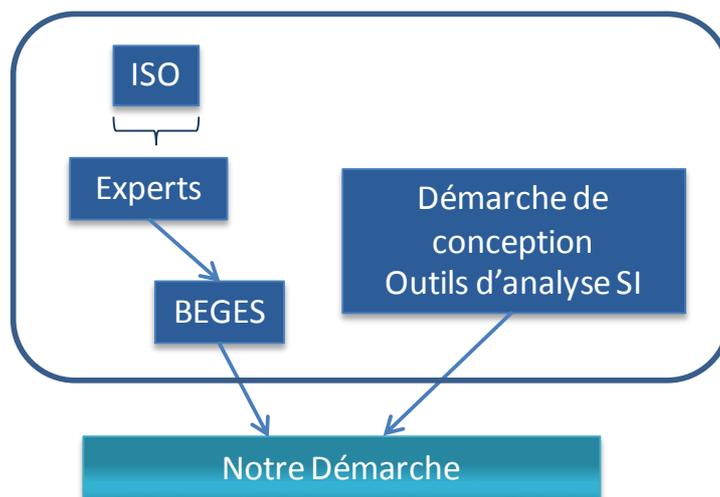


Figure 2–1 : Deuxième ressource pour notre démarche

La conception est appréhendée par les sciences de l'ingénieur comme un processus de résolution des problèmes. Dans les entreprises, le besoin d'innover est essentiel, c'est dans ce cadre que le processus de conception innovante est utilisé pour définir les caractéristiques d'un produit futur. Cependant la conception n'est pas une activité cognitive réservée aux ingénieurs, la conception est une activité en termes de structure cognitive et non pas de structure professionnelle (Simon, 1969; Visser, 2009). Elle nécessite de ce fait la mobilisation d'un grand nombre d'acteurs différents.

(Simon, 1973, 1969) propose ainsi la vision de la conception comme une activité cognitive. Il définit le processus de conception comme un processus initié par la formulation d'un problème spécifique, qui se poursuit par la résolution du problème, et se finit par la mise en place d'une solution satisfaisante. Pour résoudre un problème, (Simon, 1973, 1969) propose une méthode en deux étapes : d'abord, la plus difficile, la formulation et surtout la structuration du problème puis ensuite la résolution de ce problème bien structuré. De nombreux auteurs ont adopté cette vue en 2 étapes (construction du problème et élaboration des solutions) ; certains y ajoutent une autre étape : l'évaluation des solutions (Visser, 2009). On peut déjà proposer à ce niveau de rajouter une quatrième étape au processus de conception qui en est la finalité : la phase d'implémentation des solutions retenues pour résoudre le problème formulé. Ces activités s'inscrivant dans le temps, elles vont devoir faire face à une certaine incertitude.

(Visser, 2009) propose une autre construction de la conception basée sur la construction de représentations. La conception consiste à « spécifier un artefact (l'artefact produit), à partir de spécifications de départ qui indiquent – en général de façon ni explicite, ni exhaustive – les fonctions à remplir par l'artefact, ainsi que les besoins et buts qu'il doit satisfaire, étant donné certaines conditions (exprimées par des contraintes) ». Pour résumer, « l'activité de conception consiste en la transformation d'une représentation en une autre, où les deux sont de nature différente, mais représentent le « même » artefact. » (p70) (Visser, 2009).

Par la suite, nous nous focaliserons sur trois dimensions importantes et incontournables dans les démarches de conception : la notion de problème et de structuration de problème, l'incertitude et le rôle des acteurs. Nous concluons en identifiant les hypothèses méthodologiques qui nous permettront de développer une méthode de conception de plan énergétique pertinente à l'échelle d'une organisation.

## **2/1. Structuration de problème**

Abordant la démarche de conception comme un processus de résolution de problème, il nous paraît fondamental de nous arrêter sur la notion de problème et de structuration de problème. Dans un premier temps nous définirons la notion de problème, puis insisterons sur l'importance de la formulation du problème. Dans un deuxième temps, nous aborderons la notion de problème structuré. Enfin dans un troisième temps, nous focaliserons notre attention sur les modèles de structuration des problèmes.

### **2/1.1. La notion de problème**

On peut définir un problème comme une situation particulière faisant apparaître une caractéristique fondamentale : l'inconfort ou l'insatisfaction d'un agent (Gartiser and Dubois, 2005). L'émergence d'un problème arrive lorsque l'on se trouve dans une situation problématique dite préoccupante, au contraire de la situation problématique dite banale et qui ne constitue pas un problème. Ces dernières situations sont sans intérêts, ne réclament pas une attention particulière, ont été anticipées ou sont sans surprise, en particulier parce que les effets sont connus. Les situations préoccupantes peuvent être classées en deux catégories : les situations contrôlables et non contrôlables. La différence entre les deux types de situations est le pouvoir d'intervention de l'opérateur qui repose sur sa capacité à mobiliser des ressources pour agir sur les situations en vue de les modifier (Landry, 1995; Landry and Banville, 2002). Lorsque l'on est dans une situation où un problème peut émerger, il faut arriver ensuite à bien le formuler. Un problème va émerger et ainsi va pouvoir être formulé dans les situations contrôlables pour lesquelles un pouvoir d'intervention et une volonté d'action existent, et qui nécessitent un processus de réflexion pour les résoudre. Pour formuler un problème correctement, il faut tout d'abord au moins arriver à éviter l'erreur de type III au sens de la typologie des erreurs proposée par (Raiffa, 1973) à savoir ne pas résoudre le bon problème. Le problème formulé peut ne pas contenir le véritable problème et donc déboucher sur une solution qui ne

résout pas la situation problématique. De plus, résoudre des « faux problèmes » fait perdre du temps et des ressources car on ne s'aperçoit de l'erreur de formulation que lors de l'évaluation de la solution dudit problème.

Pour éviter les erreurs de formulation, il est important de bien connaître le contexte, les personnes (parties prenantes) et les ressources pour appréhender la situation problématique du mieux possible. Pour (Landry and Banville, 2002) une formulation appropriée doit posséder deux caractéristiques : elle doit être vraisemblable et cohérente. Elle doit être vraisemblable c'est-à-dire être en phase avec la situation de l'entreprise et de la réalité observable. Elle doit aussi être cohérente avec les intérêts de l'entreprise *i.e.* en prenant en compte les aspects stratégiques de l'entreprise afin de ne pas rencontrer de conflit dans la phase de résolution des problèmes.

Il est donc primordial de maîtriser un certain nombre de connaissances pour arriver à formuler le problème.

## 2/1.2. La notion de problème structuré

La différence entre un problème bien structuré et un problème mal structuré est difficile à appréhender. D'après (Simon, 1973), il est difficile de construire une définition formelle d'un problème bien structuré, cependant on peut dire qu'un problème est bien structuré s'il possède les caractéristiques principales suivantes :

- Il doit exister un critère défini pour tester chaque solution proposée.
- Il existe au moins un espace de problèmes dans lequel peut être représenté l'état du problème, l'état du but et tous les autres états pouvant être atteints lors de la résolution du problème.
- Les changements d'états réalisables peuvent être représentés dans un espace de problèmes.
- Toutes les connaissances acquises lors de la résolution du problème par le résolveur peuvent être représentées dans un ou plusieurs espaces de problèmes.
- Il est possible de définir avec une totale exactitude, les changements dans l'environnement qu'une évolution de l'état de la situation peut amener.
- Toutes ces conditions sont valides dans le sens où les procédés demandent seulement de l'information disponible avec des données modélisables (informatiquement).

Un problème mal structuré ne respecte pas une ou plusieurs de ces caractéristiques :

- Il n'y a pas de critère défini pour tester une solution proposée.
- L'espace des problèmes (*i.e.* les frontières) n'est pas bien défini.
- La connaissance n'est pas bien structurée.

La frontière entre un problème bien et mal structuré est tellement mince que beaucoup de problèmes dit bien structurés devraient être appréhendés comme des problèmes mal structurés.

D'autres auteurs confirment qu'un problème mal structuré peut être reconnaissable s'il possède certaines caractéristiques. En effet, (Wood, 1983) expose qu'un problème apparait mal structuré si un ou plusieurs éléments du problème ne sont pas connus avec suffisamment de précision ou ne sont pas connus du tout. (Voss et al., 1991) précise que le problème mal structuré est construit à partir de buts et de contraintes mal définis, il apparait donc comme vague.

Pour (Cross, 2008) un problème bien structuré ou défini possède un objectif clair et des règles ou des façons de procéder qui vont générer une solution. Il définit un problème mal structuré ou mal défini avec les caractéristiques suivantes :

- Il n'y a pas de formulation définitive du problème (le contexte du problème est mal compris, les objectifs sont vagues et certains critères sont inconnus, le problème peut évoluer avec l'arrivée d'une nouvelle information).
- Chaque formulation de problème peut comporter des contradictions (plusieurs incohérences ou contradictions doivent être résolues dans la solution).
- Les formulations du problème sont dépendantes de la solution (la formulation du problème doit passer par une référence à une solution).
- La proposition des solutions est un moyen de comprendre le problème (la proposition de solution peut faire émerger de la connaissance sur des contraintes, des critères ou de l'incertitude).
- Il n'y a pas de solution définitive au problème (il n'y a pas d'évaluation des objectifs et différentes solutions peuvent valider les réponses au problème posé).

Pour (Jonassen, 1997), un problème bien structuré est caractérisé par des solutions convergentes qui n'impliquent qu'un nombre limité de règles et de principes qui sont

parfaitement paramétrés. Un problème mal structuré admet, quant à lui, une multitude de solutions (pas de convergence) ou aucune solution et des paramètres moins exploitables. Il est caractérisé aussi par une incertitude importante sur les concepts, les règles et les principes nécessaires pour élaborer une possible solution. Cross (2008) constate que les problèmes mal structurés ne sont pas complètement définis. Il y a une nécessité de reformulation du problème en liaison avec les progrès opérés suites aux avancés sur la recherche de solutions. Il développe donc une idée de connexion itérative entre la formulation et la recherche de solutions. Liu (2000) suggère aussi ce lien en expliquant qu'un problème mal défini va avoir des conséquences sur l'évaluation de la solution et sur les connaissances mobilisées : il faut donc le reformuler de manière précise.

C'est avec la théorie C-K de (Hatchuel et al., 2002) qu'un processus de formalisation de ces idées est apparu. La théorie C-K propose une distinction entre un espace de concepts et un espace de connaissances. Cette théorie se distingue de la vision de Simon (raisonnement par séparation et évaluation) en adoptant une notion de partition expansive (idée de construction de nouvelles solutions – innovation) et non plus une notion de partition restrictive (solutions déjà disponibles – exploration). L'idée est de sortir d'un espace prédéfini et de créer des nouveaux espaces de solutions. L'évolution commune des espaces de concepts et de connaissances par interaction définit alors le processus de conception. Or les problèmes de conception sont, d'après (Gartiser and Dubois, 2005; Lonchamp, 2004; Visser, 2009), des problèmes mal structurés par définition. En effet, un problème de conception est d'après (Gartiser and Dubois, 2005) un problème ouvert qui ne comporte pas une solution unique mais un ensemble de solutions répondant au problème. En outre, le problème peut évoluer au fur et à mesure que l'on collecte des informations pour le résoudre, il est donc au départ mal défini. De plus l'état initial et les opérateurs sont souvent mal connus et donc mal définis (Visser, 2009). (Lonchamp, 2004) complète cette vision en montrant qu'un problème de conception est ouvert (la solution du problème n'est pas unique), mal défini (certaines données acquises au cours du processus peuvent modifier la connaissance que l'on a du problème), collectif (la

résolution d'un problème de conception fait intervenir différents acteurs) et complexe (la situation nécessite de prendre en compte plusieurs points de vue et plusieurs contraintes). On peut donc rapprocher les problèmes de conception des problèmes mal structurés, compatibles avec la vision de (Simon, 1973).

### 2/1.3. Les modèles de structuration des problèmes

L'innovation classique au sens de Simon se contente d'explorer un espace fini de solution de manière méthodique : « les solutions existent, il suffit de les trouver ». Avec cette démarche restrictive il est difficile de « distinguer dans leur conceptualisation un choix de rupture d'un compromis résultant d'un arbitrage dans un espace de solutions existantes. » (p3) (Belleval and Lerch, 2010).

Toutefois d'autres approches existent. Belleval and Lerch (2010) définissent la conception innovante comme « la résultante d'un processus de résolution dialectique de problèmes, qui débouche sur un ensemble d'arbitrages ou de contradictions » (p1). Cette démarche fait la différence entre les innovations de rupture (changement de concept) et les autres types d'innovation (amélioration dans la continuité).

Dans le cadre d'une organisation, (Belleval et al., 2010) montre que les innovations de rupture ne sont pas liées aux interactions des décisions stratégiques dans une seule dimension, mais dans plusieurs (techniques, organisationnelles et cognitives). Ces interactions génèrent la plupart des contradictions qui influent sur l'orientation stratégique du projet.

La vision de (Belleval et al., 2010; Belleval and Lerch, 2010) rejoint donc la vision de (Hatchuel et al., 2002) en affirmant qu'il faut avec des raisonnements dialectiques créer de nouveaux espaces de solutions pour pouvoir construire des innovations de rupture. Cette vision dialectique pour résoudre les problèmes de conception fait donc apparaître naturellement des contradictions au sens de (Altshuller, 1984).

Ces approches s'appuient sur une vision dialectique de la conception. Cette vision a particulièrement été développée dans la théorie TRIZ proposé par (Altshuller, 1984).

Cette théorie propose de suivre les étapes suivantes :

- La description de la situation initiale,
- L'identification du problème à résoudre,
- L'identification d'une solution idéale,
- La formulation d'une solution physique : solution sous forme générale,
- Formulation d'une solution technique : principe de réalisation de la solution physique,
- Formulation d'une solution spécifiée, description complète de la solution.

La TRIZ propose un cadre dialectique basé sur l'identification des contradictions pour la formulation du problème. Un des axiomes essentiels de la TRIZ est que chaque problème peut être structuré sous la forme d'une contradiction. Une contradiction<sup>4</sup> repose sur deux aspects qui sont à la fois dépendants et opposés l'un à l'autre (Rousselot et al., 2012b). La démarche générale est représentée d'après (Dubois, 2004) par la Figure 2-2 :

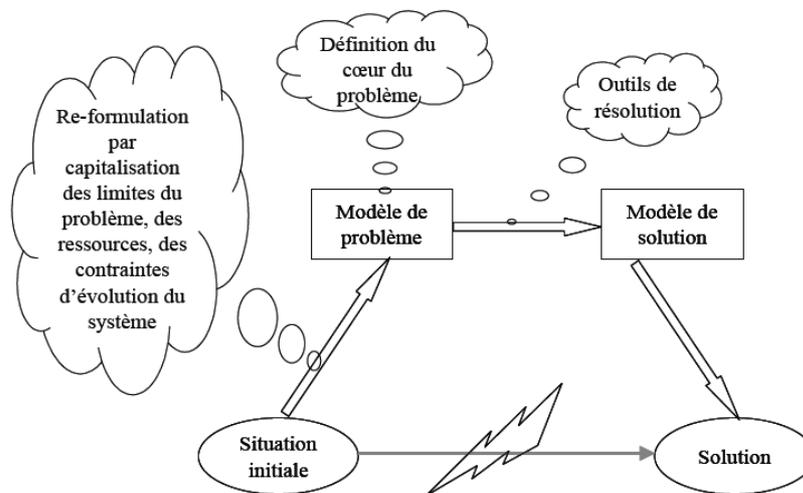


Figure 2-2 : Approche générale de la TRIZ (Dubois, 2004)

La TRIZ repose sur deux postulats supplémentaires :

- Tout système évolue conformément à des lois d'évolution.
- Un problème ne peut être résolu qu'en tenant compte des conditions spécifiques dans lesquelles il se pose.

---

<sup>4</sup> Nous approfondirons dans le chapitre 6 l'étude du concept de contradiction

En s'appuyant sur ces postulats, (Dubois, 2004) précise que le passage de la situation initiale à l'identification du problème doit permettre de :

- Positionner le système étudié dans son évolution.
- Clarifier les possibilités de modification.
- Identifier les ressources disponibles pouvant être mises en œuvre lors de l'évolution du système.
- Lister les contraintes imposées par l'environnement du système.

La reformulation du problème en contradiction permet ensuite de mobiliser les outils de la TRIZ pour trouver une solution adéquate à un problème donné.

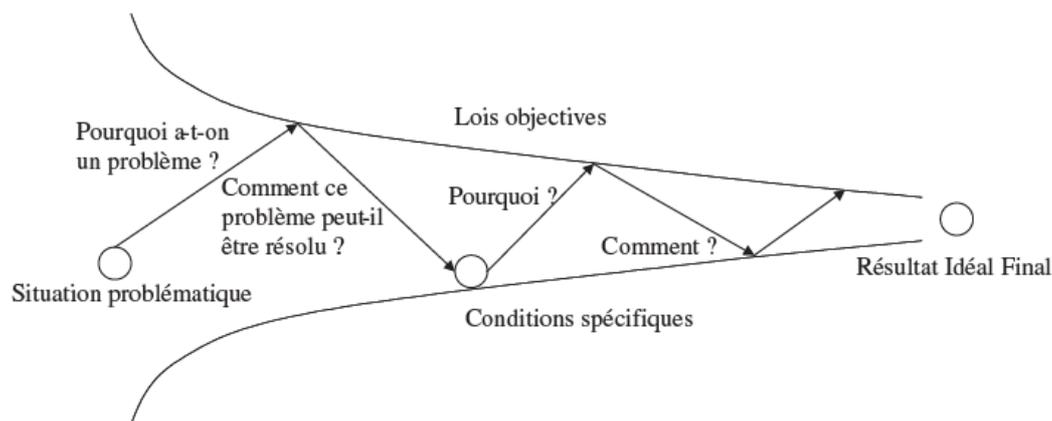


Figure 2-3 : Le processus convergent de la TRIZ, source (Gartiser et al., 2002)

Le processus de résolution des problèmes de la TRIZ est un processus présenté comme convergent (Figure 2-3). D'après (Gartiser et al., 2002), il est plus important de favoriser la qualité des idées et de guider la réflexion en limitant le nombre de concepts que de générer un maximum de concepts sans contraintes qui au final ne contribueront pas à une solution. Le processus convergent va se concentrer sur l'acquisition de données essentielles au traitement du problème à résoudre.

Plus généralement, (Dubois, 2004) explique que la démarche de résolution des problèmes est décomposée le plus souvent dans la littérature en cinq phases :

- Identification du problème,
- Acquisition des données,
- Analyse des données,
- Génération de solutions,

- Evaluation des solutions.

Cette décomposition n'est pas un processus linéaire mais itératif (chaque nouvelle information donne lieu à un processus de reformulation du problème). Il propose ensuite une vision du processus de résolution des problèmes suivant une décomposition modulaire :

- Description de la situation initiale,
- Définitions des besoins,
- Description de l'environnement,
- Définition des spécifications fonctionnelles,
- Formulation du problème,
- Définition des problèmes,
- Classification des problèmes,
- Résolution des problèmes,
- Définition des ressources,
- Outils de résolution,
- Lois d'évolution,
- Évaluation des solutions,
- Cohérence par rapport aux besoins,
- Rentabilisation de la solution,
- Analyse du processus.

La phase de la description de la situation initiale permet de passer d'une situation vague à une situation de problème « bien structuré ». La collecte d'informations sur le système durant la phase initiale permet la reformulation du problème initial pour en améliorer sa compréhension.

(Barragan Ferrer, 2013) utilise le processus OTSM-TRIZ (cf. §3/1.1.1. pour établir un processus de résolution des problèmes. Le processus de résolution commence par l'exposition puis la définition de la situation problématique initiale. Ensuite, il faut construire le réseau de problèmes et des contradictions pour aboutir à une résolution et une solution aux problèmes.

Une approche possible pour améliorer la structuration des problèmes est d'utiliser la méthode appelée « Inventive Design Method » (IDM) proposée par (Rousselot et al., 2012b). IDM est une extension de la TRIZ permettant d'appréhender les problèmes

complexes. En reprenant les conclusions de (Simon, 1973), (Cavallucci et al., 2010) insistent sur l'importance de la structuration du problème. Ceci passe par une meilleure définition du problème à résoudre durant la phase initiale du projet de conception. L'analyse de la situation initiale a pour but de collecter toutes les informations potentielles qui peuvent être utiles pour décrire une situation problématique donnée dans un domaine donné. La structure complète de l'IDM comporte quatre étapes : l'analyse de la situation initiale, la formulation des contradictions, la synthèse des concepts de solutions et le choix des solutions. Les avantages apportés par l'analyse de la situation initiale est d'organiser la connaissance en un réseau de problèmes et de solutions partielles pour arriver à démarrer correctement la phase de formulation des contradictions.

Il existe aussi dans la recherche opérationnelle (RO) une série de méthodes pour aider à structurer des problèmes en utilisant des analyses appropriées. Les situations nécessitant une prise de décision (*i.e.* résoudre des problèmes ou de concevoir un modèle) sont des situations complexes en raison de la multiplicité des acteurs, et incertaines à cause d'un manque de connaissances du système (Mingers and Rosenhead, 2001). Le développement des PSM (Problem Structuring Methods) a pour objectif d'accroître la pertinence des informations et connaissances collectées pour améliorer la structuration des problèmes. Les problèmes qui peuvent être traités par ces méthodes sont caractérisés par (Mingers and Rosenhead, 2001) :

- Des acteurs multiples,
- Des perspectives multiples,
- Des conflits d'intérêt,
- Des intangibles nombreux,
- Des incertitudes importantes.

Ensuite pour pouvoir apporter des éléments de support à la prise de décision et pour résoudre ces problèmes les PSM doivent (Mingers and Rosenhead, 2004) :

- Permettre des alternatives multiples et les mettre en relation.
- Être accessible aux acteurs avec une certaine expérience et sans formation particulière, pour que l'on puisse développer un modèle participatif pour structurer le problème.

- Opérer de manière itérative (amélioration continue) pour pouvoir ajuster la représentation du problème et montrer l'amélioration amenée par les échanges entre les acteurs.
- Permettre d'identifier et d'opérer des améliorations partielles ou locales plutôt que d'exiger une solution globale qui impliquerait une fusion des divers intérêts.

D'un autre côté, il existe un domaine qui est le domaine d'aide à la décision (AD). La RO et l'AD sont deux domaines de la science du management. (Roy, 1993) fait la distinction de ces deux domaines et sépare les « decision science » des « decision-aid science ».

(Roy, 1993) (p187) utilise la définition de (Miller and Starr, 1969) qui a défini l'RO comme « une théorie pour des prises de décisions appliquées qui requiert l'utilisation de moyens scientifiques, mathématiques ou logiques pour structurer et résoudre les problèmes de prise de décision ». L'AD est définie (Roy, 1993, 1985) comme « les activités de quelqu'un, que l'on appelle scientifique, qui aide à obtenir :

- Des éléments de réponses à des questions que se posent les acteurs impliqués dans le processus de prise de décision,
- Des éléments servant à clarifier la décision pour fournir aux acteurs les conditions les plus favorables possibles pour chaque type de comportement qui augmentera la cohérence entre l'évolution du processus d'un côté et les buts et/ou le système de valeurs dans lesquels les acteurs interagissent de l'autre côté » (p187).

La logique MCDA – Multi-Criteria Decision Analysis – a émergé de la branche d'aide à la décision et permet de développer un cadre avec des méthodes pour formaliser le processus d'aide à la décision avec plusieurs critères (d'évaluation), dans le but de fournir un support pour les décideurs. Le processus MCDA est illustré par la Figure 2-4. Ce processus commence avec l'identification et la structuration du problème en se concentrant sur la description de la complexité de la situation et en détaillant tous les aspects importants qui doivent être identifiés (contraintes, but, parties prenantes, incertitude ...). Puis il continue avec l'élaboration d'un modèle qui va être utilisé pour créer des solutions et ensuite développer un plan d'action avec

comme finalité l'implémentation des solutions (Belton and Stewart, 2002; Catrinu, 2006; Løken, 2007).

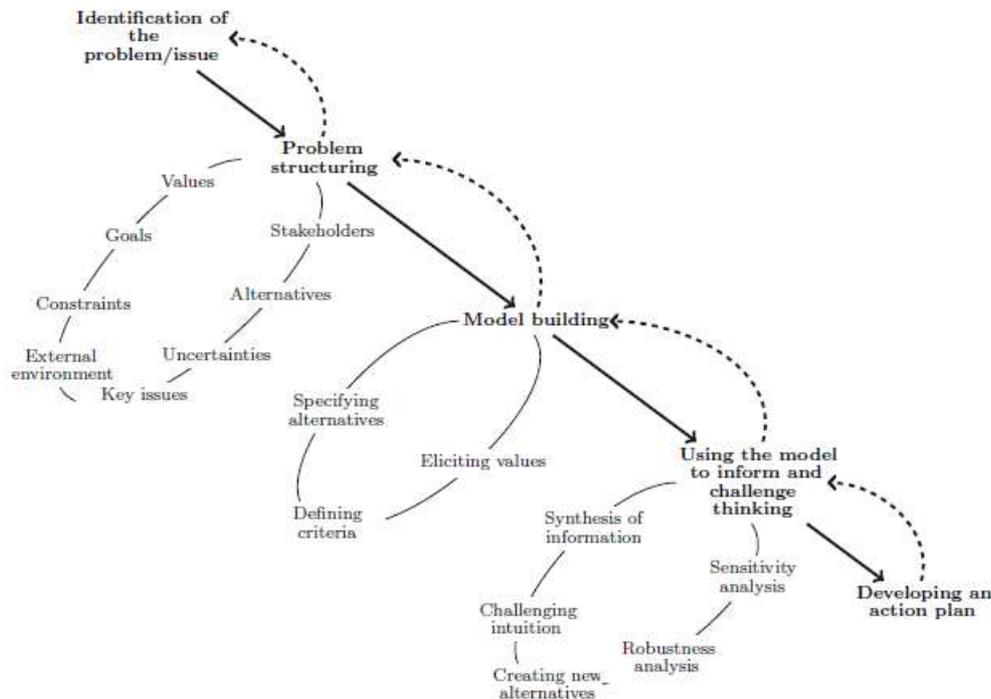


Figure 2-4 : Le processus MCDA, basée sur (Belton and Stewart, 2002)

(Belton and Stewart, 2002), ont été les premiers à pointer l'importance de la phase de structuration du problème dans le processus MCDA, pour que ce processus d'aide à la décision soit le plus efficace possible afin d'aider le décideur. Le point de départ de l'analyse multicritère est un problème bien structuré dont les composants suivants doivent être clairement énoncés :

- Un espace de décision avec plusieurs alternatives dans lequel un choix doit être fait,
- Des critères pour évaluer les alternatives,
- Un modèle ou des méthodes utilisées pour les évaluer.

Quelle que soit la méthode utilisée, on se rend compte de l'importance d'avoir affaire à un problème bien structuré. Deux dimensions sont revenues régulièrement dans le précédent exposé : l'incertitude et le rôle des acteurs, points sur lesquels nous allons successivement nous arrêter.

## **2/2. Incertitudes : Définition et proposition d'une typologie**

Les projets de conception obligent à se projeter dans l'avenir à un horizon plus ou moins long terme. Cette vision lointaine nécessaire entraîne forcément un certain nombre d'incertitudes à gérer. (Douguet et al., 2006) explique que les problèmes scientifiques complexes sont confrontés à un certain nombre d'incertitudes. L'incertitude joue un rôle important et ne doit donc pas être réduite à une étude parallèle : l'incertitude entrave l'évaluation, la prise de décision et la prospective des problèmes complexes. (Refsgaard et al., 2007) confirme que l'étude de l'incertain n'est pas quelque chose qui peut être ajouté en complément d'un travail de modélisation. L'incertain devrait être vu comme un fil rouge pendant toute la durée de l'étude, où l'identification et la caractérisation de toutes les sources d'incertitudes devraient être construites conjointement entre les modélisateurs, les managers et les parties prenantes.

Dans toute démarche de conception et processus de prise de décision associé, plusieurs types de questions apparaissent :

- Quels types d'incertitudes entrent en jeu dans le processus ?
- Quelles incertitudes sont évaluées/non évaluées ?
- Comment sont-elles évaluées ? Le sont-elles de manière pertinente ?
- Dans quelle mesure la connaissance des incertitudes peut-elle influencer le processus et ses résultats ?
- Quelles sont les différentes méthodes disponibles/utilisées pour appréhender et quantifier l'incertitude ?
- Comment interpréter les résultats ?
- Selon les méthodes utilisées, l'interprétation du résultat est-il le même ou la conclusion peut elle être différente ?

Cependant, avant de commencer l'étude sur l'incertitude et arriver à répondre aux questions précédentes, il faut définir au préalable le terme d'incertitude (proposition d'une typologie) et connaître les méthodes disponibles pour l'appréhender, la quantifier l'évaluer, ainsi que leurs conditions d'utilisation.

D'après la norme ISO 14064-1, on peut donner la définition suivante de l'incertitude : « L'incertitude est un paramètre associé au résultat de quantification qui caractérise la dispersion des valeurs pouvant être raisonnablement attribuée à la quantité calculée » (Organisation internationale de normalisation, 2006).

L'incertitude dans la gestion de projet peut prendre plusieurs formes. De nombreux auteurs ont avancé plusieurs types de typologie. De manière générale, les chercheurs séparent l'incertitude en deux catégories principales : l'incertitude épistémique et l'incertitude stochastique (Aguirre et al., 2013; Ascough et al., 2008; Carey and Burgman, 2008; Walker et al., 2003) auxquelles s'ajoutent les incertitudes de langage, de communication, de ressource et de prise de décision (cf. Tableau 2-1).

**L'incertitude épistémique** caractérise le type d'incertitude dû à l'imperfection des connaissances. Cette incertitude peut être diminuée avec une recherche plus approfondie permettant de récupérer de nouvelles données, informations et connaissances (Ascough et al., 2008; Refsgaard et al., 2007; Walker et al., 2003).

L'incertitude épistémique regroupe 4 catégories d'incertitude. L'incertitude liée au contexte fait référence aux conditions d'identification et aux circonstances permettant de définir les limites et les frontières du système à modéliser. L'incertitude liée au contexte apparaît avec la prise en compte de la situation externe économique, environnementale, politique, sociale ou technique entrant en compte dans la modélisation du système (condition passée, présente et future du système à prendre en compte). La vision du contexte est aussi liée fortement aux acteurs intégrés au projet qui ont tous leur vision propre de la réalité sur le projet ; il est donc important de les inclure dans la définition du contexte d'étude. La construction du contexte est à effectuer dans la phase de formulation et de structuration des problèmes. La connaissance de ce contexte permet d'aider à améliorer la formulation du problème et permet d'éviter une formulation incorrecte (Walker et al., 2003).

L'incertitude liée à la structuration du modèle vient du fait qu'un modèle est une représentation simplifiée de la réalité. Elle apparaît à cause d'un manque de

compréhension du système. Ce manque de compréhension vient le plus souvent de la complexité du système à modéliser, de l'utilisation d'approximations pour utiliser certaines fonctions, paramètres, variables et fonctions mathématiques ou bien de l'exclusion de certains paramètres ou variables pour simplifier le modèle. On peut compléter cette vision avec la possible apparition d'incertitudes techniques générées par des erreurs hardware ou software (Ascough et al., 2008; Walker et al., 2003).

L'incertitude liée aux données/paramètres vient du fait que les données d'entrées alimentant le modèle sont une source importante d'incertitude. Les données sont nécessaires pour quantifier les différents éléments nécessaires à l'élaboration du modèle représentant au mieux la situation réelle. Les incertitudes apparaissent à cause du manque de connaissance pour trouver les données ou à cause d'erreurs de mesure. Les différents paramètres utilisés dans le modèle peuvent aussi être une source d'incertitudes. L'incertitude des paramètres exacts (e.g.  $\pi$ ) et fixés (e.g.  $g$ ) est considérée comme négligeable (les paramètres sont suffisamment exacts pour être considérés comme constants). Les autres paramètres peuvent être distingués selon deux groupes : les paramètres choisis *a priori* sont des paramètres difficiles à évaluer par calibration : ils sont fixés à une certaine valeur jugée invariante (l'incertitude est évaluée *a priori*) et les paramètres calibrés qui sont essentiellement inconnus au début de processus et évalués par calibration (Ascough et al., 2008; Walker et al., 2003).

L'incertitude à la sortie du modèle correspond à l'incertitude due à la propagation des incertitudes et à l'accumulation de celles-ci (incertitudes sur les données, les paramètres, la structure et technique) (Ascough et al., 2008; Walker et al., 2003).

**L'incertitude stochastique** (ou aléatoire) caractérise le type d'incertitude dû aux variabilités inhérentes des systèmes (e.g. les conditions climatiques ou les problèmes institutionnels). Cette incertitude est par définition irréductible. On entend par irréductible le fait que dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de la diminuer et par conséquent de la faire disparaître. L'incertitude stochastique peut être évaluée par différentes techniques, ce qui permet d'agir sur cette incertitude et de réduire son impact lors de l'élaboration d'un système (optimisation).

Les différentes sous-catégories d'incertitude aléatoire peuvent être classées comme ceci : les variabilités inhérentes liées à l'environnement et à la nature (phénomène naturel), liées aux comportements humains (dissonance cognitive des comportements), liées aux comportements institutionnels (sociétal, culturelle, politique et économique) et liées aux nouvelles avancées technologiques (Ascough et al., 2008; Refsgaard et al., 2007; Walker et al., 2003).

Cependant d'autres types d'incertitudes sont évoqués dans la littérature. **L'incertitude de langage** regroupe l'incertitude due à l'imperfection possible du langage employé. Cette imperfection est due à plusieurs facteurs : l'imprécision (les expressions utilisées ne sont pas assez précises), l'ambiguïté (les expressions peuvent avoir plusieurs sens et/ou ne pas être assez claires), la généralisation non voulue des informations (les données apportent une généralité non voulue dans l'information). Cette incertitude peut être réduite en améliorant la précision du langage employé (Ascough et al., 2008; Carey and Burgman, 2008; Colyvan, 2008; Regan et al., 2002).

**L'incertitude de communication** regroupe l'incertitude due aux problèmes de restitution des résultats (forme) et de communication au sens large (problème de langage). Ceci est valable pour la restitution des informations mais aussi sur la présentation de la communication même de l'incertitude (Janssen et al., 2005; Mirakyan, 2014; Wardekker et al., 2008).

**L'incertitude sur les ressources** à mettre en œuvre. Cette catégorie regroupe l'incertitude due aux problèmes de gestion du temps et des ressources. Il n'est pas évident *a priori* de savoir si la mobilisation de ressources et de temps supplémentaire va améliorer la qualité des informations nécessaire au processus de planification (Mirakyan, 2014).

**L'incertitude apparaissant lors de la prise de décision** regroupe l'incertitude due à l'ambiguïté ou à la difficulté à qualifier et à hiérarchiser les différents objectifs du projet, ainsi que l'incertitude à trouver des critères de sélection pour identifier et retenir la meilleure solution à un problème (Ascough et al., 2008; Mirakyan, 2014).

<b>Typologie des incertitudes</b>	
<b>Catégorie</b>	<b>Sous-catégorie</b>
<b>Épistémique</b>	Contexte
	Structure du modèle
	Données - paramètres
	Sortie du modèle
<b>Stochastique</b>	Nature et environnement
	Comportements humains
	Comportements institutionnels
	Technologique
<b>Langage</b>	Imprécision
	Ambiguïté
	Généralisation non-voulue
<b>Communication</b>	Problème de restitution (forme)
	Problème de langage
<b>Ressource</b>	Gestion du temps
	Gestion des ressources
<b>Prise de décision</b>	Cibles/Objectifs
	Solutions

Tableau 2-1 : Typologie des incertitudes

De manière plus opérationnelle, on peut se poser la question de la faculté à identifier les types d'incertitude que l'on rencontre lors de la construction d'un projet. Ce découpage exhaustif permet de prendre conscience des différentes incertitudes possibles dans un projet. Le principal problème est que l'on ne sait pas nécessairement que l'on ne sait pas. Une typologie permet de repérer les différentes lacunes possibles liées à l'incertitude pour aider à les corriger voire à les éviter.

On peut remarquer que la différence essentielle entre l'incertitude épistémique et stochastique repose sur le fait d'arriver ou non à trouver des solutions pour réduire l'incertain. Selon le projet, les domaines de compétence ou encore l'opinion de l'opérateur, l'incertitude sera classée comme épistémique ou stochastique. La nature de l'incertitude, en dehors du classement typologique dépend donc aussi du contexte et de la vision de l'opérateur. L'opérateur pourra par ses choix, réaliser et classer les incertitudes entre les deux types (Kiureghian and Ditlevsen, 2007).

Cette distinction permet de faire le tri parmi ce sur quoi l'on va pouvoir agir et ce sur quoi on ne pourra pas. La façon de réagir sera, en conséquence, différente : chercher à réduire l'incertitude ou choisir des actions concrètes pour la contourner et ainsi réduire son impact sur le projet ou du moins des méthodes pour pouvoir l'estimer (Dubois, 2010).

La connaissance du type d'incertitude a pour conséquence de pouvoir y associer une méthode efficace pour lui faire face. Comme l'a précisé Mirakyan (2014), il y a différentes méthodes pour appréhender les différentes typologies d'incertitude. Aucune de ces méthodes n'est cependant assez complète pour traiter tous les types d'incertitude. Il sera ainsi nécessaire de panacher les approches afin de diminuer l'incertitude à laquelle on va faire face dans un projet.

### **2/3. Les parties prenantes**

Comme nous l'avons vu précédemment, la démarche de conception est fortement liée à la démarche de prise de décision. En effet, indépendamment de la dimension des techniques de conception, on est bien souvent dans le cadre d'un projet de conception dans lequel des décisions vont être prises et des arbitrages faits. Ainsi la démarche de prise de décision n'est pas exempte de problèmes qui ne souffrent aucune contestation ; elle est plutôt jalonnée de situations d'insatisfaction ou d'inconfort dans lesquelles des acteurs variés sont impliqués. Ces problèmes sont des problèmes conceptuels et leur formulation ne peut pas être envisagée indépendamment de la relation entre les individus et leur vision de la réalité. C'est l'interaction et l'influence de certains acteurs avec la situation qui peut modifier la structure même du problème à résoudre.

Une théorie sur la logique des acteurs a émergé dans les années 80, cette approche stratégique porte sur un acteur ou un groupe d'acteur participant aux projets regroupés sous le nom de parties prenantes (théorie des parties prenantes).

Une partie prenante (PP) pour une organisation est un individu ou un groupe d'individus pouvant affecter ou être affectés par la réalisation des objectifs de l'organisation (Freeman, 2010).

Pour Baas (2007), les parties prenantes jouent un rôle essentiel dans la diffusion des nouveaux concepts ; la participation et l'engagement de nouvelles parties prenantes permettent d'atteindre de meilleurs résultats. Les parties prenantes peuvent agir directement ou indirectement en apportant leur expertise et un support au projet. D'un autre côté, la multiplication des objectifs et des cibles à atteindre par les différentes parties prenantes ainsi que leurs différents intérêts propres et leurs préférences peuvent compliquer le modèle du projet.

L'identification des acteurs d'un projet est une étape obligatoire pour tout projet. Les acteurs liés à l'organisation vont interagir avec elle et prendre une part importante dans le processus de prise de décision, que ce soit dans la décision elle-même mais aussi dans la formulation d'informations pour la décision, ou dans l'opposition à la décision. Les parties prenantes ont une influence dans la manière de formuler, structurer et résoudre un problème. La manière dont le problème est formulé ou résolu pourra avoir un impact positif ou négatif sur celles-ci (Banville et al., 1998).

D'après la littérature, plusieurs tentatives de classification des parties prenantes ont vu le jour.

Les différentes typologies sont résumées dans le tableau suivant :

N°	Typologie de PP	Source
1	Type d'acteurs	Donaldson and Preston, 1995
2	Interne/Externe	Carroll and Näsi, 1997
3	Selon des attributs	Mitchell et al. (1997)

Tableau 2-2 : Typologies des PP

Une première classification (Donaldson and Preston, 1995) s'intéresse aux parties prenantes selon la nature même de l'acteur.

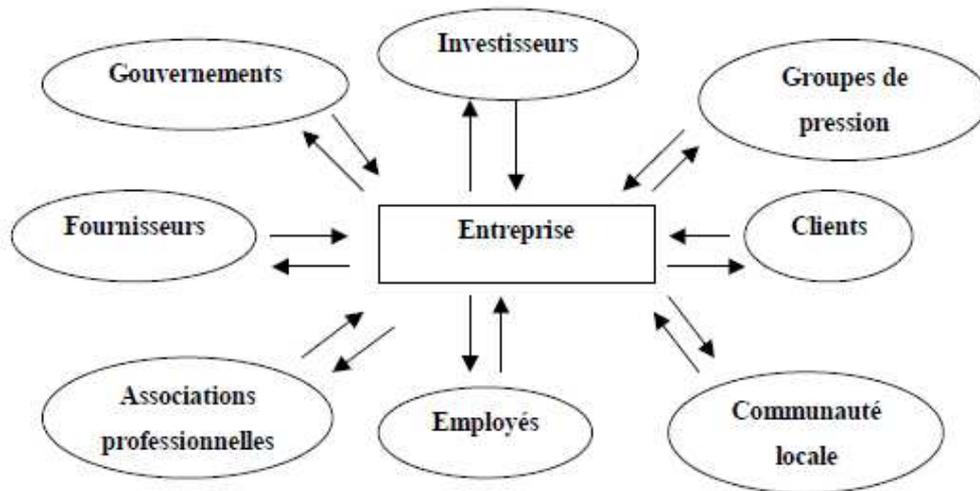


Figure 2–5 : Schéma des parties prenantes possibles d'une entreprise selon la nature de l'acteur

Source : ((Mercier, 2001) p4) adapté de ((Donaldson and Preston, 1995) p69)

Une deuxième classification, assez naturelle est de classer les parties prenantes en parties prenantes internes (direction, employés, etc.) et externes (prestataires, politiques, concurrents, environnement etc.) (Carroll and Näsi, 1997).

On peut également les classer en parties prenantes primaires et secondaires (Clarkson, 1995). Les parties prenantes primaires peuvent se caractériser par une relation contractuelle avec l'entreprise (investisseurs, employés, clients etc.). Les parties prenantes secondaires sont définies comme des parties pouvant influencer ou être influencées par l'organisation sans avoir un lien contractuel avec elle ou être indispensable à sa survie (politiques, concurrents, média etc.).

Ces typologies permettent seulement un classement en deux parties, utiles pour identifier les parties prenantes, mais ne permettent pas d'avoir une idée sur leurs liens (au-delà de l'officiel et du contractuel) avec l'organisation et leurs fonctions de PP. Dans un projet de conception mettant en œuvre une démarche de résolution de problème, ces typologies ne permettent pas de comprendre les interactions entre

parties prenantes et encore moins d'anticiper l'impact de ces parties prenantes sur le projet.

Par rapport à cela, une troisième approche, celle de Mitchell et al. (1997) est intéressante car elle identifie sept types de parties prenantes, déterminées par leur degré d'appartenance à un ou plusieurs des trois attributs suivant :

- le pouvoir : acteurs en capacité d'influencer les décisions de l'organisation ;
- la légitimité : acteurs en droit d'émettre un avis sur les choix/activités de l'organisation mais pas forcément de l'imposer ;
- l'urgence : acteurs qui demandent une attention immédiate face à un risque ; les demandes exercées par ces acteurs sont considérées comme urgentes par l'organisation en rapport avec l'organisation.

Cette décomposition permet de décrire, d'une façon qui nous paraît pertinente, les caractéristiques et les différences entre les différentes parties prenantes.

Les parties prenantes ayant un attribut de pouvoir vont impacter directement la prise de décision et donc le processus de conception. Les informations et les connaissances dont elles disposent vont donc être stratégiques pour l'organisation. De plus, leur compréhension (bonne ou mauvaise) et *a fortiori* leur *a priori* sur le problème traité vont être cruciaux et devront faire l'objet d'une attention particulière.

Les parties prenantes ayant un attribut de légitimité peuvent alimenter le processus de conception en informations et en connaissances aux conditions qu'elles le veulent bien et qu'elles aient conscience de l'intérêt de ces informations et connaissances.

Les parties prenantes ayant un attribut d'urgence impactent fortement la prise de décision et par ricochet le processus de conception, mais de façon indirecte. En effet, elles font courir un risque à l'organisation de par leurs demandes, leurs besoins, leurs insatisfactions ou leurs problèmes. L'intégration de ces parties prenantes au processus de conception peut impacter la compréhension du problème à résoudre et les enjeux de sa résolution.

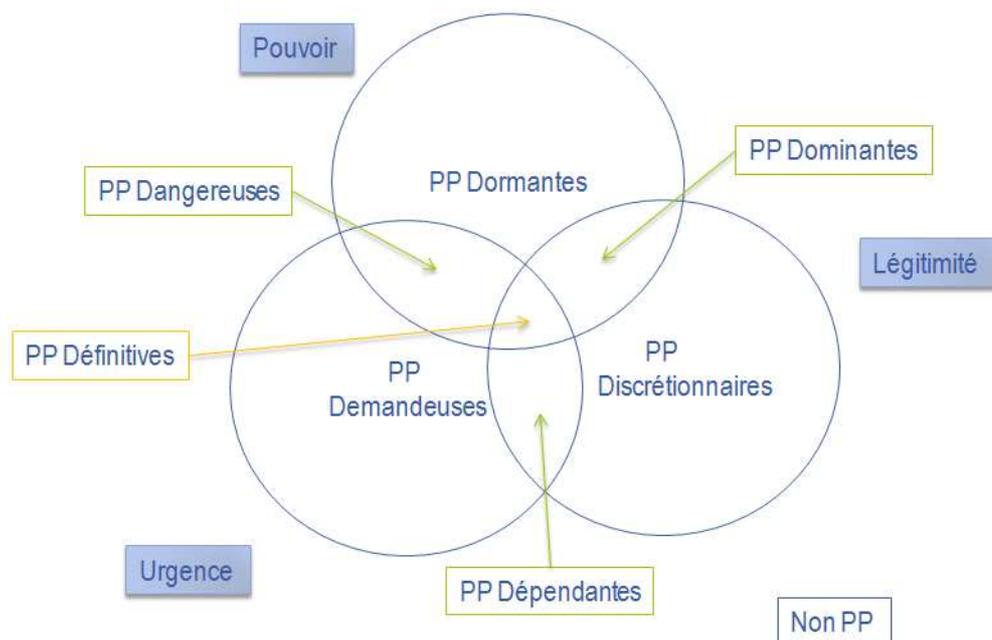


Figure 2–6 : Typologie de parties prenantes selon les attributs d’après (Mitchell et al., 1997)

Ainsi, comme le montre la Figure 2–6, le croisement de ces 3 attributs fait apparaître plusieurs catégories d’acteurs (Mitchell et al., 1997; Saulquin, 2008).

Les parties prenantes latentes sont les parties prenantes qui ne possèdent qu’un attribut ; leur importance est alors considérée comme faible car elles ne sont pas susceptibles de donner de l’attention ou de la reconnaissance à l’organisation.

Il existe trois catégories de parties prenantes latentes. **Les parties prenantes dormantes** (1) (attribut pouvoir) possèdent le pouvoir d’imposer leur volonté à la firme, mais sans être légitimes ni avoir de demandes urgentes (absence de ces deux attributs), leur pouvoir s’avère inutilisé. Toutefois, en raison de leur capacité à obtenir un autre attribut il est nécessaire d’être vigilant quant à ces parties prenantes. **Les parties prenantes discrétionnaires** (2) (attribut légitimité) n’ont pas d’influence sur l’organisation et n’ont pas de demandes urgentes. Elles ont un intérêt pour l’organisation, et sont souvent reconnues pour leur connaissance spécifique (*i.e.* leur expertise). **Les parties prenantes demandeuses** (3) (attribut urgence) sont les parties prenantes qui ont des demandes urgentes, mais pas le pouvoir ni la légitimité

pour que leur demande soit naturellement entendue. S'il n'est pas possible de leur associer un attribut de pouvoir ou de légitimité le « bruit » généré par l'urgence de la demande ne suffit pas à générer une réaction de l'entreprise.

Les parties prenantes en attente sont les parties prenantes qui possèdent deux attributs. La combinaison de deux attributs confère à ces parties prenantes non plus un rôle latent, mais leur permet d'acquérir un rôle actif avec une augmentation correspondante de la réactivité de l'organisation à l'égard des intérêts de ces parties prenantes. Ainsi le niveau d'engagement entre l'organisation et ces parties prenantes devraient être plus important. Il existe 3 catégories de parties prenantes en attente.

**Les parties prenantes dominantes** (4) (pouvoir et légitimité) possèdent une influence assurée sur l'organisation. On peut ainsi s'attendre à ce que ce type de parties prenantes dispose de mécanismes formels permettant de faire reconnaître l'importance de leurs relations avec l'organisation. Dans cette typologie, les parties prenantes dominantes s'attendent à recevoir l'attention de la direction, mais ce ne sont en aucun cas les seules. **Les parties prenantes dangereuses** (5) (pouvoir et urgence) sont les parties prenantes ayant un manque de légitimité qui peut conduire à les rendre dangereuses, contraignantes et potentiellement violentes (du fait de leur attribut de pouvoir et d'urgence). L'identification de ces parties prenantes est compliquée car il est important méthodologiquement de séparer identification (opportunité pour diminuer les dangers) et reconnaissance (augmentation de la peur) de ce type de PP. **Les parties prenantes dépendantes** (6) (légitimité et urgence) sont qualifiées de dépendantes car elles ne disposent pas de l'attribut « pouvoir » et dépendent d'autres parties prenantes ou de l'organisation. De ce fait l'organisation doit être vigilante à, soit associer ces parties prenantes à des parties prenantes de pouvoir, soit à les faire évoluer vers une autre typologie.

**Les parties prenantes définitives** (7) sont les parties prenantes à l'intersection des trois attributs (pouvoir, légitimité et urgence). Elles sont incontournables pour l'organisation et doivent absolument être prises en compte. Comme nous l'avons déjà dit, une PP qui dispose à la fois du pouvoir et de la légitimité fait partie de la coalition dominante de l'organisation. Quand ces parties prenantes disposent en plus

de l'attribut urgence, elles disposent d'un mandat clair et immédiat qui donne la priorité à leurs revendications. N'importe quelle PP peut devenir une PP définitive en développant ou en obtenant l'attribut manquant et *a contrario* n'importe quelle PP peut perdre ce statut en « perdant » au moins l'un de ces attributs.

Pour finir les **non-parties prenantes** (8) désignent des acteurs ne possédant aucun de ces attributs et ne sont donc pas considérés comme PP.

En résumé, les sept catégories sont : les parties prenantes dormantes (1), discrétionnaires (2), demandeuses (3), dominantes (4), dangereuses (5), dépendantes (6) et définitives (7). Une dernière catégorie, complète la vision avec les « non-parties prenantes » (8).

La limite de ce modèle hiérarchisé est de pouvoir différencier les parties prenantes appartenant à une même catégorie et même en allant plus loin à celles ayant le même nombre d'attributs ; quelles sont les parties les plus importants et celles qui sont à privilégier ? Il faut choisir la typologie à adopter dans l'optique d'améliorer la formulation et la structuration des problèmes et le choix des solutions.

### **2/4. Conclusions du chapitre 2**

Au regard de notre problématique, les analyses que nous avons menées dans ce chapitre respectivement sur la structuration de problème, l'incertitude et les parties prenantes nous conduisent, dans le cadre de la conception de plan énergétique à formuler cinq conclusions générales et onze hypothèses méthodologiques.

Les conclusions générales (CG) sont :

- Les méthodes d'aide à la décision (e.g. MCDA) prennent le plus souvent comme point de départ un problème bien structuré. Il peut ressortir de ces travaux, une impression erronée, qu'arriver à cette étape est une chose facile : « une tâche relativement triviale » (p212) (Belton and Stewart, 2010). De nombreux décideurs pensent avoir une vision claire de leur système ou de leur problème et des critères pour les caractériser. Or nous venons d'éclairer l'articulation complexe entre formulation et structuration du problème. Cette vision claire du décideur n'est bien souvent qu'illusoire.

- Nous avons pointé l'intérêt des approches dialectiques afin d'aider et d'accompagner la structuration de problèmes.
- (Cortes Robles, 2006) affirme que la phase d'identification du problème est, comme dans les autres méthodologies, l'étape la plus délicate. Dans la TRIZ, l'identification de la contradiction n'est pas une tâche facile, elle demande parfois une analyse poussée et beaucoup d'efforts. La théorie présente elle aussi en l'état des limites : elle ne propose en effet aucune méthodologie pour organiser la pensée lors de la phase d'identification du problème. L'étape de la formulation du problème étant une étape cruciale pour le bon développement et la bonne utilisation ultérieure des outils de résolution, nous traiterons de ce point en détail dans la Partie 2 de cette recherche.
- Compte tenu de la nature du contexte dans lequel il s'intègre, il est impossible de faire disparaître l'incertitude liée à un projet et donc à une démarche de conception et d'aide à la décision.
- Dans le cadre d'un projet ce n'est pas à une seule catégorie mais à plusieurs types d'incertitudes qu'il va falloir faire face.

Les hypothèses méthodologiques (HM) sont :

- Les méthodes doivent permettre d'accompagner la transformation d'un problème flou en un problème structuré voire même en problème pouvant être résolu.
- Les méthodes doivent articuler la vision du décideur et la stratégie de l'organisation pour accompagner la structuration du problème.
- Les approches dialectiques sont des approches pertinentes pour outiller les démarches de structuration de problème.
- Il est indispensable, pour faire face aux différents types d'incertitudes de panacher le traitement des incertitudes dans les démarches de conception.
- Les typologies 1 (par type d'acteur) et 2 (interne/externe) concernant les PP sont les plus faciles à mobiliser mais apportent peu de valeur ajoutée à la démarche de projet. La typologie 3 de (Mitchell et al., 1997) est quant à elle pertinente. Il est nécessaire de constituer des groupes d'acteurs, par exemple des PP dépendantes et des PP dormantes de façon à faire entendre certaines voix (légitimes dans notre exemple).
- La démarche de conception doit conduire à une prise en compte de PP définitives tout en étant capable d'intégrer les autres types de PP. Il est nécessaire d'identifier les PP dormantes dans un projet de conception. En

- acquérant un autre attribut, il serait possible que ces PP soient d'avantage impliquées dans le processus.
- Il peut être utile de donner du pouvoir aux PP discrétionnaires, ou tout du moins d'écouter leurs demandes (en particulier pour la phase de formulation et structuration du problème).
  - La vision Multi-Ecrans issue de la TRIZ peut intégrer les attentes des PP demandeuses et ainsi, par les contrôles de cohérence internes vérifier si ces demandes apportent quelque chose au problème.
  - L'identification des PP dangereuses doit permettre de questionner la structuration du problème et d'en vérifier la cohérence.
  - Il pourrait être intéressant pour le projet d'examiner la possibilité pour une PP en attente (disposant de deux attributs) de « gagner » un attribut afin de devenir une PP définitive. De la même manière, il pourrait être intéressant ou risqué pour le projet qu'une PP définitive « perde » un attribut et devienne une PP en attente. Ceci doit être consciemment intégré car les attributs ne sont pas forcément des valeurs discrètes (e.g. une PP a (1) ou n'a pas (0) de pouvoir). En effet, au cours d'un projet, il se peut que la valeur d'un attribut d'une PP évolue (e.g. acquisition de pouvoir). De ce fait une PP peut changer de catégorie et ainsi changer la distribution des PP dans les catégories proposées ; en conséquence les objectifs du projet peuvent aussi évoluer.
  - Il est important d'identifier les non-PP dans le cadre d'un projet. En effet l'évolution de notre compréhension du projet au travers de sa structuration peut ainsi amener à ce qu'une non-PP à un moment donnée devienne une PP parce que son domaine d'action (quel que soit l'attribut concerné) prend sa place dans le projet.



## CHAPITRE 3 DEMARCHE DE FORMULATION DES PROBLEMES DE PLANIFICATION ENERGETIQUE

---

Les premiers chapitres de ce travail de recherche nous ont conduits à souligner l'utilité et la nécessité de disposer, à l'échelle d'une organisation d'une démarche explicite et structurée de conception de plan énergétique.

Au-delà des hypothèses méthodologiques exprimées précédemment, cette thèse s'inscrit dans la continuité et l'extension de travaux antérieurs menés au sein du laboratoire LGECO et développés conjointement avec l'European Institute for Energy Research (EIFER<sup>5</sup>), sur la planification énergétique à l'échelle des villes et des territoires (Mirakyan and De Guio, 2015a, 2015b, 2014, 2013). Ainsi l'objectif de ce chapitre est de proposer une démarche structurée de conception de plan énergétique en s'appuyant sur une brique spécifique développée par Mirakyan (2014) pour l'IEPCT – Integrated Energy Planning for Cities and Territories, que nous présentons dans le § 3/1. Cette démarche s'appuie, pour la partie structuration de problèmes, sur un cadre conceptuel particulier, celui de TRIZ et OTSM-TRIZ. Après être revenu sur les grandes lignes de ce cadre (cf. § 3/1.1. ), nous présentons les principes de bases de l'IEPCT (cf. § 3/1.2. ), en mettant en avant sa capacité à orienter le projet dans sa première phase, de manière à préparer les phases suivantes de conception et implémentation de solution. Cependant ce travail nous semble inachevé à plusieurs titres. Ceci nous conduit dans une seconde partie à identifier les verrous conceptuels que nous allons devoir lever au travers des contributions de cette recherche (cf. § 3/2. ). Dans une troisième partie nous formulerons une démarche opérationnelle permettant de concevoir un plan

---

<sup>5</sup> EIFER est un groupement d'intérêt économique européen, créé en 2002, avec 2 membres EDF et le KIT (Karlsruhe Institute of Technology). C'est un centre de recherche consacré à l'énergie et à l'environnement.

énergétique à l'échelle d'une organisation (cf. § 3/3. ). Dans cette partie, nous nous attacherons dans un premier temps à la façon dont l'organisation va produire des données exploitables en matière énergétique et son corollaire GES, en reprenant les limites évoquées plus haut des BEGES, et sur l'identification et le traitement des incertitudes associées (cf. §3/3.1. ). Puis, dans un second temps, nous présenterons explicitement la démarche que nous proposons (cf. § 3/3.2. ).

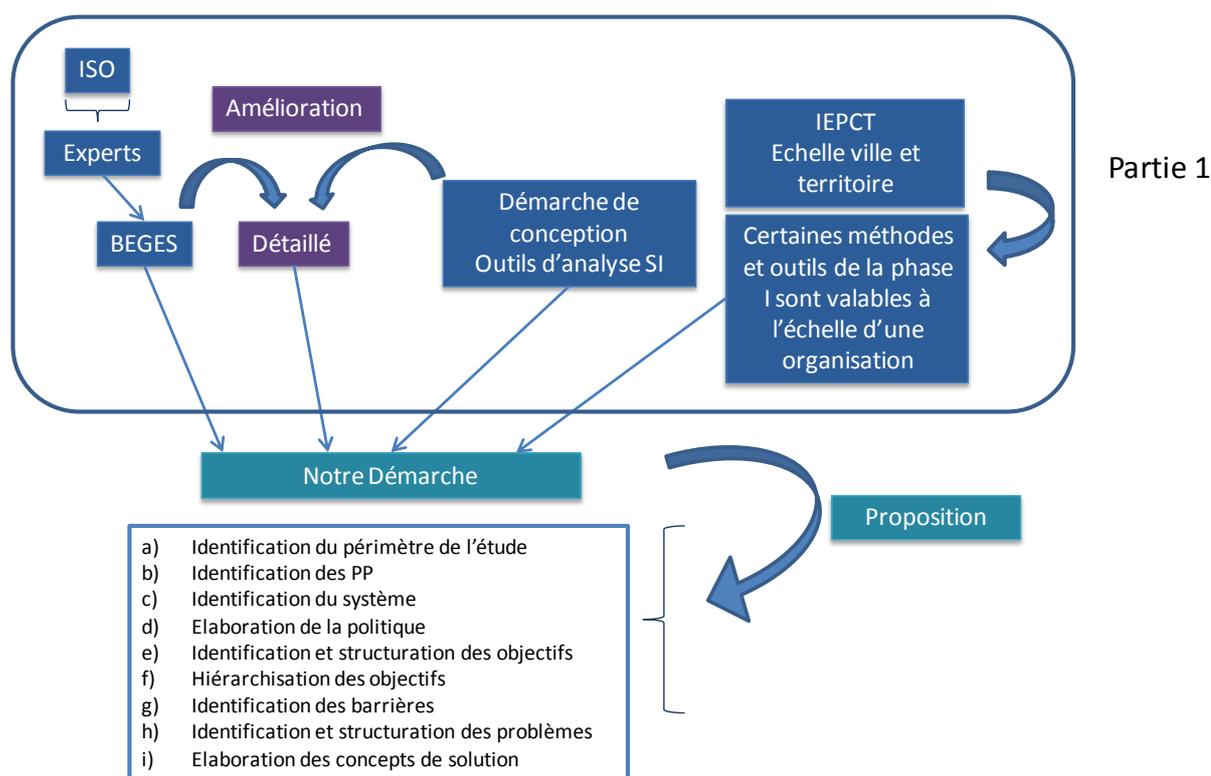


Figure 3–1 : Ressources pour notre démarche et proposition détaillée de la démarche

### 3/1. Présentation du cadre méthodologique de l'IEPCT

Dans ses travaux de thèse, (Mirakyan, 2014) propose une démarche globale pour la planification sur le long terme pour les villes et les territoires qui s'inscrit dans le cadre de l'IEPCT. Sa démarche pour traiter la phase I de structuration du problème de l'IEPCT s'appuie sur un cadre conceptuel particulier, celui de la TRIZ et d'OTSM-TRIZ que nous présenterons dans un premier temps. Nous détaillerons ensuite plus

précisément la démarche de l'IEPCT avant d'en pointer les limites qui nous semblent pertinentes par rapport à notre recherche.

### 3/1.1. Cadre conceptuel de l'IEPCT : la TRIZ et l'OTSM-TRIZ

Notre objectif ici n'est pas de réaliser une présentation exhaustive et détaillée de la TRIZ et d'OTSM-TRIZ, mais de présenter quelques fondements permettant d'en comprendre les logiques de pensée. Nous commencerons ainsi par présenter quelques éléments structurant, de la TRIZ et d'OTSM-TRIZ, avant de focaliser sur certains outils, spécifiquement mobilisés par Mirakyan pour développer l'IEPCT.

#### 3/1.1.1. Éléments de structuration de la TRIZ et OTSM-TRIZ

La TRIZ, acronyme russe signifiant – Théories de Résolution des Problèmes d'Invention, propose un cadre dialectique basé sur l'indentification des contradictions pour la reformulation d'un problème le plus souvent technique. La TRIZ est une théorie qui propose des méthodes et des techniques pour résoudre des problèmes « mal structurés » et proposer des solutions innovantes (Altshuller, 1984). Un des postulats essentiels de la TRIZ est que chaque problème peut être exprimé sous forme d'une contradiction, au moins. Une contradiction repose sur deux aspects qui sont à la fois dépendants et opposés l'un à l'autre (Rousselot et al., 2012a)<sup>6</sup>.

On rappelle que la démarche générale est présentée d'après (Dubois, 2004) par la Figure 3–2 :

---

<sup>6</sup> Nous présenterons, de manière plus approfondie, la notion de contradiction au chapitre 6

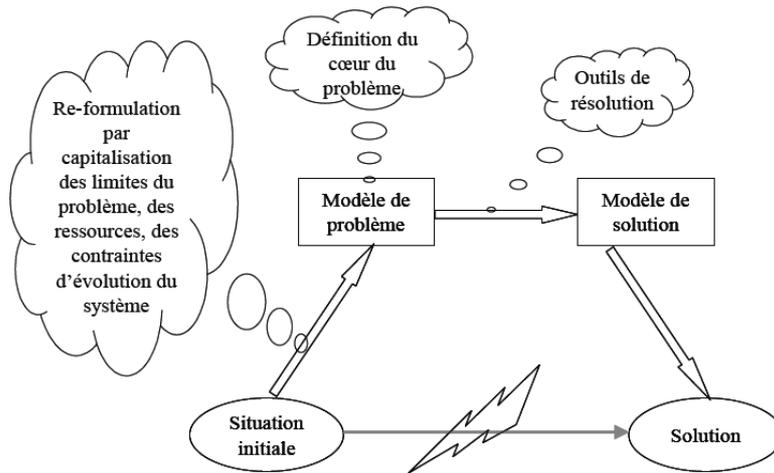


Figure 3–2 : Approche générale de la TRIZ (Dubois, 2004)

La construction et la reformulation des problèmes dans le but de faire apparaître les contradictions permettent d'acquérir des connaissances et d'aider à identifier les causes des problèmes et de proposer des débuts de solutions en identifiant les caractéristiques qu'elles devront posséder.

La reformulation du problème sous forme de contradiction permet ensuite de mobiliser les outils de TRIZ pour trouver une solution adéquate à un problème donné.

La TRIZ dispose d'un ensemble d'outils rassemblés dans la Figure 3–3 qui montre l'évolution de la théorie TRIZ et de son algorithme ARIZ jusqu'à l'arrivée de l'OTSM-TRIZ dans le but de traiter des problèmes complexes et multidisciplinaires dans des domaines différents de celui de l'ingénierie.

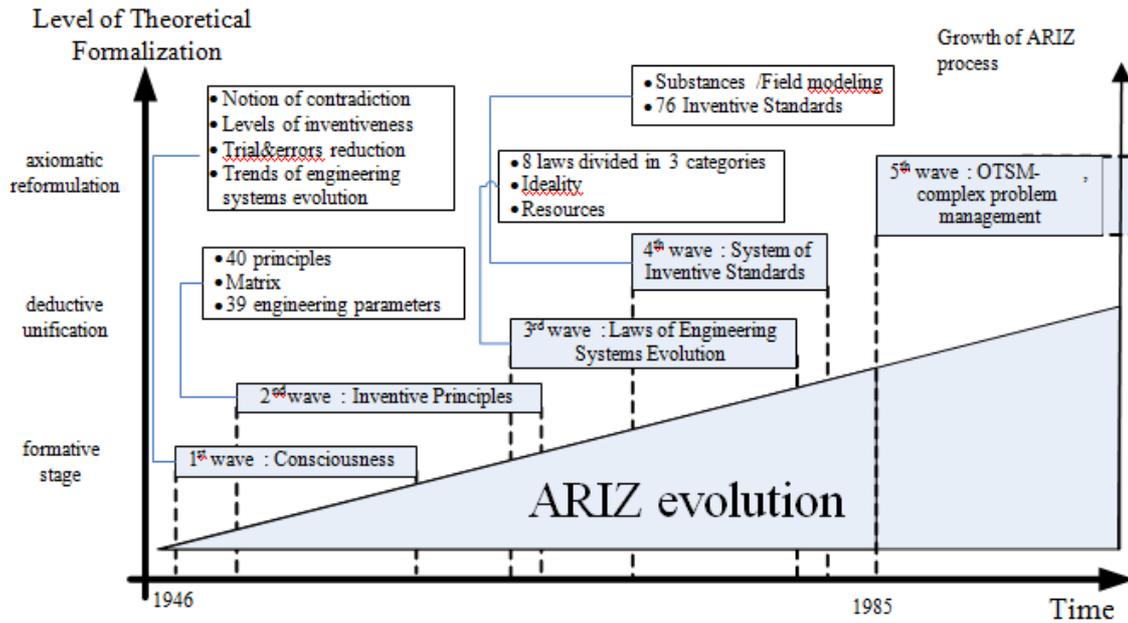


Figure 3–3 : Evolution de la théorie TRIZ (Khomenko et al., 2007)

OTSM, sigle russe pouvant être traduit par « Théorie Générale de la Pensée Avancée », est une évolution de la théorie de TRIZ, apparue dans les années 70, pour améliorer la résolution des problèmes non-techniques. (Khomenko and De Guio, 2007) précisent que l'« OTSM étend les idées de la TRIZ classique pour proposer des instruments de gestion des situations problématiques interdisciplinaires complexes non typiques » (p79). Dans les années 2000, (Cavallucci and Khomenko, 2007) qui travaillaient sur la généralisation de la TRIZ aux problèmes non techniques, proposent de décrire les systèmes à l'aide d'un modèle ENV (Elément, Nom du Paramètre, Valeurs du Paramètre) qui permet de décrire tous les éléments d'un système pour des problèmes complexes et multidisciplinaires. OTSM-TRIZ permet aussi d'appréhender la possibilité de devoir résoudre plusieurs contradictions liées à un problème. La modélisation des problèmes se fait à l'aide d'un réseau de problèmes. Le réseau de problème permet de visualiser l'ensemble des problèmes, d'en améliorer la compréhension et d'en faire apparaître les plus importants dans l'optique de les résoudre. Ensuite, un réseau des contradictions est construit à partir des contradictions techniques (au sens de la TRIZ) qui apparaissent avec les

problèmes à résoudre. L'étape suivante est de réaliser un réseau de paramètres à partir du réseau de contradictions. Ce réseau permet de modéliser les contradictions physiques (au sens de la TRIZ) et d'améliorer les connaissances pour trouver des nouvelles pistes de solutions répondant aux caractéristiques décrites avec les contradictions (Khomenko et al., 2009, 2007).

### 3/1.1.2. Approches et outils spécifiques de la TRIZ et d'OTSM-TRIZ mobilisées dans l'IEPCT

#### Le Tonggs-model

Le « TONGS-model » (ou modèle des tenailles) donne un cadre de réflexion répondant à un des postulats de l'OTSM-TRIZ selon lequel une situation problématique peut être décrite par le conflit entre les désirs/objectifs des parties prenantes et les limites objectives liées aux lois du système.

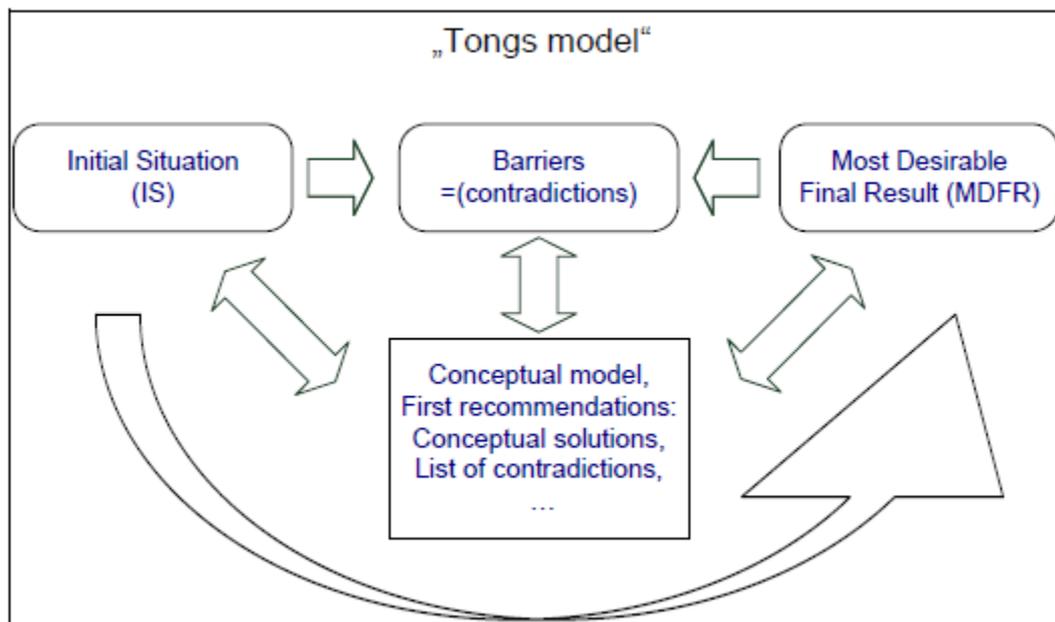


Figure 3–4 : Tongs model, source : (Mirakyan, 2014)

Les différentes étapes à réaliser sont (Khomenko and Cooke, 2011) :

1. Décrire la situation initiale
2. Imaginer un résultat idéal final
3. Analyser les barrières qui empêchent d'atteindre le résultat idéal dans le contexte de la situation initiale

4. Reformuler les barrières comme des contradictions
5. Identifier des solutions par des méthodes classiques ou en utilisant les outils de OTSM-TRIZ

L'analyse Multi-Ecrans (ou « System operator »)

L'utilisation du « System operator », un outil classique de la TRIZ, permet une première analyse de la situation initiale, et en particulier du système sur lequel se porte l'analyse.

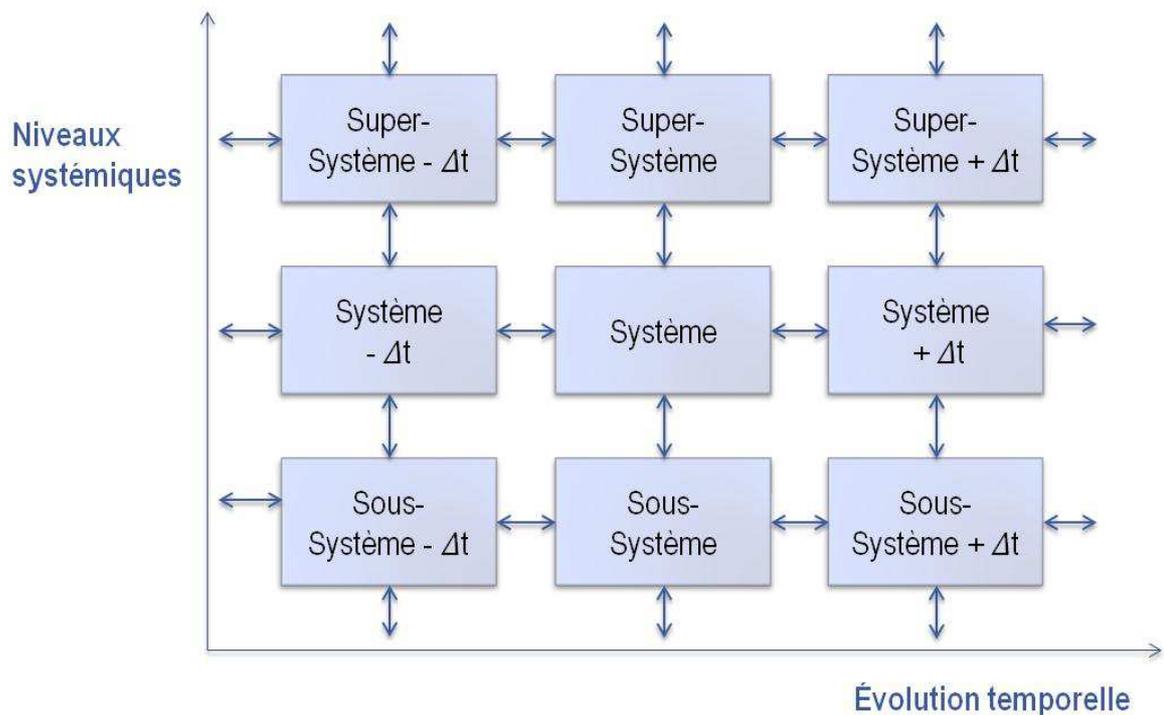


Figure 3–5 : Diagramme Multi-Ecrans

Cette analyse permet de décrire le système (notation dans les cases) sur plusieurs niveaux systémiques sur l'axe vertical (sous-système, système et super-système) et sur une évolution temporelle du système sur l'axe horizontal (ancien, actuel et futur). (Chambon et al., 2009) explique que cet outil permet une représentation montrant l'évolution temporelle du système et permet de comparer ces caractéristiques voire de projeter des tendances d'évolution pour le futur et de comparer ses problèmes (détecter des contradictions) par la comparaison des différents niveaux de systèmes. Une seconde dimension qui est analysée au travers de cette approche est l'évolution du système, matérialisée par les flèches sur la Figure 3–5 montrant l'articulation

temporelle et systémique entre les différents systèmes. L'analyse de la situation initiale, et donc le pilotage de l'analyse dans la phase de génération de concepts et de solutions, s'appuient de fait sur la façon dont le système (ainsi que ses sous- et super-systèmes) ont évolué. De la même façon, le futur système est aussi lié à la façon dont les sous- et super-systèmes évolueront dans l'avenir.

La mobilisation de cet outil est loin d'être évidente car la description de ce qu'est le système analysé n'est pas une donnée figée. En effet, la description du système est liée aux conditions spécifiques et aux buts qui sont fixés par la démarche de conception. Compléter de manière pertinente cette figure est bien une des étapes importantes de la démarche.

#### *La hiérarchisation des objectifs (ou arbre des valeurs)*

L'utilisation d'une hiérarchie des objectifs permet d'organiser les objectifs des plus importants (les objectifs fondamentaux) aux objectifs les moins importants. Ce classement permet de se focaliser sur les objectifs fondamentaux que le résultat final devra atteindre. Pour arriver à caractériser ces objectifs, on les définit avec un attribut permettant de formuler et d'évaluer quantitativement ou qualitativement la cible que l'objectif doit atteindre. Le modèle ENV est particulièrement utile ici car il aide à structurer l'analyse des buts et à les transformer en objectifs.

#### *La « conséquence map »*

Un autre outil mobilisé par (Mirakyan, 2014) est la « consequence map », qui est basée sur des éléments de deux outils : le réseau de problèmes et le « means-ends objective network ». Cette structuration permet de faire la différence entre des objectifs de moyen « means » et des objectifs fondamentaux « ends ». Les objectifs de moyen ne sont que des moyens permettant d'atteindre les objectifs fondamentaux. L'appréhension des objectifs en objectifs de moyen ou fondamentaux dépend du contexte de décision (*i.e.* du système étudié et de l'attente particulière des différentes parties prenantes). L'identification des objectifs peut se faire de manière « bottom-up » en se posant la question « Pourquoi est-ce important ? » ou

## CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique

de manière « top-down » en se posant la question « Comment peut-on atteindre ceci ? ». Ce deux manières de réfléchir classent respectivement les objectifs de moyen à fondamentaux et de fondamentaux à moyen.

Associés aux différents objectifs, des problèmes peuvent se poser<sup>7</sup>. Le réseau de problèmes permet de mettre en forme et de réfléchir aux différents problèmes, leurs solutions partielles et les barrières rencontrées pour résoudre le problème et pour aller plus loin que les solutions partielles. De la même manière que précédemment on pourra identifier les barrières en se posant les questions suivantes : « Qu'est ce qui empêche la réalisation de certains objectifs ? » (top-down) ou « Qu'est ce qui nous empêche de mettre en œuvre une solution pour atteindre un objectif ? » (bottom-up).

### 3/1.2. Présentation de l'IEPCT

L'IEPCT est une démarche globale pour la planification énergétique sur le long terme pour les villes et les territoires. Dans cette partie nous allons successivement présenter le cadre général de l'IEPCT, puis spécifiquement la phase I qui nous intéresse plus particulièrement dans le cadre de notre recherche, avant d'en pointer les limites ou tous points que nous considérons comme inachevés par rapport aux besoins de notre propre recherche.

#### 3/1.2.1. Présentation générale de l'IEPCT

(Mirakyan, 2014) propose un cadre général d'analyse pour les villes et les territoires.

Cette démarche est construite en quatre phases principales (Figure 3–6)

- Phase I : Préparation et orientation
- Phase II : Conception du modèle et Analyse détaillée
- Phase III : Hiérarchisation et décision
- Phase IV : Implémentation et suivie

---

<sup>7</sup> L'utilisation du Tongs-Model à ce niveau peut aussi aider à identifier quelles sont les barrières à surmonter pour atteindre les objectifs.

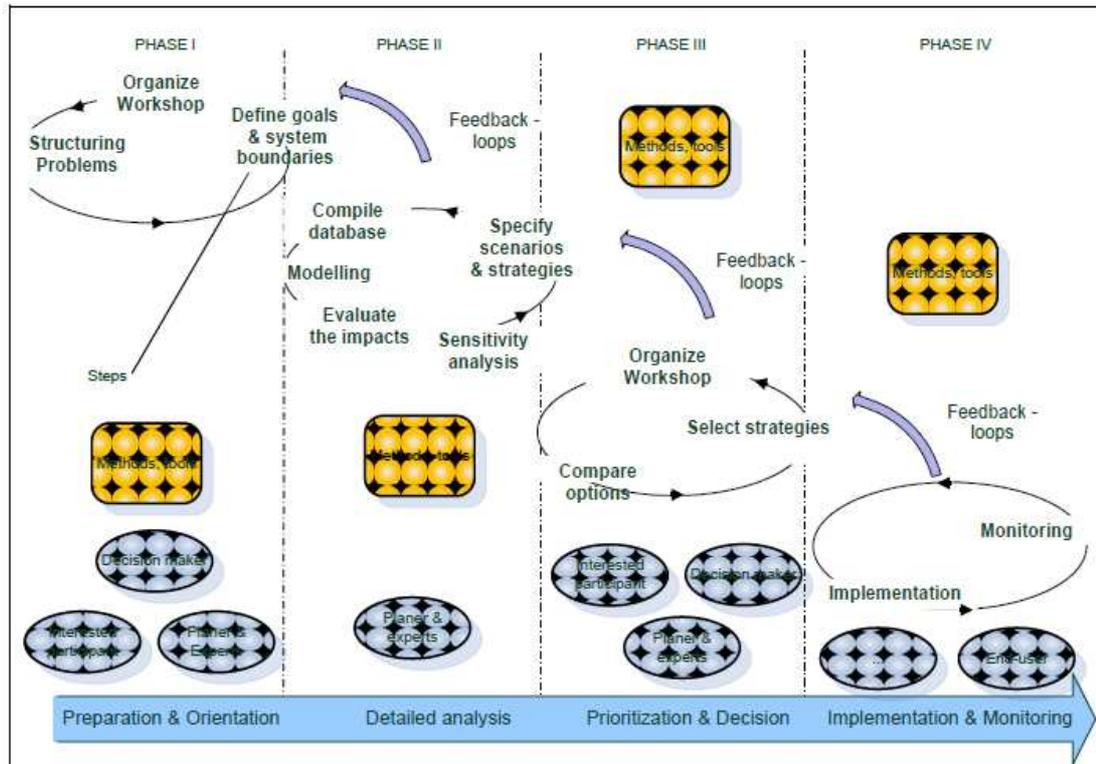


Figure 3–6 : Procédure IEPCT d'après (Mirakyan, 2014)

Chacune des phases est elle-même composée d'un ensemble d'étapes. Toutes les phases sont liées, elles ne sont pas forcément à réaliser suivant une séquence déterminée mais plutôt suivant une vision fonctionnelle. De plus des itérations seront la plupart du temps nécessaires à l'élaboration des problèmes, du modèle et des solutions. L'IEPCT est un processus itératif à plusieurs participants qui ont des intérêts parfois différents voire même opposés.

Durant la phase I, la situation initiale est analysée, les problèmes sont formulés, les solutions potentielles sont listées et les objectifs et cibles sont définis. (Mirakyan, 2014; Mirakyan and De Guio, 2013) propose une liste possible des activités principales à réaliser durant cette phase I :

- Organiser des ateliers de travail.
- Produire une analyse de la situation initiale actuelle et passée, des tendances et des problèmes importants.
- Identifier, décrire et structurer les problèmes liés aux questions énergétiques et environnementales.

## CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique

- Proposer une vision partagée et des buts pour le développement durable du territoire et de la ville.
- Identifier les stratégies initiales, les plans, les programmes et les solutions potentielles.
- Décrire les barrières qui empêchent les buts d'être atteints.
- Informer les médias et tous les groupes du projet.

La phase II permet de construire un modèle conceptuel sur les bases des informations collectées durant la phase I. Cette phase permet d'élaborer des scénarios et d'élaborer des stratégies compatibles. Plusieurs activités peuvent être réalisées pour construire la phase II :

- Déterminer un modèle conceptuel détaillé pour l'organisation du projet.
- Collecter, décrire et interpréter les informations.
- Établir un modèle avec un outil informatique qui est basé sur le modèle conceptuel de la phase I.
- Produire une analyse détaillée et une étude d'impact de la situation historique, actuelle et future.
- Produire une analyse de l'incertain et établir différents scénarios.
- Examiner les stratégies ou le plan initial qui est suggéré dans la phase I pour les différents scénarios en produisant une étude d'impact comprehensive.
- Développer des nouvelles stratégies inventives qui peuvent être plus compatibles avec les conditions locales pour les différents scénarios (e.g. la réduction des consommations d'énergies, l'amélioration de l'efficacité énergétique, l'utilisation étendue des sources d'énergies renouvelables).
- Revue de la phase I.
- Informer les médias et tous les groupes du projet.

La phase III permet d'analyser et de hiérarchiser les différentes options résultant des phases I et II. Plusieurs activités sont possibles durant cette phase :

- Passer en revue les résultats de la phase I et II, les dynamiques du problème et les résultats des différents scénarios.
- Préciser et reformuler les buts qui sont définis dans la phase I et si nécessaire, établir une nouvelle hiérarchie d'objectif pour les différents scénarios.
- Passer en revue les stratégies et les solutions qui sont générées dans la phase I et II

- Adapter la hiérarchie d'objectifs avec la méthode MCDA pour chaque scénario des stratégies proposées.
- Utiliser les méthodes MCDA pour connaître et comprendre le processus (élicitation), et utiliser les aspects quantitatifs pour créer une analyse sensible des stratégies suggérées dans les différents scénarios.
- Recommander un plan d'action avec les différentes solutions ou stratégies d'adaptation.
- Informer les médias et tous les groupes du projet.

La phase IV permet de décider de l'implémentation des solutions compatibles aux scénarios retenus.

- Étoffer le plan d'action avec les projets individuels, les programmes et les propositions en accord avec les phases II et III et implémenter ce plan en accord avec le cadre intégré.
- Considérer les questions du point de vue du temps, des risques, du coût et des aspects suggérés des phases précédentes.
- Opérationnaliser les objectifs de qualité et les indicateurs mesurables.
- Comparer les résultats des stratégies adaptées avec les objectifs planifiés. S'ils ne sont pas satisfaisants, produire les actions de rattrapage.
- Informer les parties prenantes à propos des progrès et travailler avec elles si possible.
- Continuer à observer, contrôler et documenter les développements clés liés à l'énergie et l'environnement.
- Informer les médias et tous les groupes du projet.

### 3/1.2.2. L'IEPCT – phase I

Nos premières investigations (cf. chapitre 1 et 2) nous conduisent à nous intéresser ici plus particulièrement à la phase I et à la proposition de méthodes et d'outils pour la réaliser. Cette étape (préparation et orientation) est la première étape dans la procédure de construction du modèle énergétique. Le but de cette étape est de commencer par décrire la situation initiale avec le plus de précision possible. Il est évident que la précision de l'analyse des buts/objectifs et problèmes en début de projet va conditionner le déroulement du projet sur toute sa longueur. Mirakyan fait l'hypothèse qu'en reformulant proprement et précisément les problèmes en début de projet, la connaissance de ces éléments va permettre de trouver des solutions plus

## CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique

innovantes et performantes au cours de la phase II. Dans la plupart des cas d'application, la première phase dans un processus de planification manque d'une formulation explicite des objectifs, de la formulation des problèmes ou du développement d'un modèle conceptuel. Or cette étape est fondamentale pour passer à un problème structuré, comme nous l'avons déjà souligné dans le chapitre 2.

Mirakyan (2014, p131-132) propose d'analyser cette phase I en identifiant les fonctions qu'elle devra réaliser :

- Identifier et analyser tous les acteurs et leurs relations.
- Impliquer toutes les parties prenantes importantes.
- Analyser la situation passée et présente, les questions importantes et les tendances du domaine.
- Concevoir des objectifs partagés stables et des cibles orientés selon les buts économiques et écologiques prenant en compte les politiques nationales.
- Établir une hiérarchie des objectifs ou un « arbre des valeurs », éliciter les objectifs et développer les attributs.
- Structurer et identifier les options-moyens et les objectifs-fins fondamentaux.
- Identifier les stratégies initiales, les programmes autonomes pour établir un projet de plan énergétique local à long terme.
- Formuler les problèmes et suggérer des solutions innovantes et développer un réseau de problèmes.
- Élaborer un « arbre de problèmes ».
- Créer une nouvelle position ou institution qui serait responsable du contrôle de l'amélioration de la conception.
- Identifier et décrire les problèmes et les solutions partielles.
- Décrire l'approche de la conception et le choix des méthodes.
- Développer un modèle conceptuel avec les frontières du système.

Mirakyan (2014, p132) énonce également les « inputs » disponibles pour la réalisation de ses fonctions :

- Politiques régionales/nationales/internationales liées au domaine.
- Informations générales venant de différentes sources : données statistiques, experts, programmes, publications, rapports.
- Exemples ou processus intéressant d'un autre domaine.

Mirakyan (2014, p132-133) liste ensuite les « outputs » à générer lors de cette première phase. Ces « outputs » vont permettre de commencer la phase II d'analyse détaillée.

- Liste des objectifs partagés par les différents acteurs.
- Description générale du système énergétique, version préliminaire du système énergétique technique.
- Modèle conceptuel.
- Cadre institutionnel possible, responsabilités décrivant qui fait quoi et quand.
- Réseau de problèmes et de solutions.
- Paramètres de contrôle.
- Liste des objectifs.
- « Arbre des valeurs » et hiérarchie des objectifs avec les objectifs stratégiques et les attributs.
- Stratégies initiales, plans ou solutions.
- Reconnaissance des intérêts différents pour les participants à la planification et à l'apprentissage.
- Approximation d'une définition des limites du système et du périmètre de l'approche de planification.
- Limite du budget global et temps nécessaire.
- Approche de la planification, et méthode de modélisation.
- Objectifs/Fins stratégiques et options ou solutions/moyens pour atteindre les objectifs dans le réseau d'objectifs.
- Forces, faiblesse, opportunités, et menaces d'une ville ou d'un territoire.

Mirakyan (2014, p133) identifie ensuite quelles sont les ressources disponibles pour cette phase. Ces ressources sont principalement des méthodes (SWOT, SMART, Brainstorming, Soft System Methodology, Value tree, Means-ends objective network, Tongs-model, Réseau de problèmes, Méthode Delphi) mais aussi des personnes comme les participants pouvant soutenir et construire le projet avec leurs connaissances et informations à disposition (managers, analystes, experts, équipes de recherche, politiques, agents administratifs, fournisseurs d'énergie et autres entreprises, investisseurs ou diverses parties prenantes : publicitaires, utilisateurs d'énergie, organisation non gouvernementale, etc.).

Enfin Mirakyan (2014, p133) identifie les contraintes qui s'appliquent à cette phase :

### CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique

- Ressources limitées : temps, argent, connaissances etc.
- Manque d'informations pratiques et de planifications.
- Les différentes parties prenantes n'ont pas trouvé leur intérêt commun (vision et expertise différentes du système).
- Manque de transparence dans la planification et la modélisation des problèmes complexes.

Ainsi, Mirakyan (2014, p135-136) conclut que les spécifications de la démarche de la phase I sont les suivantes :

- Analyse initiale du système et de l'environnement.
- Concevoir des cibles et des objectifs partagés.
- Établir une hiérarchie des objectifs ou réaliser un « arbre de valeur ».
- Structurer et identifier les options-moyens et les objectifs-fins fondamentaux.
- Identifier les stratégies initiales, les options ou les solutions.
- Développer un réseau d'identification des problèmes ; décrire et connecter des problèmes, solutions et objectifs.
- Relever les contradictions relatives aux problèmes.
- Développer un modèle conceptuel avec les limites du système.
- Aider avec la cohérence dans l'analyse de l'incertain.
- Transparence des supports et du procédé d'apprentissage.

Finalement, Mirakyan (2014, p137) propose 10 critères permettant d'analyser la qualité de la phase I répartis en cinq familles :

- Facteur de qualité technique :
  - Satisfaire les critères principaux
  - Questions de formalisation
  - Potentiel de combinaison
- Capacité d'organisation :
  - Temps et ressources exigés
  - Expertise et savoir-faire requis
- Apprentissage et découvert de la connaissance :
  - Niveau d'évitement d'inertie mentale
  - Les catégories pour identifier et résoudre les contradictions
- Satisfaction des participants à la planification : la satisfaction de travailler avec la méthode
- Support pour la collaboration :
  - Support pour l'identification et la résolution des conflits d'intérêts
  - Niveau d'interaction

Pour réaliser cette phase I, Mirakyan (2014, p149) propose d'utiliser successivement les outils suivants que nous avons présentés dans un paragraphe précédent (cf. § 3/1.1.2. de ce chapitre) :

- Modèle des tenailles (Mirakyan, 2014, p149)
- Analyse Multi-Ecrans (Mirakyan, 2014, p150)
- L'arbre des valeurs (Mirakyan, 2014, p151-152)
- La carte des conséquences (Mirakyan, 2014, p152-153)

### 3/1.2.3. Points d'inachèvement de l'IEPCT

Lors de la première tentative d'implémentation de la phase I de l'IEPCT, nous avons dû faire face à plusieurs obstacles :

- Comment accéder aux informations de base ?
- Comment mener une telle démarche avec des non-experts dans le domaine de l'énergie ?
- Comment identifier, mais surtout prendre en compte les différentes parties prenantes au projet ?
- Comment articuler la réflexion sur la planification énergétique à la réflexion stratégique plus large de l'organisation ?

#### Les informations de bases

Dans la méthode actuelle, l'analyse de la situation initiale n'est pas très détaillée. On nous demande de l'analyser mais sans donner de cadre précis pour commencer. Il est évoqué certaines méthodes pour faire une esquisse de cette situation comme la soft system methodology (SSM) et la MCDA. Ces méthodes proposent des principes de réflexion et de structuration de la pensée pour établir un modèle conceptuel mais ne proposent pas d'outils concrets pour y arriver. Une approche avec pilotage via un départ avec les outils de management de l'énergie et des émissions de GES est un moyen de donner un cadre plus précis.

Pour étudier un système ou une situation, qui plus est dans une organisation, il est important de commencer par mobiliser des outils déjà présents dans cet environnement et dont le plus souvent les résultats sont déjà disponibles et prêts à

## CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique

être exploités. Dans le cadre de la conception d'un plan énergétique, les cadres obligatoires des BEGES et des audits énergétiques permettent de disposer de données utiles pour l'étude de la situation initiale. Au-delà des données chiffrées disponibles grâce à ces études, elles permettent aussi de décrire les systèmes énergétiques et non-énergétiques (qui émettent au moins des GES) internes ou externes à l'entreprise. Pour compléter l'analyse, les premières solutions décrites dans le plan d'action du BEGES pourront venir alimenter la réflexion sur les futurs modèles.

L'approche BEGES aborde explicitement la question de l'incertitude. Par rapport aux travaux menés dans le cadre de l'IEPCT, la prise en compte de l'incertitude des données nous semble primordiale. Le point de vue de l'IEPCT est ici plutôt orienté pour faire face à l'incertitude générale dans le cadre de projets de planification énergétique et notamment pour éviter les erreurs de type I (la solution est refusée malgré un modèle jugé crédible) et III (le problème formulé ne correspond pas, en partie ou totalement, au problème à résoudre). Ces erreurs peuvent augmenter l'incertitude liée à la construction de la phase I car le modèle peut être basé dès le départ sur un problème mal formulé ou sur un modèle crédible mais dont les solutions seront quand même rejetées à la fin. Ne pas s'apercevoir de ces erreurs en début de projet entraînera une perte de temps et d'argent et va nécessiter de recommencer tout le processus de planification.

### Contraintes des non-experts

La démarche présentée dans l'IEPCT a été pensée comme une démarche d'expert : elle repose sur l'hypothèse que la compréhension des systèmes existants est maîtrisée. Ce qui n'est pas systématiquement le cas. Dans notre contexte de planification énergétique, si le but général est maîtrisé, ainsi que l'articulation avec le cadre d'activité global de l'organisation (e.g. évolution d'activité, stratégie, dimension du coût), les liens plus fins, les objectifs précis et les dimensions actionnables de la problématique précise ne le sont pas forcément. L'étape de formalisation des buts en

objectifs et de caractérisation du système sur lequel on va travailler s'avère primordiale.

### *Prise en compte et implication des parties prenantes*

Nous avons déjà plusieurs fois insistés sur la nécessaire intégration des parties prenantes aux processus de conception ; peu de travaux précisent les éléments particuliers des démarches visant explicitement à le faire et les démarches d'IEPCT ne le font pas explicitement non plus. (Mirakyan, 2014) expose pour la question des parties prenantes que tous les décideurs, les experts et les parties prenantes doivent être inclus dans le processus de conception et précise le fait que l'IEPCT « est un process interactif impliquant les participants avec des avis différents voire même opposés » (p130). Les parties prenantes sont une source majeure d'incertitude dans les projets car leurs motivations et actions peuvent affecter le bon déroulement du projet (Ward and Chapman, 2008), surtout quand elles sont mal connues. C'est pourquoi, la connaissance précise des parties prenantes et leur participation va améliorer la pertinence des modèles conçus et diminuer les erreurs de type I et III.

Pour atteindre cet objectif d'implication des parties prenantes et de tous les groupes pertinents et pour réaliser l'étape d'identification et d'analyse des acteurs et de leurs relations, Mirakyan propose d'utiliser la « rich picture ». La « rich picture » est un outil présent dans la SSM qui a été développé par (Checkland, 2001) (et réutilisé par (Coelho et al., 2010; Neves et al., 2004) dans le cadre de la planification énergétique) dans le but de représenter les parties prenantes via une image représentant les différentes parties prenantes et leurs relations. Le problème principal de cet outil est l'absence de règle précise pour savoir comment la construire et la remplir ; le résultat apparait le plus souvent *ad-hoc* sans vraiment de détails sur sa construction et ne représente finalement que les relations construites grâce à la vision de départ des acteurs initiaux du projet. En effet, elle est le plus souvent construite au fur et à mesure que le concepteur récolte des informations à travers différentes interviews avec une partie connue des parties prenantes (pour examiner leurs relations et identifier les plus pertinentes et d'autres qui ne seraient pas

connues en début de projet). Il y a cependant des avantages qui se traduisent sur le fait de disposer d'un élément simple et visuel pour la communication, de n'être pas restreint par une syntaxe imposée, d'aider la formulation de connaissances, de créer un processus itératif pour améliorer la compréhension d'un système et de faciliter un début de discussion sur les objectifs et montrer des zones de possibles conflits et problèmes (Checkland, 2001; Maqsood et al., 2001).

### Plan énergétique et stratégie de l'organisation

Le positionnement stratégique et les objectifs stratégiques sont de fait les dimensions les plus globales à l'échelle d'une organisation. Ce sont elles qui vont guider et par ricochet contraindre toutes les autres dimensions de l'organisation. Toutefois, à l'instar de nombreux travaux déjà anciens (Ansoff, 1965; Chandler, 1962) nous admettons que l'organisation ne peut avoir que la stratégie de ses moyens. Il y a ainsi une boucle, que l'on espère vertueuse, entre stratégie et moyens. Dans le cadre de notre problématique spécifique, nous sommes face au même phénomène : la conception du plan énergétique doit à la fois être alimentée et contrainte par le cadre stratégique de l'organisation.

## **3/2. Liste des verrous s'opposant à une démarche opérationnalisable de conception de plan énergétique à l'échelle d'une organisation**

Comme développé précédemment dans les conclusions générales (CG), hypothèses méthodologiques (HM) des chapitres 1 et 2, et dans les limites de l'IEPCT ci-dessus, la démarche que nous proposons va devoir dépasser trois familles de verrous. Les objectifs pour les lever sont listés ci-dessous.

Objectifs de la famille 1 pour lever les verrous quant à la collecte d'informations (*i.e.* input de la démarche) :

- La démarche doit permettre de générer des informations de base indispensables au traitement de la problématique (chapitre 3 § 3/1.2.3. ).
- La démarche doit pouvoir partir d'un point de départ correspondant à un but ou une vision (chapitre 2 § 2/4. CG).
- La démarche doit intégrer les buts spécifiques des non-experts de l'énergie/GES (*e.g.* des buts financiers) (chapitre 1 § 1/3. HM et chapitre 3 § 3/1.2.3. ).
- La démarche doit prendre en compte les différents types d'incertitudes (chapitre 2 § 2/4. CG/HM et chapitre 1 § 1/3. HM).

Objectifs de la famille 2 pour lever les verrous quant à la structuration des problèmes :

- La démarche doit intégrer une étape explicite de définition et de caractérisation du système sur lequel elle va travailler (chapitre 2 § 2/4. CG).
- La démarche doit articuler problème et stratégie de l'organisation (chapitre 2 § 2/4. HM et chapitre 3 § 3/1.2.3. ).
- La démarche doit permettre d'accompagner la transformation d'un problème en un problème structuré (chapitre 2 § 2/4. HM).
- La démarche doit être outillée grâce aux approches dialectiques (chapitre 2 § 2/4. HM).
- La démarche doit accompagner explicitement la formulation dialectique des problèmes (*i.e.* la formulation de contradiction) (chapitre 2 § 2/4. CG).
- Le plan d'action doit projeter l'organisation sur différentes échelles de temps (court, moyen et long termes) (chapitre 1 § 1/3. HM).
- La démarche doit permettre de proposer des solutions innovantes à l'échelle de l'organisation (*i.e.* des solutions qui ne font pas partie des solutions qu'il aurait été possible d'imaginer sans elle) ou totalement innovante (*i.e.* avec un degré radical de nouveauté au sens de l'invention) (chapitre 1 § 1/3. HM).

Objectifs de la famille 3 pour lever les verrous quant à la prise en compte des parties prenantes :

- La démarche doit être capable de prendre en compte l'ensemble des parties prenantes (chapitre 2 § 2/4. CG).
- Les parties prenantes dépendantes et dormantes doivent être prises en compte dans la démarche de manière à prendre en compte tous les points de vue (chapitre 2 § 2/4. CG).

- La démarche doit être capable d'identifier les parties prenantes pouvant évoluer pendant le projet (ajout ou suppression d'un attribut) (chapitre 2 § 2/4. HM et chapitre 3 § 3/1.2.3. )

En mobilisant les ressources de la démarche IEPCT présentée par Mirakyan, en particulier dans sa phase I, et des démarches de conception, nous proposons d'une part une approche élargie de la démarche BEGES et d'autre part une démarche de conception de plan énergétique à l'échelle d'une organisation.

### **3/3. Proposition d'une démarche opérationnalisable de conception d'un plan énergétique à l'échelle d'une organisation**

#### **3/3.1. Proposition d'une approche élargie de la démarche BEGES**

Cette proposition s'appuie sur deux volets complémentaires. Dans un premier temps, partant d'une analyse du déploiement effectif d'une démarche BEGES, nous analysons de manière détaillée les limites opérationnelles afin de proposer une démarche correspondant davantage aux attentes d'une organisation pour le plan d'actions. Ensuite nous précisons la façon dont il est possible d'aborder l'incertitude dans la démarche.

##### **3/3.1.1. Proposition d'évolution de la démarche BEGES**

Le BEGES nous paraît être une source d'information particulièrement pertinente par rapport à notre problématique. En effet, par nature il correspond à la construction d'un état des lieux à la fois de l'énergie (poste émetteur de GES), des autres activités émettrice de GES et des GES eux-mêmes.

Comme nous l'avons introduit dans le chapitre 1, la démarche BEGES est déjà décrite avec la méthode ministère. Toutefois nous nous sommes rendus compte que certaines étapes mériteraient d'être approfondies. Cette nécessité est particulièrement avérée lorsque l'organisation souhaite élaborer un bilan complet

intégrant les scopes 1, 2 et 3 ; surtout en raison de la difficulté de mobilisation des données disponibles du scope 3 et d'organisation correcte des données pour réaliser efficacement la recherche du plan d'actions. Nous avons donc essayé de formaliser de manière plus précise la démarche BEGES. Pour cela nous nous sommes appuyés d'une part sur le formalisme IDEF0<sup>8</sup> et d'autre part sur l'expertise d'ESSE, partenaire de la CIFRE, en matière de BEGES ainsi que sur les démarches de conception et sur l'IEPCT décrit précédemment.

Ainsi avec l'outil IDEF0 nous pouvons représenter notre démarche BEGES, et ses différentes étapes sous la forme de la figure suivante (Figure 3–7) :

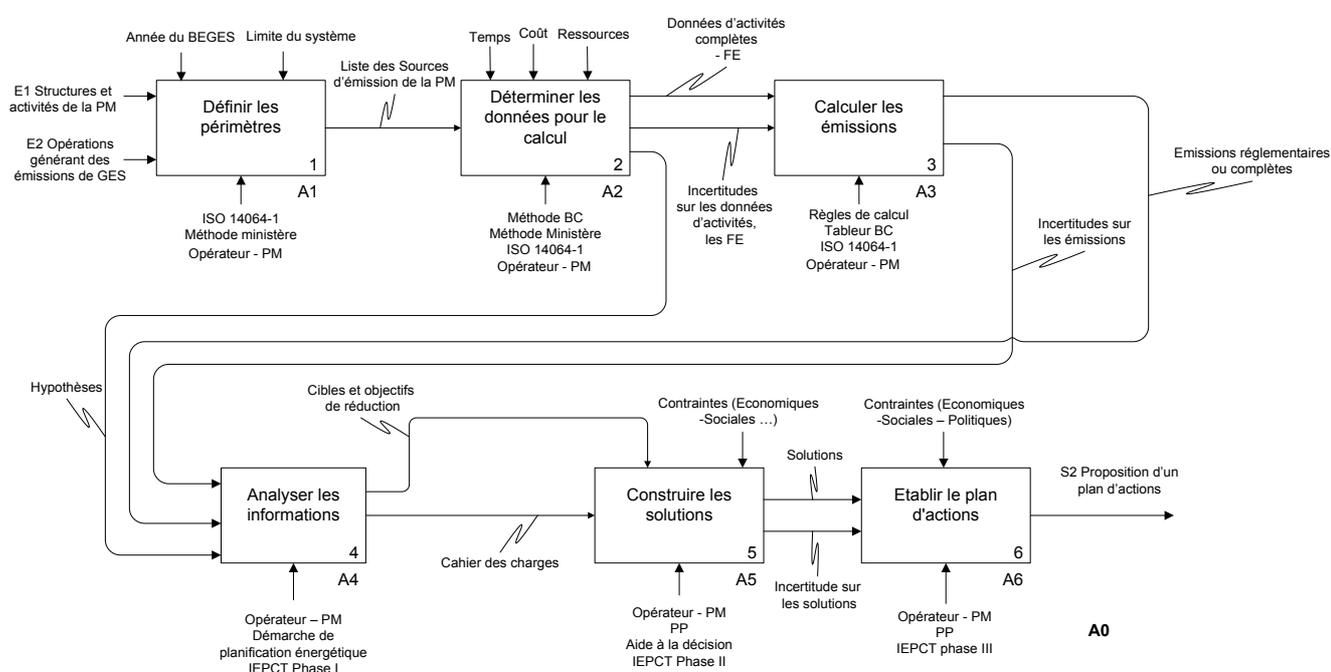


Figure 3–7 : IDEF0 BEGES – A0

Cette partie n'a pas pour but de revenir complètement sur les étapes déjà bien formalisées dans la méthode BEGES (chapitre 1 § 1/2.2.3. ) mais plutôt de se focaliser sur les liens entre les étapes, l'articulation de la réflexion avec parfois

<sup>8</sup> Nous renvoyons à (FIPS Publication 183, 1993; Serifi et al., 2009) pour une description du formalisme IDEF0

### CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique

plusieurs itérations à effectuer et aussi la présentation d'étapes et de paramètres que nous avons ajoutés pour améliorer cette méthodologie.

L'activité A1 est constituée de deux activités correspondant à la définition des périmètres de l'organisation pour le BEGES. Cette étape correspond à la présentation faite au chapitre 1 § 1/2.2.3.1.

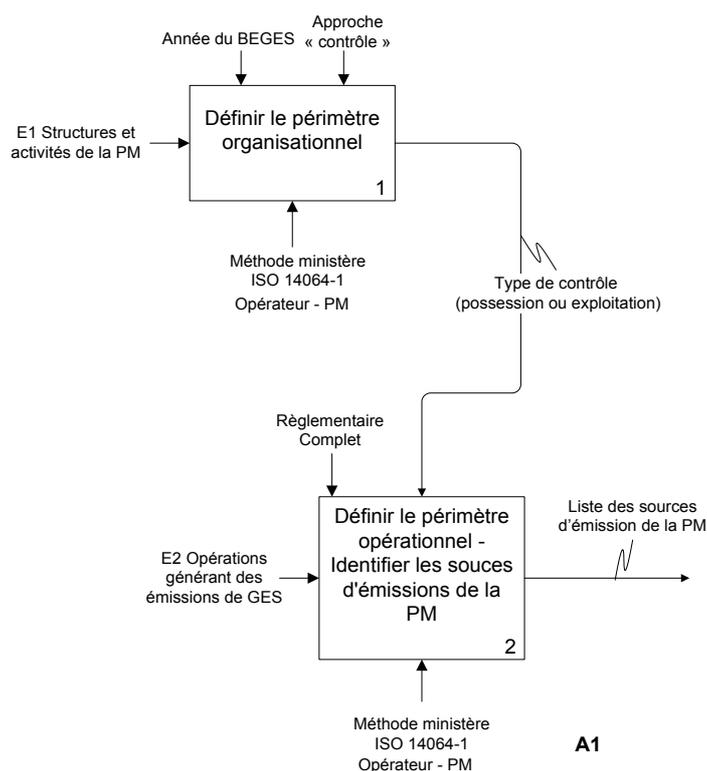


Figure 3–8 : IDEF0 BEGES – A1

Pour rappel, le périmètre organisationnel permet de définir le périmètre d'étude du BEGES (secteurs géographiques, établissements, bâtiments). Le périmètre opérationnel définit toutes les activités de la personne morale (PM) émettrices de GES. Cette étape devra être revue lors d'une future mise à jour du BEGES pour s'assurer que les périmètres de la PM n'ont pas changé. L'output de cette étape est une liste de toutes les activités de la PM générant des émissions de GES.

L'activité A2 est la recherche des données nécessaires comme expliqué précédemment dans le chapitre 1 § 1/2.2.3.2 de la démarche BEGES.

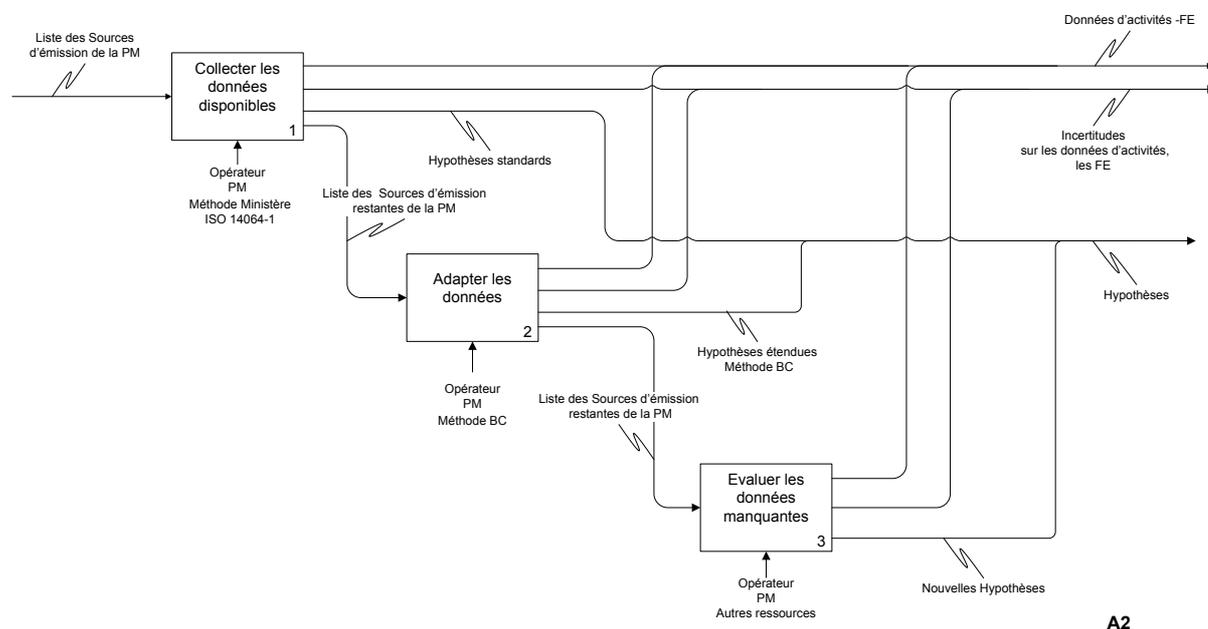


Figure 3-9 : IDEF0 BEGES – A2

Nous apportons ici une procédure montrant les différentes étapes possibles dans la collecte des données nécessaire pour réaliser l'activité A3. Les étapes possibles en A2 sont soumises à des contraintes de temps, de coût et de ressources. En effet, la collecte des données prend du temps et mobilise des personnes ce qui a un coût pour la PM. Les données à consolider sont les données d'activités, les facteurs d'émissions et les incertitudes associées à ces données. Les données d'activités sont le plus souvent consolidables avec les ressources comptables et les données du fournisseur d'énergie des sites de la PM. Cependant pour des activités plus spécifiques comme un process non classique, il est nécessaire d'adapter ces données en formulant des hypothèses. Des pistes de réflexions quant à ces hypothèses sont souvent issues du Bilan Carbone®. Les données d'activités impossibles à consolider, par manque de ressource ou de connaissance, devront être évaluées en formulant de nouvelles hypothèses obtenues en utilisant des

## CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique

données publiées représentatives des activités de la PM, par comparaison avec des activités similaires d'une autre PM. Les facteurs d'émissions observent la même logique, on utilise généralement les facteurs d'émissions classiques documentés dans la Base Carbone<sup>®</sup><sup>9</sup> de l'Ademe également disponibles dans le tableur du Bilan Carbone<sup>®</sup>. Certains facteurs d'émissions d'activités plus spécifiques peuvent demander un travail supplémentaire en formulant des hypothèses pour les évaluer indirectement, par exemple en utilisant des Bilan Carbone<sup>®</sup> d'une activité ressource pour évaluer la notre ou en combinant plusieurs facteurs d'émissions pour définir le facteur d'émission d'une nouvelle activité. Les incertitudes sur les données d'activités et sur les facteurs d'émissions sont aussi à collecter<sup>10</sup>. Les outputs de cette étape sont les données d'activités, les facteurs d'émissions et leurs incertitudes associées.

L'activité A3 est simplement l'étape de calcul des émissions à partir des données consolidées dans l'activité A2 suivant la formule précisée dans le chapitre 1 § 1/2.2.3.2.

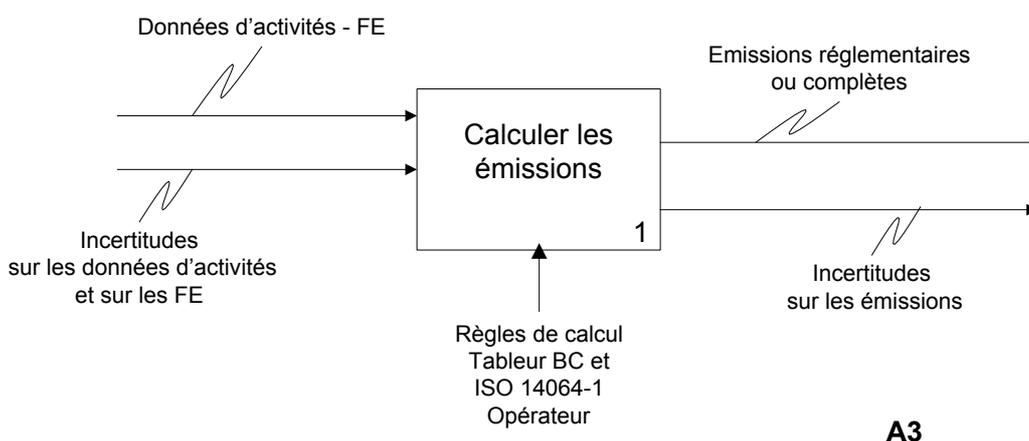


Figure 3–10 : IDEF0 BEGES – A3

<sup>9</sup> Disponible ici <http://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil>

<sup>10</sup> Nous y reviendrons précisément dans le § 3/3.1.2.

Les outputs de cette activité sont les émissions exploitables sous forme réglementaires ou complètes des GES de la PM et les incertitudes sur les émissions associées.

L'activité A4 comporte des activités complexes et fortement dépendantes de la situation particulière de la PM. Elle consiste à analyser les informations créées pendant les étapes précédentes. Les émissions calculées précédemment sont à structurer pour pouvoir les exploiter sous forme de tableaux ou de graphiques adaptés pour visualiser les informations utiles pour l'objet de l'étude (découpage adapté : par secteurs, activités etc.). En analysant ces informations, il est devenu possible de construire des cibles et des objectifs de réduction d'émission à atteindre par secteurs. Pendant cette étape, les premiers problèmes à résoudre apparaissent lorsqu'on s'interroge sur les secteurs d'activités à améliorer. Les problèmes classiques qui résultent du périmètre réglementaire peuvent être traités avec l'expert BEGES (le prestataire le réalisant par exemple). Cependant dans l'optique d'un bilan complet ou d'améliorations plus poussées du bilan réglementaire, les domaines abordés sortent souvent du cadre des connaissances de l'expert BEGES qui ne couvrent pas tous les secteurs d'activités : il est donc indispensable d'apporter une démarche capable de faire face à des problèmes complexes, multi-objectifs, techniques et non techniques. L'analyse et la construction de ces problèmes sont étudiées en utilisant la démarche de conception de planification énergétique détaillée plus loin (chapitre 3 § 3/3.2. ). Les démarches de conception vont permettre d'obtenir les éléments nécessaires à l'alimentation du cahier des charges qui donnera les éléments pour réaliser la prochaine étape (output).

## CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique

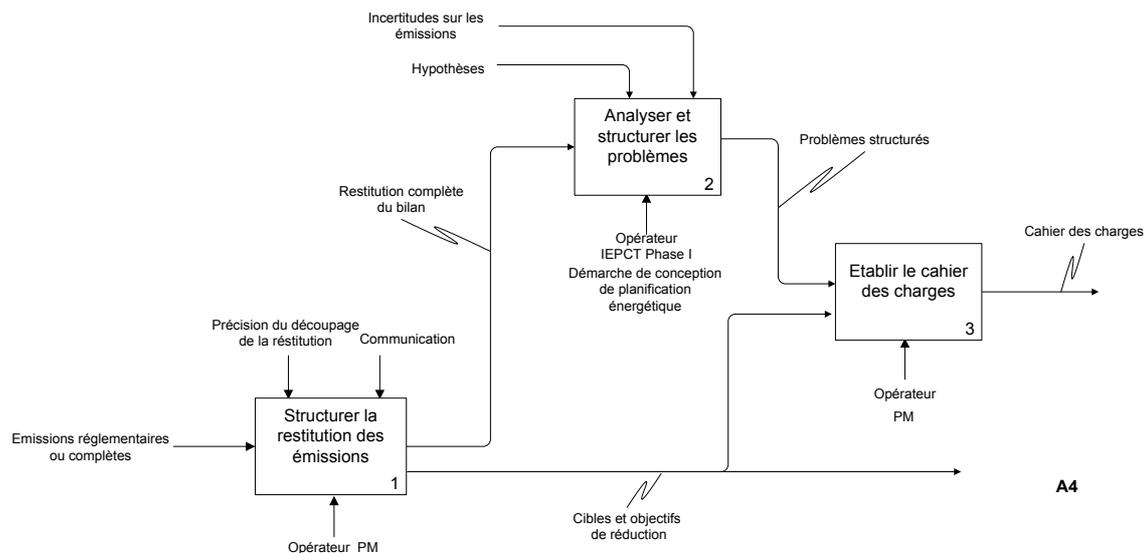


Figure 3–11 : IDEF0 BEGES – A4

Dans l'activité A5, il s'agit ici de proposer des solutions dans le but d'atteindre les objectifs fixés précédemment. Les solutions proposées sont d'abord standard, trouvées grâce à l'expertise de l'organisation ou du prestataire réalisant le BEGES, mais aussi innovantes. Dans le dernier cas, elles demandent une étude et une réflexion mobilisant le plus souvent d'autres acteurs qui ne sont pas forcément mobilisés dans la démarche BEGES dans le cadre d'une démarche de conception (chapitre 3 § 3/3.2. ). La proposition de solutions pour diminuer les émissions de GES engendre aussi une incertitude sur le gain de la solution<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> Nous y reviendrons précisément dans le § 3/3.1.2.

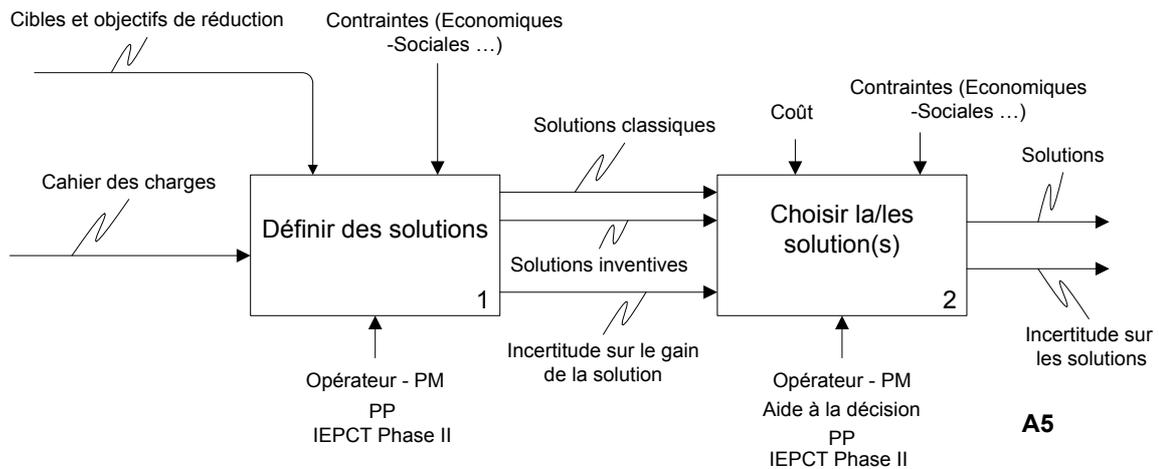


Figure 3–12 : IDEF0 BEGES – A5

Dans l'activité A6, la PM doit établir un plan d'action pour réduire ses émissions de GES. Les résultats consolidés du bilan en A4 ont permis d'élaborer des solutions possibles pour A5. Le plan d'action synthétise les principales actions de réduction possibles à mener par la PM. Ce plan d'action devra décrire les solutions envisagées pour réduire les émissions de GES et ces émissions devront être accompagnées d'une évaluation des réductions de GES qu'elles vont engendrer ainsi que des incertitudes liées à ce gain. Les postes à traiter en priorité seront les postes les plus émetteurs de la PM ainsi que les postes où les solutions sont les plus faciles et/ou économiques à réaliser.

Le plan d'action sera donc suivi d'une prise de décision sur les solutions à implémenter et leur mise en œuvre concrète (ses phases sont hors BEGES mais présentes dans l'activité A6).

Comme nous venons de la voir, la démarche même du BEGES est intrinsèquement liée à la démarche de conception d'un plan énergétique à l'échelle d'une organisation. Cette ressource méthodologique opérationnalisable est donc nécessaire pour qu'une organisation puisse effectivement et efficacement gérer ses

démarches d'évolution pour améliorer sa gestion énergétique et ses émissions de GES.

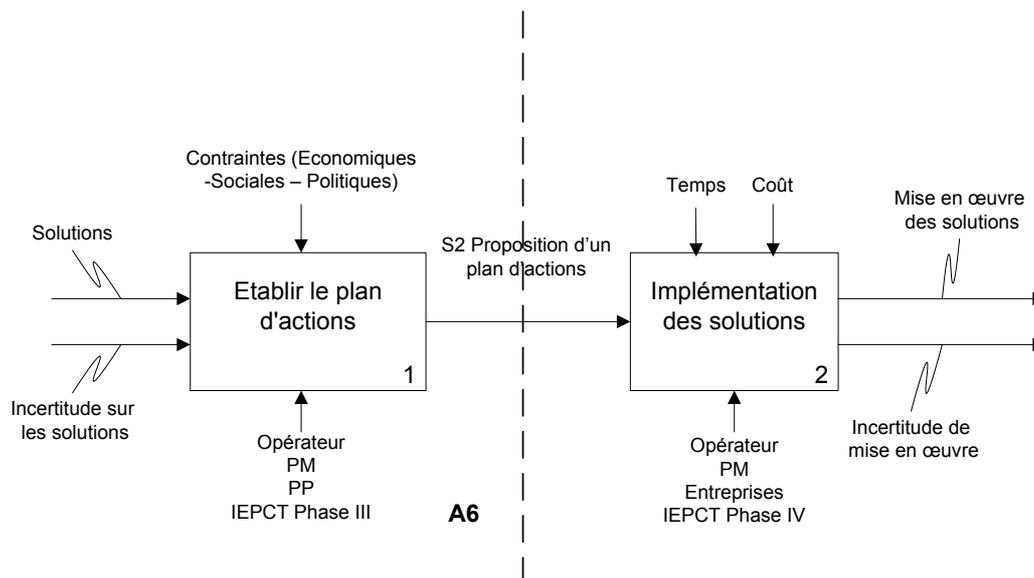


Figure 3–13 : IDEF0 BEGES – A6 et suite

### 3/3.1.2. Incertitudes sur le BEGES

Il est intéressant d'aborder la question de la gestion de l'incertitude dans le BEGES. Comme nous avons commencé à le présenter, il est nécessaire d'associer une incertitude aux données d'activités, facteurs d'émission et émissions de GES pour avoir une estimation de la marge d'erreur des calculs des estimations des émissions de GES. Du coup, l'incertitude devient nécessaire dans l'analyse des problèmes et la prise de décision dans le choix final des solutions. Nous avons fait le choix comme première approche, d'analyser l'incertitude du BEGES. Nous avons positionné les incertitudes impliquées dans les diverses activités du processus dans le schéma IDEF0 présenté au paragraphe précédent. Cette analyse apportera les réponses aux questions suivantes :

- Quels types d'incertitudes entrent en jeu dans le processus ?
- Quelles incertitudes sont évaluées/non évaluées ?
- Comment sont-elles évaluées ?
- Dans quelles mesures la connaissance des incertitudes peut-elle influencer le processus et ses résultats ?

L'analyse de ce processus avec l'outil IDEF0 nous a permis de repérer plusieurs types d'incertitudes déjà décrites et évaluées dans la littérature - (GIEC, 2000a, 2000b) : les incertitudes sur les facteurs d'émissions, sur les données d'activités et sur l'évaluation des émissions de GES. Elle a également permis d'identifier une nouvelle incertitude dans le plan d'action du BEGES : l'incertitude sur le gain en émissions de GES des solutions envisagées dans le plan d'action qui à notre connaissance est ni décrite et ni évaluée dans la littérature. En effet, chaque solution potentielle propose une amélioration (diminution) des émissions de GES ; ce gain est évalué en utilisant des analyses techniques et non techniques qui permettent de proposer une valeur dont la précision n'est pas parfaite. Cette incertitude, non évaluée pour l'instant dans le processus, nous paraît au moins aussi importante que l'évaluation des incertitudes des émissions de GES. Cette information supplémentaire va pouvoir être utilisée comme outils de décision pour sélectionner la/les futures solutions.

La fin du processus est marquée par le choix des solutions à mettre en œuvre pour diminuer concrètement les émissions de GES. L'incertitude sur le gain des solutions précédemment abordé permet d'avoir un premier outil pour sélectionner les solutions la plus viable pour ce qui est de la baisse des émissions de GES. Cependant d'autres facteurs comme le retour sur investissement, les aides financières et les pressions des parties prenantes sont également à prendre en compte et rendent la prise de décision bien plus complexe. Enfin, il existe aussi des incertitudes sur l'implémentation de futures solutions, incertitudes imputables aux problèmes inhérents aux travaux pour un chantier (pilotage de projet).

Ces incertitudes sont valables pour le bilan réglementaire (Scope 1&2) et pour le bilan complet (Scope 1,2 &3).

Localisation incertitude IDEF0	Type incertitude dans le BEGES	Bibliographie (référence ; ou absent)
<b>A2 – A3</b>	Incertitude sur les données et FE	GIEC – Bilan Carbone®
<b>A3 – A4</b>	Incertitude sur les émissions	GIEC - Bilan Carbone®
<b>A5 A5 – A6</b>	Incertitude sur le gain de la solution et de la solution elles même	Absent
<b>S2 suite</b>	Incertitude sur le choix et la mise en œuvre des solutions	Absent

Tableau 3-1 : Types d'incertitude dans une BEGES

Etat de l'existant :

Le Bilan Carbone® propose une méthodologie pour calculer les incertitudes liées à la recherche de données et aux calculs des émissions.

Le Bilan Carbone® estime les émissions par combinaison des facteurs d'émissions et des données d'activités. Les émissions totales d'une entité sont la somme des émissions de chaque activité qui sont, elles même, le produit d'un facteur d'émission et d'une donnée d'activité.

$$E = DA * FE$$

$$E_{total} = \sum E_i$$

- avec DA la donnée d'activité, FE le facteur d'émission et E les émissions engendrées et totales

Lors de la réalisation du bilan, l'approche des deux valeurs d'entrée que sont les données d'activités et les facteurs d'émission sont d'une précision imparfaite. Il est donc nécessaire d'évaluer l'incertitude avec laquelle ces valeurs d'entrée sont calculées.

### **1<sup>ère</sup> méthode :**

L'incertitude ou encore la marge d'erreur estimée dans le Bilan Carbone<sup>®</sup> est définie comme la valeur qui ne s'écarte pas de plus de X% de la valeur réelle et dont la probabilité est supérieure à 90% ou 95%. Autrement dit l'incertitude de X% représente la fourchette de valeur autour de la moyenne où nous sommes sûr à 90-95% de trouver la valeur réelle (intervalle de confiance).

Dans une première approche, la Bilan Carbone<sup>®</sup> évaluait les incertitudes des émissions par le cumul des incertitudes sur les données d'activité et sur le facteur d'émissions. La combinaison de l'incertitude amenée par le facteur d'émission et par la donnée d'activité est consolidée de la manière suivante :

$$Inc\text{ertitude} = 1 - ((1 - D) * (1 - FE))$$

où D représente l'incertitude associée à la donnée d'activité et FE l'incertitude associée au facteur d'émission.

L'incertitude globale des émissions était ensuite la somme des émissions incertaines de tous les postes évalués (ADEME, 2010).

### **2<sup>ème</sup> méthode :**

Cependant cette méthode n'est qu'une première approximation qui majore énormément l'incertitude ; elle a été remplacée par une méthode plus précise en accord avec les recommandations du GIEC en matière de bonnes pratiques et de gestion des incertitudes pour les inventaires nationaux (GIEC, 2000b).

Les méthodes du GIEC reposent sur la notion statistique des intervalles de confiance et des fonctions densité de probabilité pour évaluer les incertitudes. Cependant il est rarement possible d'établir ces fonctions du fait du manque de données statistiques disponible pour chaque valeur d'entrée. Dans ce cas, il faut travailler avec des petits volumes d'observations et des avis d'experts pour arriver à avoir une idée de l'incertitude.

La détermination de l'incertitude des facteurs d'émission se fait essentiellement en consultant la Base Carbone<sup>®</sup> de l'ADEME. On peut aussi la déterminer par calcul ou par une analyse de cycle de vie qui sera donc le plus souvent externe à l'analyse du

## CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique

bilan. Pour déterminer ensuite les incertitudes sur les données d'activités, nous utiliserons le plus souvent des avis d'expert en interne. Elles sont évaluées en fonction de la qualité et de la pertinence des données récoltées.

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la propagation des incertitudes dans le processus. Pour les inventaires des GES, deux méthodes sont essentiellement utilisées : la méthode statistique de Monte-Carlo et l'équation de propagations des erreurs.

Pour le Bilan Carbone<sup>®</sup>, l'équation de propagation des erreurs est retenue pour sa simplicité de mise en œuvre (en admettant les hypothèses que les incertitudes sont relativement faibles et que les données sont indépendantes). La méthode de Monte-Carlo n'est que rarement utilisée encore du fait de l'exigence d'un grand nombre de données (les données nécessaires ne sont pas disponibles), d'un investissement important et d'un temps de calcul assez long.

Pour utiliser l'équation de propagation des erreurs, il faut utiliser les équations suivantes :

– Si les données incertaines sont combinées par multiplication :  $U_t = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$

– en pratique  $U_t = \sqrt{U_{DA}^2 + U_{FE}^2}$

– Si les données incertaines sont combinées par addition :

$$U_{total} = \frac{\sqrt{(U_1 \cdot E_1)^2 + (U_2 \cdot E_2)^2 + \dots + (U_n \cdot E_n)^2}}{E_1 + E_2 + \dots + E_n}$$

- avec  $U_t$  le pourcentage d'incertitude associée au produit des quantités DA et FE
- avec  $U_{total}$  le pourcentage d'incertitude associée à la somme des émissions  $E_i$
- avec  $U_i$  le pourcentage d'incertitude associée à chacune des émissions  $E_i$

L'incertitude évaluée permet d'apporter une information sur la marge d'erreur possible sur l'estimation des émissions : ce calcul estime une fourchette de variation possible du total des émissions. Cet intervalle aide à conclure si un changement de hiérarchie des postes d'émissions évaluées est probable et ainsi à modifier le plan

d'actions qui en découle. Parallèlement cette information sur la marge d'erreur permet aussi d'améliorer la prise de décision sur les postes pour lesquels les variations au sein des valeurs possibles ne changent pas les conclusions (Association Bilan Carbone, 2013).

Cette analyse permet donc d'avoir une première information sur l'incertitude pour aiguiller et hiérarchiser la conception du plan d'actions. Le plan d'actions à fournir demande une évaluation des solutions potentielles pour diminuer les émissions évaluées par le Bilan Carbone<sup>®</sup> et de chiffrer le gain que ces solutions apporteraient. Cependant l'analyse du Bilan Carbone<sup>®</sup> sur l'incertitude s'arrête à l'incertitude liée aux émissions. Pour aller plus loin et apporter des informations supplémentaires pour la prise de décision, il faudrait dans l'idéal aussi chiffrer les incertitudes présentes sur le gain possible de la réduction des émissions qu'apportera la mise en place d'une nouvelle solution ainsi que les incertitudes induites par la prise de décision sur les choix des solutions à implémenter concrètement. Pour l'instant cette proposition reste sur une évaluation de l'incertitude par des experts comme l'incertitude sur les données d'activités.

#### Analyse typologique :

Plusieurs sources d'incertitudes sont présentes lors d'un inventaire d'émission de GES. D'après le GIEC, l'incertitude des inventaires résulte au minimum de trois processus (GIEC, 2000b) :

- Les incertitudes dues aux définitions (sens incomplet, imprécis ou définition incorrecte d'une émission ou absorption).
- Les incertitudes dues à la variabilité naturelle du processus à l'origine d'une émission ou d'une absorption.
- Les incertitudes dues à l'évaluation du processus ou de la quantité, y compris, suivant la méthode utilisée : les incertitudes dues aux mesures, les incertitudes dues à l'échantillonnage, les incertitudes dues aux données de référence dont la description peut être incomplète et les incertitudes dues à l'opinion d'experts.

### CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique

Le Bilan Carbone<sup>®</sup> est, une photo pour une année donnée des émissions de GES d'une entreprise, réalisé suivant la méthode de l'ADEME. Cependant il existe plusieurs techniques et méthodes pour pouvoir remplir et utiliser le tableur Bilan Carbone<sup>®</sup>. Ces différentes possibilités peuvent induire plusieurs niveaux d'incertitudes. Ces incertitudes peuvent être analysées suivant la grille typologique définie précédemment. Les incertitudes épistémiques apparaissent dans le processus par le manque de connaissance ou manque d'information disponible pour l'opérateur. Il existe souvent plusieurs méthodes pour évaluer un type d'émission ; le choix de la méthode va dépendre des informations disponibles ou accessibles pour le bilan. On choisira la méthode la plus précise ou, par défaut, celle applicable avec les informations que l'on a pu rassembler. Une analyse sera faite pour mobiliser au mieux les ressources accessibles pour réaliser le bilan. Pour améliorer ce bilan, la question de la mise en place d'une nouvelle démarche de consolidation de nouvelles données utiles doit être abordée. La mise en place de la nouvelle démarche devra, en plus d'apporter des nouvelles informations pour le Bilan Carbone<sup>®</sup>, apporter une valeur ajoutée pour l'organisation ou au moins ne pas apporter du travail ou un coût supplémentaire. Ces nouvelles données sont nécessaires pour pouvoir améliorer ou utiliser une méthode d'évaluation des émissions plus efficace. Les incertitudes linguistiques apparaissent lorsque les définitions des émissions sont énoncées de manières imprécises, incomplètes ou incorrectes. Ces problèmes sont liés à l'exhaustivité et à l'attribution de catégories de source pour les émissions. Les catégories doivent être claires et énoncées avec précision pour éviter tous doublons dans la comptabilisation des émissions. Ces incertitudes ne sont pas évaluées mais devront être éliminées le plus possible avant l'analyse des incertitudes. Les incertitudes stochastiques sont présentes à cause de l'erreur aléatoire au niveau de la collecte des données (d'activités ou nécessaires au calcul des facteurs d'émission). Ces erreurs sont inhérentes au processus d'émission et apparaissent indépendamment de notre connaissance du système (autrement dit cela ne dépend pas de notre limite de connaissance du système). Ces erreurs sont liées aux phénomènes naturels, comportementaux, sociétaux ou encore technologiques. Les

incertitudes apparaissent aussi lors de la prise de décision lors du choix des solutions proposées dans le plan d'action. Les critères choisis pour aider la prise de décision doivent être les plus certains possible c'est pour cela qu'il est intéressant de pouvoir connaître, en plus de l'incertitude engendrée par la prise de décision, l'incertitude sur les critères choisis eux-mêmes.

Incertitude typologique		Épistémique	Stochastique	Linguistique	Prise de décision
Incertitude processus					
Facteurs d'émission		X	X		
Données d'activités		X	X	X	
Émissions		X	X		X
Gains		X	X		X
Solutions		X			X

Tableau 3-2 : Comparaison incertitude typologique et processus

### 3/3.2. Proposition d'une démarche de conception de plan énergétique à l'échelle d'une organisation.

Compte tenu des verrous énoncés plus haut, et des améliorations nécessaires au BEGES que nous avons apporté précédemment, nous proposons ici une démarche opérationnalisable de conception d'un plan énergétique faisant la synthèse des attentes et besoins d'une organisation. La démarche s'articule autour de 9 étapes :

- a) Identification du périmètre de l'étude
- b) Identification des PP
- c) Identification du système
- d) Elaboration de la politique
- e) Identification et structuration des objectifs

## CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique

- f) Hiérarchisation des objectifs
- g) Identification des barrières
- h) Identification et structuration des problèmes
- i) Elaboration des concepts de solution

Ces étapes sont exposées en détail ci-dessous.

### a) Identification du périmètre dans le cadre de l'étude de conception d'une organisation

La première chose à définir est le périmètre de l'organisation qui correspond aux limites géographiques ou organisationnelles du système. Une organisation peut comporter plusieurs bâtiments, plusieurs secteurs et activités ou même plusieurs sites séparés géographiquement mais faisant partie intégrante du système.

Après avoir défini le périmètre organisationnel de l'organisation, il faut définir ses périmètres opérationnels c'est-à-dire ses activités et domaines d'action consommateurs ou producteurs d'énergie ou encore émetteurs de GES. Il est important de bien définir ce sur quoi l'on va devoir planifier pour avoir une bonne vision d'ensemble.

**Outils** : Cadre juridique (SIREN/SIRET) - BEGES

### b) Identification des acteurs locaux

La conception d'un projet autour de la transition énergétique nécessite l'implication et la participation de différents acteurs apportant leurs ressources, leur savoir et leur savoir-faire. Il est donc intéressant de pouvoir les identifier correctement pour pouvoir travailler avec eux et les faire interagir de manière efficace pour mener à bien le projet.

L'identification des acteurs d'un projet est une étape obligatoire pour un projet de planification énergétique. Les parties prenantes ont une influence dans la manière de formuler, structurer et résoudre un problème, que cette influence soit positive ou négative (Banville et al., 1998). Cette analyse doit être faite spécifiquement pour

chaque projet, car si les acteurs sont (à peu près) les mêmes, leur rôle par rapport aux projets ne l'est pas forcément.

On propose d'utiliser les typologies des PP expliquées dans l'analyse des PP du chapitre 2 § 2/3.

**Outils** : Typologies des PP, Rich picture

c) Identification du système énergétique

Pour commencer l'élaboration d'une planification énergétique, il s'agit tout d'abord de comprendre la situation actuelle de l'organisation. La définition de la situation initiale du projet et la récolte des informations nécessaires constituent une phase cruciale qui va conditionner la qualité de l'analyse qui va suivre. Pour connaître ces informations, il faut détailler les domaines d'activités et les processus consommant de l'énergie. De notre point de vue, la compréhension des procédés responsables des émissions de GES de l'organisation va aider à modéliser le système énergétique et fera partie intégrante de notre modèle.

Pour continuer l'exploration du système énergétique et GES, on peut en améliorer l'analyse en étudiant son évolution temporelle (passé, présent, futur) et sa situation avec les autres systèmes énergétiques et GES en interaction.

Il est donc important de commencer par décrire correctement ce que l'on entend par différents systèmes à étudier (énergétique et GES) :

Système énergétique :

- Il consomme, produit, transporte, transforme, stocke de l'énergie pour les bâtiments, les transports, l'industrie et l'agriculture d'une organisation.
- Les activités utilisant un ou des processus énergétiques pour être réalisées entraînent un effet indésirable qui est la production de GES.

Autres systèmes :

- Systèmes ne nécessitant pas la mise en œuvre d'un processus énergétique.
- Certaines activités entraînent des émissions de GES directes ou indirectes sans consommation d'énergie.

## CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique

Le BEGES permet d'avoir une « photo » des émissions de GES de l'organisation étudiée. Il permet de consolider les données pour des procédés consommant de l'énergie ; pour cela il est nécessaire de disposer d'un pilotage et d'un suivi de ses consommations d'énergie mais aussi de les compléter avec l'estimation des émissions des procédés non-consommateur d'énergie.

**Outils** : Multi-Ecrans, BEGES, diagrammes énergétiques

### d) Élaboration de la politique énergétique et GES

Le processus de conception de plan énergétique passe par la mise en place de l'élaboration par la direction d'une politique énergétique claire, précise et adaptée à l'organisation. Elle devra inclure obligatoirement (Campbell, 2012) :

- Un engagement en matière d'amélioration continue de la performance énergétique.
- Un engagement en matière de disponibilité des informations et des ressources nécessaires à la réalisation.
- Un engagement en matière de respect, par l'organisation, des exigences légales et autres dans le domaine de la consommation et du rendement énergétique.

Une première piste pour commencer un état des lieux de l'organisation en matière de politique énergétique et de management de l'énergie est de savoir à quel niveau d'organisation initiale elle se situe. Pour cela nous pouvons utiliser une matrice de management de l'énergie. En effet, d'après (Gordić et al., 2010), « la matrice fournit une façon efficace de démarrer une nouvelle approche sur les problèmes énergétiques dans une entreprise » (p2784). Cette matrice est un outil permettant l'évaluation du niveau de l'entreprise du point de vue du management de l'énergie en évaluant l'implication de celle-ci sur six domaines clés : la politique de management de l'énergie, l'organisation, la motivation du personnel, le suivi, contrôle et la consolidation des informations des systèmes, la sensibilisation du personnel et la communication et enfin les investissements. Le Carbon Trust, propose une autre matrice formée aussi sur six domaines clés : la politique, l'organisation, l'entraînement, la mesure de performance, la communication et les investissements.

En outre, la matrice de management de l'énergie aide les organisations à évaluer leurs forces et leurs faiblesses sur les domaines d'évaluation de la matrice (Carbon Trust, 2011).

La matrice du management de l'énergie utilisée ici est une adaptation de celle de (Carbon Trust, 2011; Gordić et al., 2010). Elle reprend les principaux domaines d'évaluation qui nous paraissent les plus pertinents. De plus, nous avons adapté cette matrice de l'énergie à la problématique des émissions de GES en créant une matrice du management des GES qui reprend les mêmes domaines d'évaluation et permet un état des lieux du management des GES de l'organisation. Nos six domaines d'évaluation sont : la politique de management de l'énergie/des GES, l'organisation, la formation du personnel, le suivi, le contrôle et la consolidation des informations des systèmes, la communication et les investissements.

Les matrices de management montrent l'état actuel de l'effort de l'organisation en matière de management de l'énergie et GES et les aspects qui vont devoir être améliorés (elles montrent aussi les niveaux de management que l'organisation veut atteindre dans le futur).

**Outils** : Matrice du management de l'énergie / Matrice du management des GES, Multi-Ecrans

e) *Identification et structuration des objectifs*

Il est impératif d'arriver à lister et à classer les objectifs d'une organisation. Cependant il n'est pas aisé pour les décideurs de cibler les objectifs importants pour l'organisation. Pour cela, il faut avoir une vision globale de ses activités et attentes ainsi que des facteurs pouvant l'influencer. En effet, nous avons vu précédemment qu'une organisation est influencée et peut-être influencée par diverses parties prenantes ayant chacune ces intérêts dans l'atteinte de différents objectifs. La participation et l'implication des parties prenantes dans l'identification des objectifs est donc d'une importance primordiale (Neves et al., 2015).

### CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique

Il est facile de dire qu'il faut lister les objectifs mais il est plus difficile de réussir à les trouver et à les mettre en relation. Il est alors nécessaire de s'appuyer sur une ou plusieurs méthodes visant à structurer la pensée et à orienter la démarche de travail. Les principales méthodes utilisées sont le « Value-focused thinking » et plus particulièrement le « means-end objective network » (Keeney, 1992), le « cognitive mapping » (Eden, 2004, 1988) ainsi que le « causal mapping » (Bryson et al., 2004). Dans un premier temps, nous allons chercher à identifier une liste d'objectifs. Pour cela nous nous sommes appuyés sur la procédure du « Value focused thinking » qui commence par une simple série de questions/réponses pour engager une discussion ouverte avec l'organisation dans le but d'identifier les objectifs.

[Par rapport à la problématique de départ]

Q1 : Quels seraient vos souhaits, vos aspirations ?

Q2 : Quels problèmes voudriez-vous éviter ?

Q3 : A quels contraintes ou limites pensez-vous avoir à faire face ?

Q4 : Quels sont vos objectifs ultimes ? Quelles sont, pour vous, vos valeurs fondamentales ?

Pour représenter les objectifs repérés précédemment, nous pouvons utiliser plusieurs outils. La « causal mapping » est un diagramme dans lequel des idées ou actions sont reliées avec d'autres idées en exprimant la relation de cause et conséquence au travers de flèches. Lorsque qu'un individu utilise le « causal mapping » pour aider à clarifier sa pensée il est appelé « cognitive mapping » (Bryson et al., 2004; Neves, 2012).

La « cognitive map » permet d'améliorer la structuration, la hiérarchisation et la mise en relation des objectifs à réaliser pour résoudre un problème et trouver des solutions. Elle s'utilise le plus souvent pour représenter les discussions d'une interview (Eden, 2004). La « cognitive map » s'articule avec une structure s'approchant de la forme d'un graphe « means-ends » en essayant d'identifier un/des but(s) au sommet de la hiérarchie (Eden, 2004).

Il s'agit ensuite de structurer la liste d'objectifs obtenu : le « means-end objective network » permet de faire la différence entre les différents objectifs trouvés. Les objectifs fondamentaux sont les objectifs concernant la finalité à atteindre pour un décideur dans un contexte particulier. Les objectifs de moyen sont des méthodes pour atteindre ces finalités. Pour différencier ces objectifs, (Keeney, 1996) propose de poser la question « Pourquoi est-ce que cet objectif est important dans ce contexte de décision ? ». Si la réponse montre que cet objectif est important car il est nécessaire pour atteindre un autre objectif : c'est un objectif de moyen, si elle désigne un objectif qui est une des raisons essentielles dans le contexte de décision : c'est un objectif fondamental.

Cette vision vient compléter et structurer correctement les informations issues des « cognitive-map » en se posant les bonnes questions.

Il est important de savoir quels sont ces objectifs fondamentaux pour pouvoir par la suite orienter les décisions stratégiques (notamment en arrivant à les hiérarchiser). Ces objectifs fondamentaux (stratégiques) peuvent se caractériser de plusieurs façons : ils doivent être pertinents dans plusieurs contextes de décision, sur une longue période de temps et pour plusieurs personnes dans l'organisation (Keeney, 1992).

Il est également intéressant ici de relier les objectifs identifiés avec les analyses Multi-Ecrans précédentes car cela permet de séparer les objectifs en fonction des différents niveaux de système.

**Outils** : Questionnaire, Value Focused Thinking, causal map, means-ends objective network, Multi-Ecrans

f) *Hiérarchisation des objectifs*

Une fois les objectifs fondamentaux identifiés, il est intéressant de les classer par ordre d'importance et de priorité pour l'organisation. Cette hiérarchisation des objectifs va permettre de construire la future stratégie de l'organisation et peut aussi servir d'outil de communication en interne et à l'externe. Les objectifs fondamentaux

### CHAPITRE 3 Démarche de formulation des problèmes de planification énergétique

permettent de structurer les intérêts de l'organisation dans un contexte de décision donnée et peuvent servir base de réflexion pour élaborer et évaluer les prochaines solutions à adopter (Keeney, 1992). L'analyse Multi-Ecrans peut y contribuer car le système y a été analysé dans son environnement.

Pour améliorer encore la visibilité de ces objectifs, on peut les compléter par la définition d'un attribut qui va permettre de clarifier la signification de l'objectif et de définir une mesure pour suivre son évolution et son niveau de sa réalisation. La définition d'un attribut pour chaque objectif fondamental va permettre de faciliter et d'améliorer l'analyse pour la prise de décision (Keeney, 1992).

Il existe trois types d'attribut : les attributs naturels, construits et de procuration (Keeney and Gregory, 2005). Un attribut naturel est une donnée, souvent physique, qui peut être mesurée et donnant directement des informations comptables sur l'objectif à quantifier. Par exemple, si l'objectif est de diminuer les émissions des GES, la quantité de CO<sub>2eq</sub> rejetée est un attribut naturel. Un attribut de procuration possède les mêmes propriétés qu'un attribut naturel mais quantifie indirectement l'objectif concerné. Cet attribut est utilisé quand il est difficile de trouver un attribut naturel pour quantifier un objectif. Dans l'exemple précédent, nous pourrions utiliser la quantité d'énergie consommée comme attribut. Cet attribut ne mesure pas directement les émissions de GES mais on sait que ces attributs sont reliés (diminuer sa consommation énergétique entraîne une diminution de ses émissions de GES), on obtient une information moins précise qu'avec un attribut naturel mais il permet d'avoir une idée comptable de l'évolution de l'atteintes des objectifs concernés. Pour compléter, on peut dire que pour établir un attribut de procuration pour un objectif fondamental, on pourra piocher dans les objectifs de moyens liés à cet objectif fondamental possédant eux un attribut naturel plus facile à quantifier. Les attributs construits sont utilisés quand il n'existe pas d'attribut naturel, ni d'attribut de procuration que l'on peut identifier, pour mesurer directement l'objectif concerné. Il est alors nécessaire de « construire » un élément d'évaluation. Cette approche est utilisée pour les objectifs concernant le plus souvent des données sans dimension (e.g. diminuer la peur d'une personne, augmenter l'intérêt pour un produit, améliorer

l'image d'une entreprise). Le modèle ENV (Cavallucci et al., 2011) peut aussi aider à formuler les attributs, qu'ils soient naturels, construits ou de procuration.

**Outils** : Objective hierarchy, typologie des attributs, modèle ENV

g) Identification des barrières

Une dimension manque encore celle de l'identification des barrières. En effet, disposant des objectifs, il est indispensable d'identifier les obstacles qui empêchent l'atteinte des objectifs. Cette étape est primordiale non pas pour la formulation des obstacles eux-mêmes, mais pour l'identification des registres de données primordiaux pour la réussite du projet.

**Outils** : Tongs-model, typologie des PP, consequence map

h) Identification et structuration des problèmes

Une fois le périmètre, la politique et les objectifs de l'organisation correctement définis, on peut établir l'hypothèse que la situation initiale est maîtrisée et permet d'avoir une vision globale pour commencer la phase d'élaboration et de structuration des problèmes.

Il s'agit ici d'une phase plus technique qui est à ce jour particulièrement mal outillée : c'est la transformation des problèmes en contradictions. Comme énoncé au chapitre 2, le concept de contradiction est loin d'être évident et simple, la formulation des contradictions nécessite un véritable accompagnement méthodologique, d'où l'intérêt fondamental de cette phase dans la démarche.

**Outils** : modèle ENV, outils d'identification et de construction des contradictions

Cette étape et les outils associés ont nécessité un travail spécifique que nous développerons dans la Partie 2 de cette thèse. Dans un souci pédagogique nous avons choisi de ne pas entrer davantage dans les détails ici. Nous assemblerons l'ensemble des dimensions contributives de ce travail dans le chapitre conclusif.

i) Élaboration de concepts des solutions

Cette phase concerne en fait l'élaboration des concepts de solutions. En effet, à partir des problèmes structurés précédemment, ces concepts de solution seront précisés plus loin dans la démarche de manière à être mis en œuvre puis implémentés.

**Outils** : outils de résolution des contradictions

La démarche s'articule autour de deux phases supplémentaires : la phase de prise de décision (phase j), et la phase de construction détaillée et d'implémentation des solutions (phase k).

Ces deux phases sont bien évidemment importantes, mais ne font pas explicitement partie du périmètre de ce travail de recherche. Nous renvoyons en particulier aux travaux de Mirakyan (Mirakyan, 2014; Mirakyan and De Guio, 2014, 2013) pour approfondir ces deux étapes. Nous avons bien évidemment veillé, compte tenu des contraintes que nous nous sommes fixés, à ce qu'il y avait une compatibilité entre les travaux, en particulier grâce à l'utilisation de la contradiction comme outil de formalisation commun.

### **3/4. Conclusion du chapitre 3**

Le chapitre 3 nous a conduits à construire une démarche de conception du plan énergétique à l'échelle d'une organisation. Forts des éléments managériaux et conceptuels identifiés et analysés dans les chapitres 1 et 2, nous avons pu identifier quels étaient les manques ou tout du moins les points d'inachèvement des travaux menés antérieurement (en particulier ceux de (Mirakyan, 2014)). Ainsi l'objectif de nos contributions, comme précisé dans l'introduction de cette thèse et rappelé dans l'introduction du chapitre 3, est de pouvoir connecter et lier les résultats.

Ainsi, la fin de la phase I, (Mirakyan, 2014) vise à formuler le problème sous forme de contradiction car les outils mobilisés ensuite s'appuient sur ce type de formulation. Par rapport aux travaux de Mirakyan, l'objectif de notre recherche n'était pas de compléter l'ensemble des phases décrites dans l'IEPCT, mais bien premièrement de changer d'échelle d'analyse (passer de la ville ou territoire à une organisation en particulier) et deuxièmement de rendre davantage opérationnalisable la Phase I. Par l'analyse construite dans cette première partie de notre recherche, nous avons pu identifier qu'il ne s'agissait pas seulement de mieux expliquer comment réaliser la phase I, mais bien de faire face à de réels verrous auxquels la théorie de la conception de manière générale cherche à répondre. Ces verrous sont synthétisés dans le paragraphe 3/2. : le verrou sur les données d'entrée (origine diverse et hétérogène), le verrou sur la prise en compte des PP (experts et non-experts), le verrou sur la structuration des problèmes (identification des contradictions pour une résolution quelque soit le terme, de court à long terme, et le degré d'originalité, dans et hors des domaines de compétence de l'expert, classique voire innovante).

La mise en application de la démarche (cf. chapitre 4) que nous proposons nous permettra de tester si nous avons effectivement réussi à lever les verrous.

## CHAPITRE 4 APPLICATION AU CAS DE LA PLANIFICATION ENERGETIQUE DU SONNENHOF

---

Ce chapitre 4 est le chapitre de déploiement de la démarche sur notre terrain d'application : le Sonnenhof. Face à l'obligation de réaliser leur BEGES, l'organisation s'est posé des questions en termes de management des GES et de l'énergie. Conséquence d'une volonté de réduire les coûts énergétiques et d'une volonté globale de réduire son impact carbone, l'organisation se trouvait face à une difficulté de prendre des décisions dans ces domaines. Après avoir présenté les caractéristiques majeures du Sonnenhof, nous allons déployer les éléments de terrains que nous avons pu construire, à savoir ses BEGES (réglementaire scopes 1&2 et complet scopes 1,2&3) et le déploiement de notre démarche qui compte tenu de l'étendue du cas, n'a pu être déployée que partiellement tout en permettant de tirer certaines conclusions. Nous montrons également comment poursuivre l'étude. Un exemple complet de notre démarche est proposé dans la partie 2 du mémoire.

### **4/1. Présentation générale de la Fondation Sonnenhof**

La Fondation Protestante du Sonnenhof est une structure d'accueil, d'hébergement, d'éducation et de travail pour des personnes en situation de handicap. Le site principal se situe à Bischwiller dans le Bas-Rhin. Le Sonnenhof est aujourd'hui constitué d'une vingtaine d'établissements et emploie quelques 800 personnes qui assurent la gestion et l'accompagnent de plus de 1000 personnes, personnes en situation de handicap de tous âges porteuses de déficience mentale, d'autisme ou de poly-handicap, mais aussi de personnes âgées dépendantes. Le défi de l'ensemble des collaborateurs est d'offrir chaque jour un accompagnement et des soins de qualité, dans le respect de la différence et de la fragilité de chaque personne. De plus cet accompagnement est réalisé conformément à la conviction de la

Fondation qui est que « Chaque vie est une lumière » qui induit l'attention à l'implication de tous.

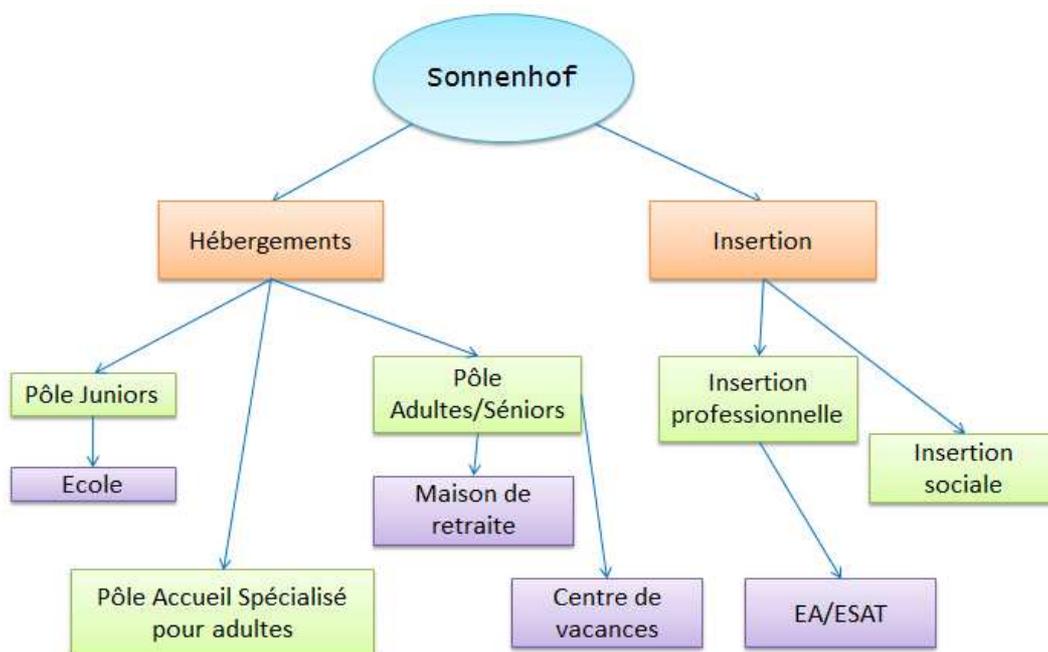


Figure 4–1 : Pôles d'activités du Sonnenhof

En 2012, le Sonnenhof à l'instar de nombreuses organisations dont les effectifs dépassent les 500 personnes, s'est trouvé dans l'obligation légale de réaliser son BEGES. A cette époque, il travaillait déjà avec ESSE, notamment pour la mise en place d'une chaufferie biomasse visant à assurer la production d'eau chaude et de chauffe sur le site de Bischwiller, nous les avons donc sollicités pour constituer notre terrain d'application de ce travail de thèse.

## 4/2. Approche BEGES du Sonnenhof

Notre travail de thèse a commencé au cours de l'année 2013. De ce fait, le BEGES réglementaire de l'année 2011, publié en fin d'année 2012, n'a pas pu bénéficier des réflexions menées dans le cadre de cette recherche. Ainsi nous allons présenter dans un premier temps, les résultats obtenus avec une approche classique du BEGES. Nous les discuterons dans un second temps par rapport à l'analyse que nous avons présentée dans le chapitre 3.

### 4/2.1. Le BEGES du Sonnenhof : approche classique

- BEGES du Sonnenhof Scope 1&2 (réglementaire)

Dans le cadre du BEGES, 13 sites identifiés par leur numéro SIRET ont été analysés.

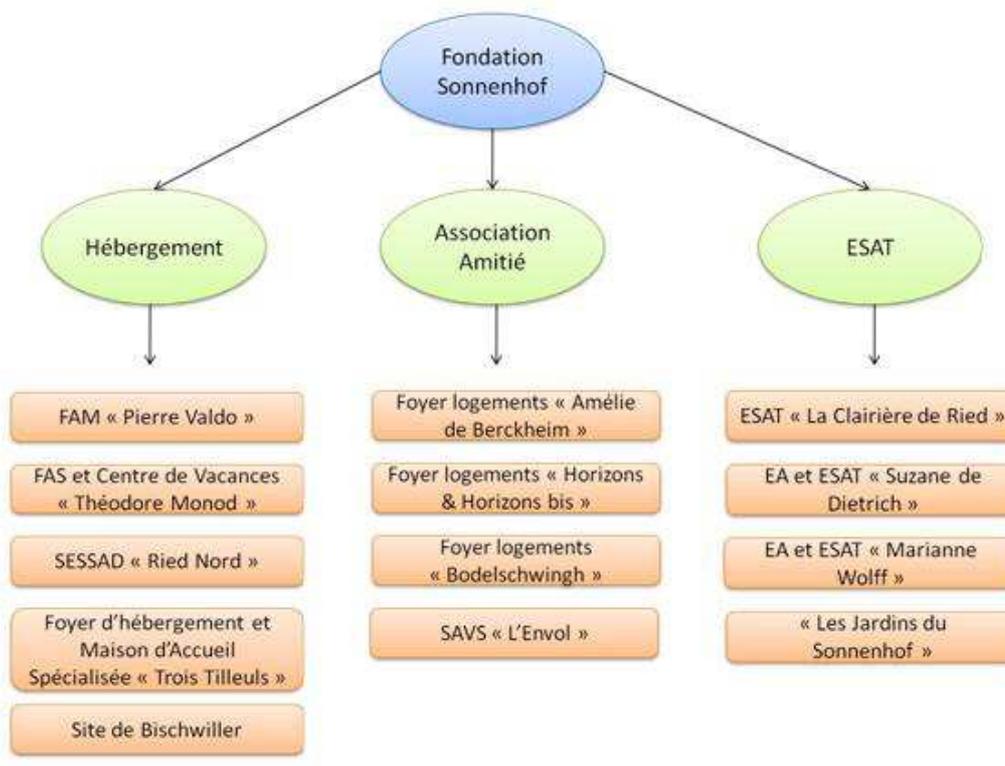


Figure 4–2 : Les 13 sites analysés pour le BEGES

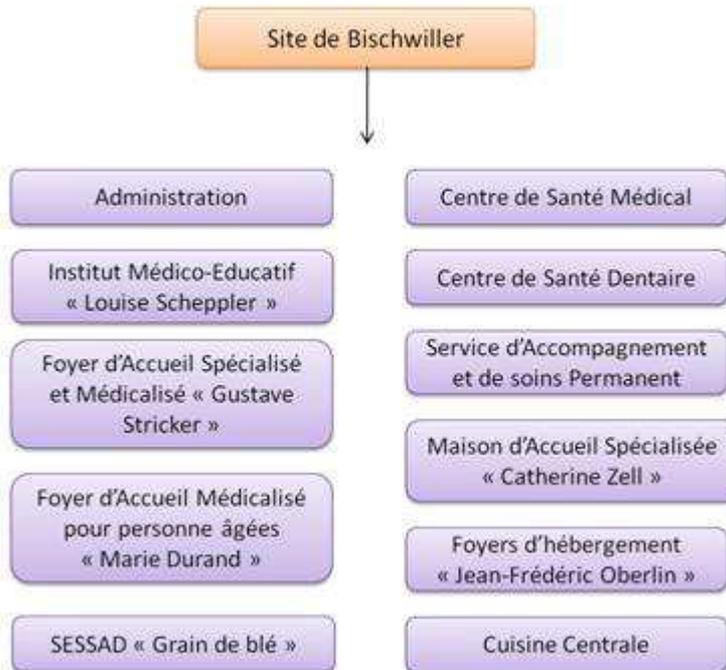


Figure 4–3 : Etablissements du site de Bischwiller

Les résultats portent sur le BEGES réglementaire du Sonnenhof pour l'année 2011 et sur le plan d'actions qui propose des solutions pour diminuer les émissions de GES quantifiées lors de ce bilan.

Compte tenu des activités de la Fondation Sonnenhof, les postes d'émissions de GES pris en compte sont les suivants :

- Émissions directes des sources fixes de combustion (n°1) ;
- Émissions directes des sources mobiles à moteur thermique (n°2) ;
- Émissions directes fugitives (n°4) ;
- Émissions indirectes liées à la consommation d'électricité (n°6).

Ces postes correspondent aux sources suivantes :

- Combustions d'énergies de sources fixes ;
- Combustions de carburants de sources mobiles ;
- Fuites de fluides frigorigènes ;
- Emissions fugitives de l'agriculture (engrais et élevage)
- Production de l'électricité, son transport et sa distribution

Les émissions directes de GES ont été quantifiées par poste et pour chaque GES en tonnes et en tonnes équivalent CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2eq</sub>).

## CHAPITRE 4 Application au cas de la planification énergétique du Sonnenhof

		Émissions de gaz à effet de serre (en tonnes)					
		Année de référence (et année du premier bilan)					
Catégorie d'émissions	Postes d'émissions	CO <sub>2</sub> (t)	CH <sub>4</sub> (t)	N <sub>2</sub> O (t)	Autres gaz (t)	Total (t CO <sub>2</sub> eq)	CO <sub>2</sub> b (t)
Émissions directes	1 Émissions directes des sources fixes de combustion	1 529	0.1	0.1	0	1 553	114
	2 Émissions directes des sources mobiles à moteur thermique	202	0	0	0	203	9
	3 Émissions directes des procédés hors énergie	0	0	0	0	0	0
	4 Émissions directes fugitives	0	10.3	0.3	0	359	0
	5 Émissions issues de la biomasse (sols et forêts)						
	<b>Sous total</b>		<b>1 731</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2 115</b>

Facultatif
 CO<sub>2</sub> b CO<sub>2</sub> issu de la biomasse

Figure 4–4 : Synthèse des émissions directes par poste d'émission de GES (année 2011)

Le total des émissions directes hors biomasse de la Fondation Sonnenhof pour l'année 2011 est de 2115 tCO<sub>2</sub>eq.

Les émissions indirectes de GES associées à la consommation d'électricité, de chaleur ou de vapeur importée ont été quantifiées par poste et en tonnes équivalent CO<sub>2</sub>.

		Émissions de gaz à effet de serre (en tonnes)					
		Année de référence (et année du premier bilan)					
Catégorie d'émissions	Postes d'émissions	CO <sub>2</sub> (t)	CH <sub>4</sub> (t)	N <sub>2</sub> O (t)	Autres gaz (t)	Total (t CO <sub>2</sub> eq)	CO <sub>2</sub> b (t)
Émissions indirectes associées à l'énergie	6 Émissions indirectes liées à la consommation d'électricité					145	
	7 Émissions indirectes liées à la consommation de vapeur, chaleur ou froid					0	
	<b>Sous total</b>					<b>145</b>	

Facultatif
 CO<sub>2</sub> b CO<sub>2</sub> issu de la biomasse

Figure 4–5 : Synthèse des émissions indirectes associées à l'énergie par poste d'émissions de GES (année 2011)

Le total des émissions indirectes associées à l'énergie de la Fondation Sonnenhof pour l'année 2011 est de 145 tCO<sub>2eq</sub>.

De plus, conformément aux attentes (chapitre 1), les incertitudes ont été évaluées.

Les émissions de GES sont calculées en ordres de grandeur, avec estimation des incertitudes. Ces incertitudes sont de deux ordres :

- Incertitude sur la donnée

Cette incertitude traduit la précision dans la connaissance de la donnée elle-même. Certaines données sont référencées de façon fiable, comme par exemple les consommations mesurées d'électricité ou de carburant, tandis que d'autres sont estimées ou extrapolées à partir de ratios sectoriels ou de résultats d'enquête. Globalement les incertitudes sur les données peuvent ainsi varier de 2 à 50%.

- Incertitude sur le facteur d'émissions (FE)

Les FE inclus dans la Base Carbone® de l'ADEME sont des valeurs moyennes qui résultent de différentes études du type analyse du cycle de vie (ACV). Ils présentent des taux d'incertitude variables – de 5 à 50% – selon validité et source des études utilisées.

Dès lors, les résultats obtenus n'ont pas beaucoup de sens au-delà de 2 à 3 chiffres significatifs.

En tout état de cause, cette imprécision difficilement réductible ne fait en rien obstacle à la finalité principale de la démarche, qui se veut avant tout un tremplin vers des actions de réduction des émissions de GES.

La hiérarchie des émissions et leur suivi méthodologique régulier sont les éléments essentiels de cette démarche.

Dans le cadre de ce bilan, les incertitudes ont été quantifiées par poste :

## CHAPITRE 4 Application au cas de la planification énergétique du Sonnenhof

Catégories d'émissions	Postes d'émissions		Incertitude
<b>Émissions directes</b>	1	Émissions directes des sources fixes de combustion	5%
	2	Émissions directes des sources mobiles à moteur thermique	8%
	3	Émissions directes des procédés hors énergie	
	4	Émissions directes fugitives	29%
	5	Émissions issues de la biomasse (sols et forêts)	
<b>Émissions indirectes associées à l'énergie</b>	6	Émissions indirectes liées à la consommation d'électricité	10%
	7	Émissions indirectes liées à la consommation de vapeur, chaleur ou froid	
<b>Total des émissions comptabilisées</b>			<b>6%</b>

Figure 4–6 : Incertitudes par postes d'émissions du BEGES du Sonnenhof pour l'année 2011

L'incertitude globale de ce bilan 2011 des émissions de GES des catégories 1 et 2 est de 6%, pour des émissions totales comptabilisées (hors biomasse) de 2260 tCO<sub>2eq</sub>.

Nous avons ensuite réorganisé les émissions pour avoir une vision de la répartition des émissions par rapport aux secteurs économiques clés (Figure 4–7).

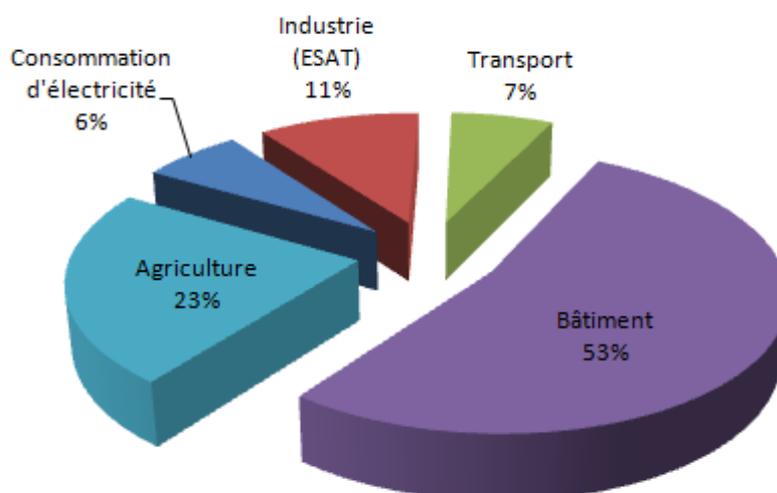


Figure 4–7 : Répartition des émissions par secteur clé du Sonnenhof (bilan réglementaire 2011)

Cette vision permet de voir l'importance des principaux secteurs du Sonnenhof et permet d'orienter, en première approche, le choix des secteurs importants à cibler pour entreprendre les actions de réductions des émissions de GES. Ainsi, une fois le bilan réalisé, nous avons réalisé un plan d'actions basé sur des solutions classiques et des solutions déjà en cours de développement par le Sonnenhof. Le plan d'actions de l'étude de 2012 est résumé en Figure 4–8.

Ce plan d'actions est constitué de plusieurs orientations. Le Sonnenhof a procédé en 2012 à la définition de nouveaux marchés d'exploitation de ses installations de chauffage (chaufferie biomasse), de façon à favoriser le renouvellement des installations et la réduction des consommations d'énergies fossiles. Les cibles d'économies sont à atteindre à partir de 2013.

Concernant le bâti, le Sonnenhof a commencé l'isolation des combles de plusieurs de ses bâtiments. La fondation a aussi entrepris de reconstruire un bâtiment (internat) à la norme « RT 2005 moins 30% ».

## CHAPITRE 4 Application au cas de la planification énergétique du Sonnenhof

Pour diminuer ses consommations d'électricité, le Sonnenhof a commencé un programme de relamping en remplaçant son parc de lampes actuel par des LED.

Côté transports, la fondation envisage de commencer un programme de remplacement de ses véhicules par des véhicules plus sobres en énergie.

La combinaison de ces différentes actions devrait permettre de réduire – à activité et climat constants – les émissions de GES annuelles de la Fondation Sonnenhof de 27% (environ 610t CO<sub>2eq</sub>), et ce dès 2013.

Actions envisagées	Réduction des émissions	
	t CO <sub>2eq</sub>	% du poste
<b>Poste 1 : Emissions directes des sources fixes de combustion</b> - Suivi détaillé des consommations - Sectorisation des suivis (compteurs) - Optimisation des plages horaires de chauffage - Sensibilisation des occupants sur les comportements "énergivores" - Sensibilisation des équipes techniques à l'utilisation rationnelle de l'énergie - Mise en place d'une chaufferie biomasse et d'un réseau de chaleur sur le site de Bischwiller - Remplacement des chaudières gaz obsolète par de nouvelles avec un meilleur rendement - Mise en place d'un système de destratification (ventilateur) pour 2 bâtiments avec une hauteur sous plafond importante (site de Bischwiller) - Isolation des combles pour une dizaine de bâtiments sur le site de Bischwiller - Reconstruction d'un internat sur le site de Bischwiller (RT 2005 -30%)	520	35
<b>Poste 2 : Emissions directes des sources mobiles à moteur thermique</b> - Remplacement des véhicules usagés par des modèles à faible consommation	8	4
<b>Poste 4 : Emissions directes fugitives</b> - Suivi des consommations et des recharges de fluides frigorigènes - Sélection de nouveaux équipements de remplacement en prenant en compte le potentiel de réchauffement global (PRG) des fluides utilisés	/	/
<b>Poste 6 : Emissions indirectes liées à la consommation d'électricité</b> - Passage à des sources lumineuses moins énergivores ⇒ Relamping LED - Effets associés aux actions concernant le poste 1	0.7	0.5
<b>TOTAL</b>	<b>610</b>	<b>27 %</b>

Figure 4–8 : Plan d'actions du BEGES

- BEGES Scope 1,2 et 3

Par rapport au bilan réglementaire, le bilan complet a nécessité un travail d'investigation beaucoup plus important. L'expert peut réaliser le bilan réglementaire seul si les informations de bases (factures, comptabilité etc.) sont disponibles auprès de l'organisation (ou s'il est au moins accompagné d'une personne de l'organisation). Pour le scope 3 les données sont rarement disponibles et les personnes à mobiliser pour les obtenir sont nombreuses. La composition du groupe de travail dépend des spécificités de l'organisation étudiée, des postes créés dans l'organisation et de la disponibilité des personnels ; la composition sera à réaliser par rapport aux secteurs d'activités étudiés dans le scope 3. Nous avons donc constitué un groupe de travail en mobilisant les personnes les plus à même de fournir les éléments sur les secteurs du scope 3. Ces personnes étaient la diététicienne responsable de la composition des repas du restaurant « Le Festin », la responsable de secteur de l'économat, la comptable, le directeur des services techniques, le directeur adjoint de l'ESAT et la responsable de service thérapeutique. L'organisation s'est déroulée sous forme de deux réunions individuelles avec chaque membre du groupe, ainsi que deux réunions de restitutions visant à vérifier l'exactitude des résultats et recueillir les avis de chacun.

En plus de ce groupe de travail, il a fallu mobiliser des personnes externes au Sonnenhof, notamment les prestataires de transports et de collecte des déchets.

A noter que les émissions des transports de marchandises et des achats ne sont pas totalement pris en compte du fait des données difficilement récupérables.

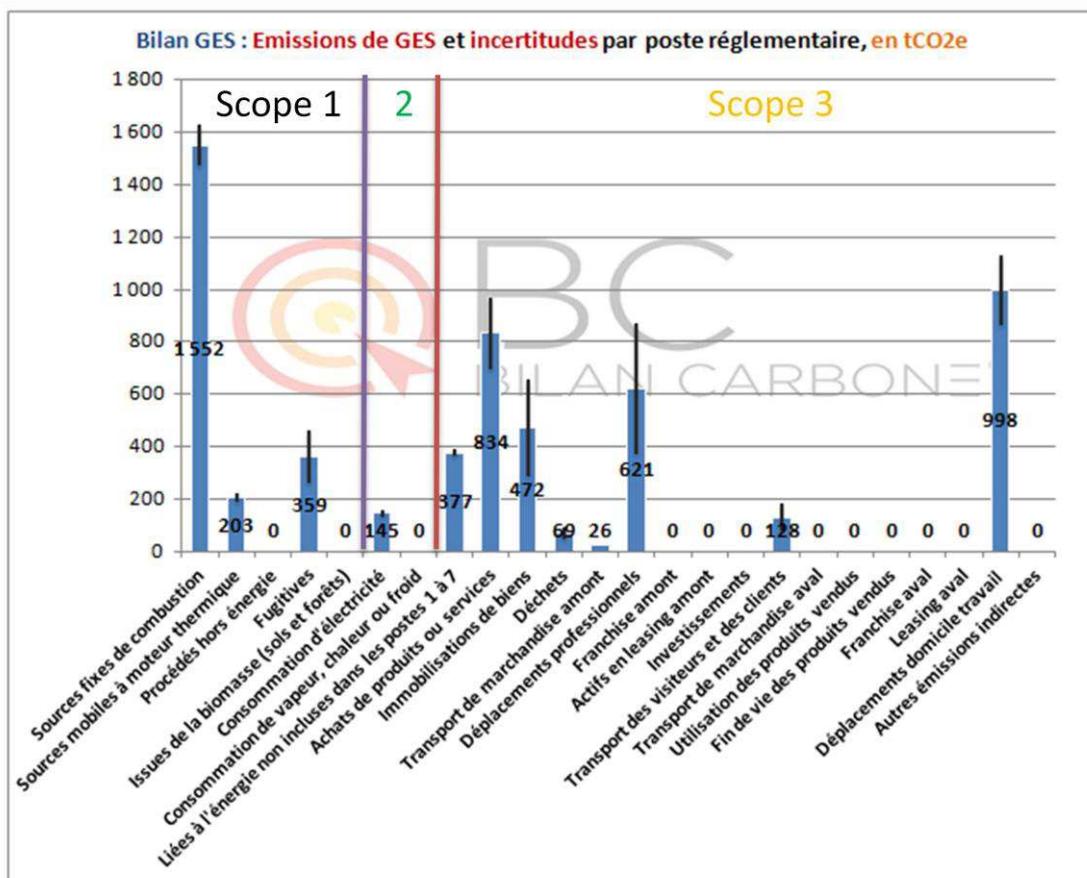


Figure 4–9 : Bilan complet (2011/2012) des émissions de GES et incertitudes du Sonnenhof

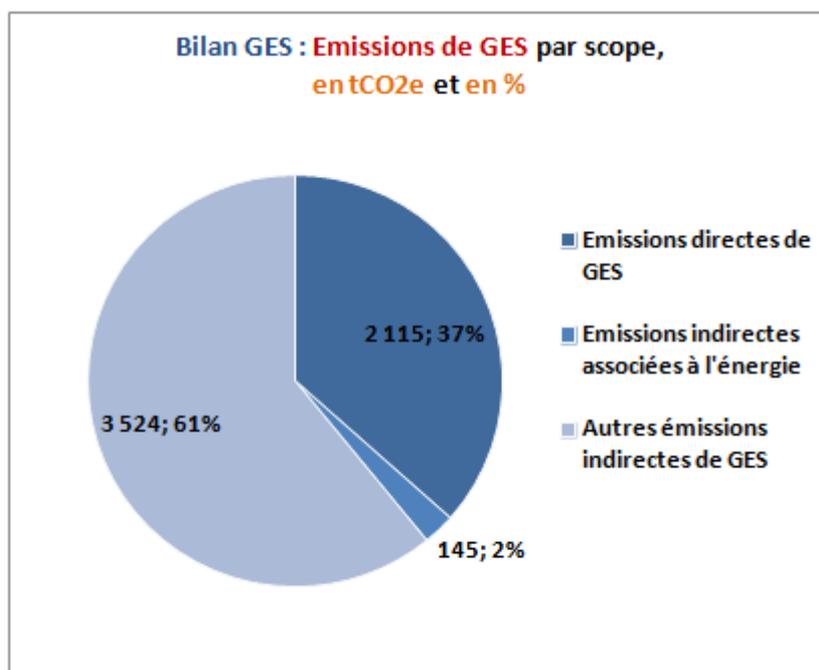


Figure 4–10 : Répartitions des émissions de GES par scope

On constate avec ces résultats, que si l'on se limite à l'aspect réglementaire du BEGES sans tenir compte de scope 3, plus de 60% des émissions du Sonnenhof ne sont pas comptabilisées. De ce fait, le plan d'actions fourni précédemment n'aurait comme impact qu'une baisse d'environ 11% sur les émissions totales du Sonnenhof.

## 4/2.2. Analyse critique du BEGES – Approche classique du Sonnenhof

Différentes analyses peuvent être menées au regard des résultats obtenus dans ce premier BEGES du Sonnenhof.

### 4/2.2.1. Analyse du plan d'actions GES

Le Bilan Carbone® n'est pas suffisant pour organiser une démarche de planification énergétique. En effet le plan d'actions donne des orientations qu'il faut mettre en œuvre et permet de donner une estimation des performances des concepts de solutions. Le Sonnenhof a commencé, après l'établissement du bilan réglementaire, la mise en place des solutions proposées par ce bilan et a poursuivi celle des solutions initiées avant le bilan qui ont été confirmées par l'étude du plan d'actions.

Nous avons également analysé le plan d'actions pour mesurer le gap entre les solutions proposées et l'objectif fixé par le Sonnenhof. Signalons à ce sujet une difficulté posée par la directive européenne. Elle fixe comme objectif une réduction des émissions de 80% par rapport à une référence qui est les émissions de 1990. Or si ce niveau est connu par pays ou à plus grand échelle, il n'est connu d'une organisation qu'à partir de son premier bilan. Ceci pose un problème méthodologique pour fixer un objectif pertinent à partir de l'année de référence. Pour le Sonnenhof ce bilan a été celui des émissions de 2011. Pour l'étude, le but fixé est ambitieux : réduire de 80% d'ici 2050 par rapport à l'année de référence 2011. Nous travaillerons désormais et analysons les résultats avec cet objectif. Cet objectif représente une réduction moyenne annuelle des émissions de 4%.

Les améliorations attendues du plan d'actions associé au BEGES sont de 27% des émissions de 2011 relevant du scope 1&2, soit environ 11% de l'ensemble des

## CHAPITRE 4 Application au cas de la planification énergétique du Sonnenhof

émissions relevant des scopes 1, 2 et 3. Ainsi en 2017 les réductions moyennes devraient être de  $6 \times 4\% = 24\%$ . Ainsi les améliorations entreprises sont de l'ordre de grandeur de la moyenne des objectifs fixés, mais seulement pour le scope 1&2. Cette analyse montre que la diminution des GES est à poursuivre avec une intensité au moins égale voire supérieure à celle du passé. Ce qui nous amène à la question : les propositions du plan d'actions sont-elles suffisantes pour atteindre les objectifs fixés d'ici 2050 ? La réponse à cette question est non, car pour le moment les solutions proposées sont des solutions classiques se limitant aux scopes 1&2 ; et il est nécessaire de trouver des gains à réaliser sur l'ensemble des scopes et en particulier le scope 3. Le cadre des solutions sort des simples solutions classiques souvent proposées par l'expert énergétique ; il va falloir mobiliser d'autres connaissances (avec par exemple les PP cf. § 4/2.2.2. ) et trouver des solutions transverses voire innovantes qui permettront d'atteindre les objectifs fixés. On entre dans des problèmes multi-objectifs où il faut prendre en compte des objectifs supplémentaires, comme les besoins des usagers et le coût, pour garder une économie compétitive.

Cependant, il est intéressant de noter que les estimations des réductions des émissions de GES des solutions proposées dans le plan d'actions ont été faites de manière très prudente. Nous avons mesuré les consommations réelles de la chaufferie biomasse mise en place sur le site de Bischwiller et estimé les émissions de GES et le gain obtenu en matière de réduction des émissions. On calcule les émissions à partir d'un FE de la chaufferie estimé avec les consommations de gaz, de bois et d'électricité (environ  $0.050 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$ ). On utilise ce FE pour estimer les émissions de GES à partir de la consommation d'énergie totale du site de Bischwiller donnée en sous-station (en y ajoutant les pertes en lignes liées aux transports par le réseau de chaleur). On constate un gain d'environ  $930 \text{ tCO}_{2\text{eq}}$  pour la solution biomasse (avec appoint gaz) par rapport à la solution gaz seule (sachant qu'il y a encore une marge d'amélioration au niveau du rendement de la chaufferie et donc de ses performances). Soit une réduction d'environ 60% des émissions du poste 1 (comparée au 35% du plan d'actions), une réduction d'environ 45% du scope

1 et 2 et une réduction d'environ 18% des émissions totales. Ce qui est mieux que la baisse de 11% estimée avant avec les estimations du plan d'actions mais pas encore suffisant.

Conformément aux conclusions présentées dans le précédent chapitre, nous aboutissons donc aux conclusions suivantes dans la situation particulière du Sonnenhof.

#### À court terme :

- Un bilan énergétique et GES est suffisant pour prendre des décisions (cadre réglementaire).
- Les bilans ne permettent pas de visions des différentes interactions entre les systèmes internes et avec des systèmes externes.
- Les bilans ne permettent pas de visions des conditions passées du/des système(s).

#### À long terme :

- Les objectifs de réductions sont difficilement atteignables dans le cadre réglementaire et sont très difficilement atteignables dans le cadre complet.
- Les décisions pour le court terme peuvent être différentes si l'on dispose d'informations fiables ou crédibles sur le long terme.
- La mise en place d'une méthodologie est nécessaire pour préparer le long terme (démarche de conception).

#### 4/2.2.2. Prise en compte des parties prenantes (PP)

Conformément aux hypothèses formulées précédemment, on se rend bien compte ici que les PP n'interviennent que marginalement voire pas du tout dans la construction du BEGES. Les prestataires et fournisseurs sont consultés par l'expert BEGES pour récupérer des données (e.g. les prestataires énergétiques pour les consommations énergétiques, prestataires de transports pour le fret) mais il y a encore peu d'interaction entre les PP et les données sont encore peu formalisées pour être exploitées facilement dans le cadre d'un BEGES. On note cependant des améliorations comme dans les transports avec l'obligation d'afficher le contenu carbone d'une prestation de transport depuis 2013 (Ademe, 2012)).

### 4/2.2.3. Prise en compte de l'incertitude

Les incertitudes pour le BEGES du Sonnenhof sont présentées au paragraphe 4/2.1. Elles ont été évaluées avec la méthode Bilan Carbone® (Figure 4–6 et Figure 4–9). Elles indiquent, pour chaque poste, la marge d'erreur avec laquelle les émissions ont été évaluées. Elles permettent d'orienter la stratégie d'action sur les secteurs où l'on peut être sûr de pouvoir agir sur des émissions et surtout elles améliorent la prise de décision sur les postes pour lesquels la variation de valeur possible ne change pas les conclusions. Au regard des émissions du Sonnenhof, on remarque que les incertitudes sont plus importantes en général sur les postes du scope 3 (cela est dû aux hypothèses formulées pour estimer les données d'activités et aux incertitudes le plus souvent plus importantes pour les FE mobilisés). On remarque aussi, par exemple, que sur le bilan complet de la Figure 4–9, les émissions sur le poste des sources fixes de combustion ont une marge d'erreur faible (environ 5% d'incertitude) et est le secteur le plus émetteur du Sonnenhof : les actions menées sur ce poste auront un gros potentiel de réduction. *A contrario*, agir sur le poste du transport des visiteurs est très incertain (environ 40% d'incertitude), les actions sur ce poste faible en émission avec une grande incertitude ne sont pas sûres d'être très efficaces. Dans ce deuxième exemple, les incertitudes sont délicates à appréhender car aussi bien les données d'activités (le nombre de visites, les kilomètres parcourus) et les FE associés (suivant les véhicules utilisés et le trajet parcouru) sont à déterminer avec une estimation qui repose pour l'instant sur l'expérience de l'organisation. Avant d'envisager des actions (à part de possibles communications de sensibilisation aux visiteurs sur les réductions des émissions de GES) sur ces postes il va falloir dans un premier temps déterminer un protocole d'observation pour affiner les estimations déjà réalisées. Cette étape va demander des ressources pour l'organisation pour un résultat de réduction potentiellement peu important (par rapport à d'autres postes) ; c'est pour cela que l'on agira sur les postes du type du premier exemple en priorité. De plus les postes avec une forte incertitude, et notamment ceux avec des incertitudes importantes sur les données d'activité trahissent un manque de

connaissance de l'expert qui les a estimés sur le sujet. Ces secteurs seront propices à traiter avec une démarche de conception.

Enfin, la prise en compte des marges d'incertitudes nous entraîne à rechercher des solutions dont les performances attendues dépassent suffisamment les objectifs moyens afin d'augmenter la probabilité d'atteindre les objectifs fixés.

#### 4/2.2.4. Utilisation du BEGES pour identifier les leviers d'actions possibles

Le BEGES nous a permis d'identifier l'ensemble des émissions de GES du Sonnenhof. Les émissions (E) viennent des données d'activités (Xi) et des facteurs d'émissions (FE) suivant la fonction :  $E = f(Xi, FE)^{12}$ . Ces caractéristiques ont été identifiées pour réaliser le bilan et vont nous permettre de réfléchir pour chercher à comprendre ce qui pourrait agir sur ces éléments pour diminuer les émissions (*i.e.* modifier les Xi ou les FE pour diminuer les émissions). Nous nous basons sur le schéma de restitution suivant :



Figure 4–11 : Schéma pour identifier les leviers d'actions potentiels

Pour le compléter nous proposons les étapes suivantes :

- 1) Identification de la fonction/activité liée à la source d'émission
- 2) Identifier les établissements (bâtiments, secteurs d'activités etc.) liés à la fonction
- 3) Identifier les données
  - a) Identifier les variables Xi et leur type, les facteurs d'émissions FE et types de GES associés
  - b) Identifier ce qui peut influencer les données
- 4) A partir du point 2, identifier ce qui peut modifier les données
- 5) Identifier les leviers d'action avec les informations précédentes

---

<sup>12</sup> La formule de calcul est exposée au chapitre 1 § 1/2.2.3.2

## CHAPITRE 4 Application au cas de la planification énergétique du Sonnenhof

A partir des bilans (scopes 1, 2 et 3), nous présentons quelques exemples de résultats pour le Sonnenhof :

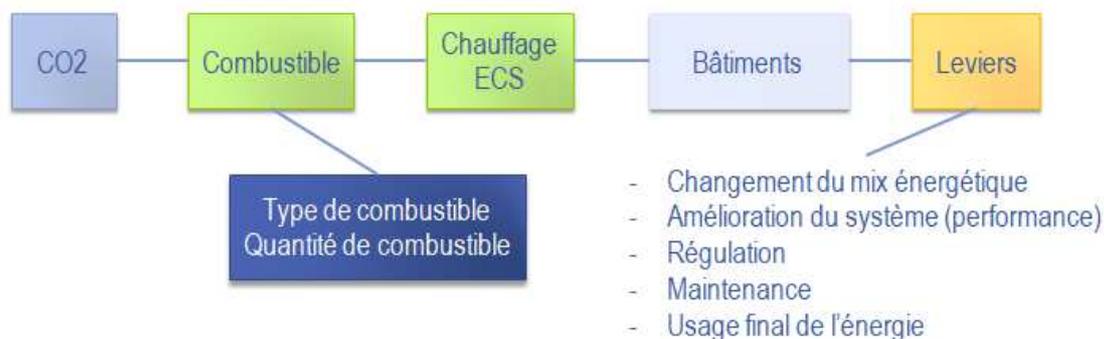


Figure 4–12 : Scope 1 : Combustion directe fixe de l'énergie :

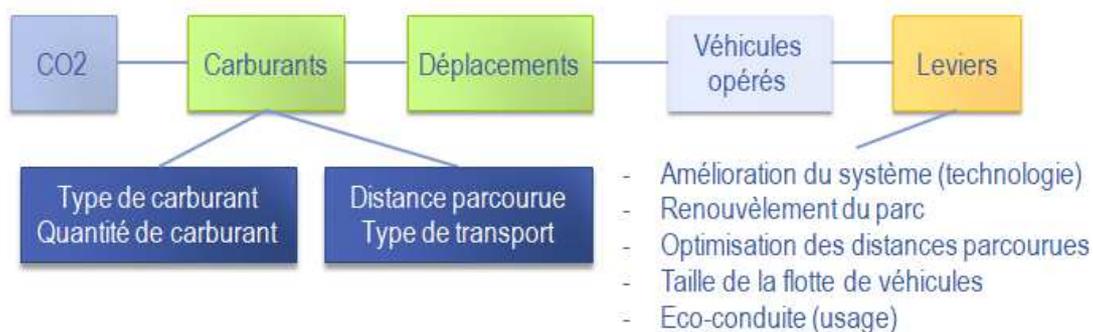


Figure 4–13 : Scope 1 : Combustion directe mobile de l'énergie

:

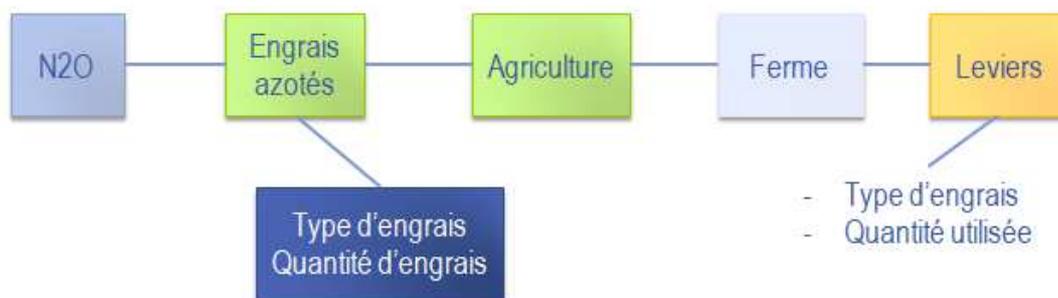


Figure 4–14 : Scope 1 : Emissions directes fugitives 1

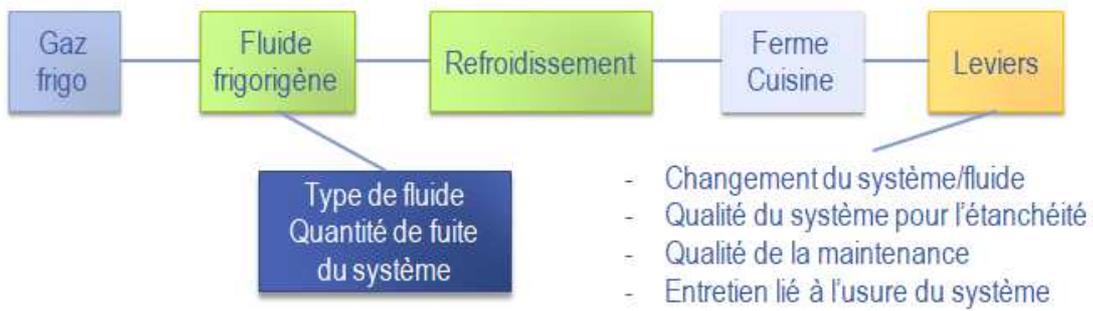


Figure 4–15 : Scope 1 : Emissions directes fugitives 2

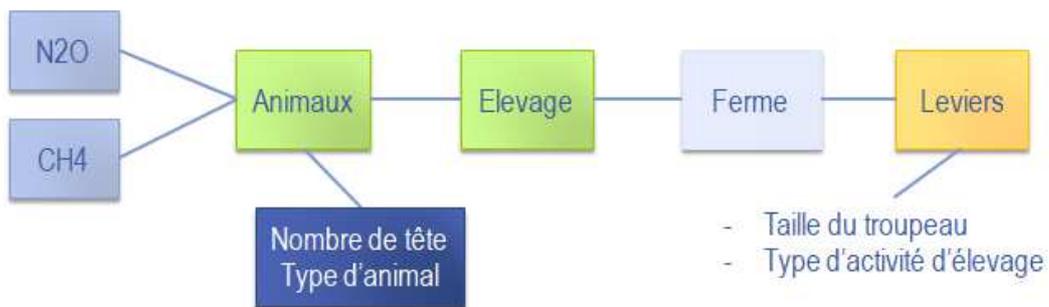


Figure 4–16 : Scope 1 : Emissions directes fugitives 3

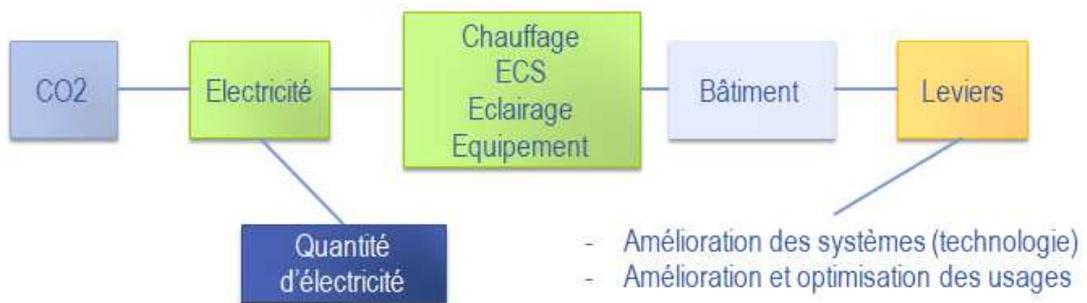


Figure 4–17 : Scope 2 : Consommation d'électricité

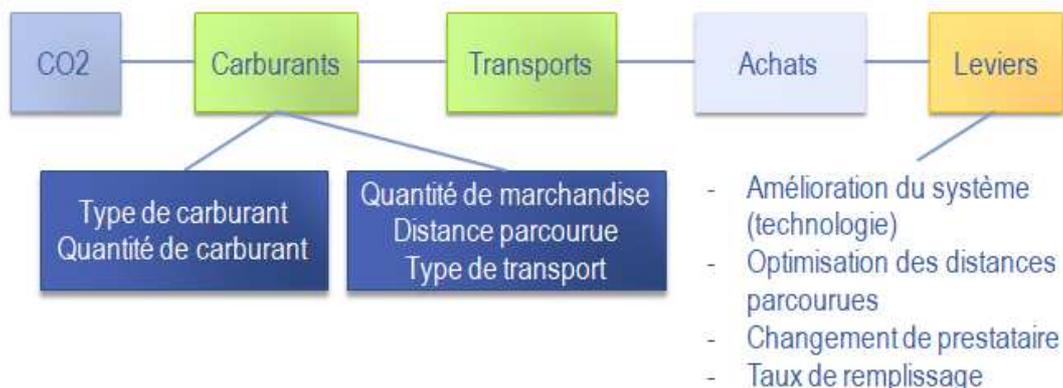


Figure 4–18 : Scope 3 : Transport de marchandise amonts/aval

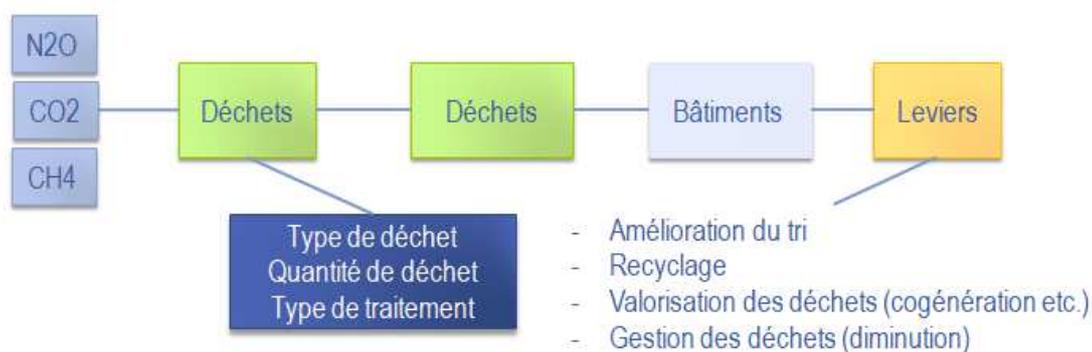


Figure 4–19 : Scope 3 : Les déchets

Cette analyse nous permet de commencer à identifier un certain nombre de leviers, de manière relativement systématique que l'on peut classer en trois catégories : les leviers stratégiques, tactiques et opérationnels. Mais ensuite nous retombons sur la même limite que précédemment : c'est la connaissance et l'expérience de l'expert qui doivent être mobilisées afin de construire le plan d'actions.

### **4/3. Application de la démarche de conception d'un plan énergétique au Sonnenhof**

Devant la lourdeur et la nécessité de mobiliser différents services du Sonnenhof, le choix a été fait de ne pas reconduire une analyse BEGES. Toutefois les premiers résultats obtenus sur les données 2011/2012 et l'analyse qui en a été faite, en parallèle des propres réflexions du Sonnenhof, nous ont conduits d'un commun accord à prolonger la démarche de réflexion et à tester ensemble la démarche de conception de plan énergétique que nous proposons. Il est cependant important de noter ici qu'il a été impossible de rencontrer l'ensemble des PP qu'il aurait fallu rencontrer afin de complètement mener notre analyse.

Nous expliquerons en particulier à la fin de ce chapitre qu'il nous a été impossible de déployer l'ensemble de notre démarche sur un seul exemple en raison de l'extrême complexité de la situation.

Face aux résultats du BEGES, le Sonnenhof s'est réinterrogé sur son management de l'énergie et GES. Conscient d'une volonté forte, et en particulier éthique, de réduire son impact carbone tout en maîtrisant ses dépenses énergétiques, le Sonnenhof se trouvait face à une complexité très importante, notamment du fait de son manque d'expertise dans le domaine de la planification énergétique et GES et de la prise de décision qui en découle.

De ce fait le Sonnenhof se trouve confronté à une difficulté supplémentaire, que nous n'avons pas intégré dans nos analyses théoriques, celle de l'arbitrage (si arbitrage il doit y avoir) entre énergie et GES. En effet, jusqu'à présent, nous avons mis en avant que le lien entre les deux nous permettait de traiter le sujet comme un tout. De plus, le fait que l'approche GES soit la plus large nous conduisait à cette problématique au détriment de celle plus restrictive (d'un point de vue conceptuel) de l'énergie.

## CHAPITRE 4 Application au cas de la planification énergétique du Sonnenhof

Cependant lors des échanges avec le Sonnenhof, il s'est avéré que entrer par la problématique du « plan GES » était plus compliqué pour eux<sup>13</sup>. De ce fait, nous avons fait le choix, quand une différence d'approche s'avérait nécessaire, d'aborder en parallèle les deux dimensions : énergétique et GES lors de la construction de nos outils pour la démarche.

Par ailleurs, en accord avec le Sonnenhof nous avons restreint l'étude au site géographique de Bischwiller, qui regroupe la majorité des établissements, en excluant les sites distants.

Dans la suite de ce paragraphe, nous allons dérouler la démarche présentée au chapitre précédent en reprenant la notation des étapes comme cela a été fait au § 3/3.2. du chapitre 3 a) et suivant.

### a) Identification du périmètre

Pour identifier le périmètre d'étude, nous pouvons utiliser deux approches complémentaires : l'approche GES et l'approche énergie. Pour commencer il est important de définir le périmètre organisationnel/géographique de l'étude pour construire cela on peut se poser les questions suivantes : « Quelles sont les biens et activités concernés par le BEGES et pour les utilisations d'énergie ? ». En pratique, nous utilisons les numéros SIREN/SIRET pour lister tous les éléments de l'organisation puis nous répertorions les différents bâtiments et activités qui constituent ou relient les divers sites voire les différentes entités composant un site.

Ensuite il est important d'identifier le périmètre opérationnel (les domaines d'activités) ; pour cela on peut se poser la question suivante : « Quelles sont les opérations générant des émissions de GES et/ou consommant de l'énergie au sein du périmètre organisationnel ? ». En pratique, on peut utiliser la logique de classement des activités du BEGES (avec le Scope 1, 2 et 3) pour répertorier et classer les activités émettrices de GES et consommatrices d'énergie. Ce cadre permet d'orienter les recherches de façon systématique et de ne pas oublier des

---

<sup>13</sup> Nous expliquerons plus loin pourquoi (cf. §d).

postes parfois méconnus des interlocuteurs du projet (e.g des groupes frigorigènes dans les bâtiments).

Zone	Activités	Energie	GES
Site de Bischwiller	Bâtiment	Habitation	Biomasse / Gaz /
		Tertiaire	Electricité Solaire
	Transports	Transport de personnes	Gazole / Essence /
		Fret	Electricité
	Agriculture	Elevage	Gazole / Essence /
		Culture	Electricité
	Déchet	Traitement des déchets	Gazole / Electricité

Tableau 4-1 : Listes des périmètres et activités associées

b) Identification des acteurs

Dans un premier temps, nous avons listé les PP et les avons classées dans les typologies 1 et 2 (chapitre 2 § 2/3. ).

Parties prenantes	Typologie 1	Typologie 2
Usagers	Clients	Ext
Conseil Vie sociale représentant des familles	Clients	Ext
Tutelle 1 - ARS	Investisseurs	Ext
Tutelle2 - Conseil départemental	Investisseurs	Ext
Caisse Assurance Maladie	Investisseurs	Ext
Client ESAT	Clients	Ext
Fournisseur d'énergie	Fournisseurs	Ext
IRP Délégation du personnel	Employés	Int
CHSCT	Employés	Int
Donateurs	Investisseurs	Ext
Mairie	Communauté locale	Ext
Fournisseurs (autres)	Fournisseurs	Ext

## CHAPITRE 4 Application au cas de la planification énergétique du Sonnenhof

<b>Pompier (sécurité)</b>	Groupes de pression	Ext
<b>Contexte Légal/Financier</b>	Groupes de pression	Ext
	Gouvernements	
	Communauté locale	
<b>Groupement d'achat</b>	Groupes de pression	Ext
	Fournisseurs	
<b>Bailleurs sociaux</b>	Groupes de pression	Ext
<b>Direction Sonnenhof</b>	Employés	Int
<b>Salariés dépendant des services techniques</b>	Employés	Int
<b>Salariés dépendant des autres services</b>	Employés	Int

Tableau 4-2 : Parties prenantes selon les typologies 1 et 2

Ensuite nous avons analysé chacune de ces PP par rapport à la typologie 3, celle de (Mitchell et al., 1997). Nous les présentons ici par catégorie. Compte tenu des hypothèses méthodologiques formulées au chapitre 2, nous allons présenter la situation actuelle, les éléments (informations ou autres inputs importants) et les conclusions que nous en tirons pour le projet.

Les parties prenantes dormantes (1) : il s'agit principalement des organisations gouvernementales posant le contexte légal. Ces PP ont un certain pouvoir car elles imposent des règles, ces contextes alimentent notre analyse systémique en particulier quant à la caractérisation et à l'évolution du super-système.

Les parties prenantes discrétionnaires (2) : elles sont absentes dans cette analyse de cas (PP avec seulement l'attribut de légitimité).

Les parties prenantes demandeuses (3) : cette catégorie de PP regroupe les usagers, les familles, les salariés ne travaillant pas au niveau des services techniques et les délégués du personnel. Ces PP possèdent l'attribut d'urgence, mais, par rapport à la question de la planification énergétique elles n'ont pas de pouvoir ni de légitimité (aucune des ces PP ne peut participer à ce type de décision). Par contre leurs besoins peuvent être urgents (notamment pour assurer la continuité du service ou assurer le confort des usagers). Une analyse des demandes de ces PP par le décideur est de ce fait importante, si le décideur considère ces demandes urgentes comme légitimes il pourra les intégrer en conditions dans le projet.

Les parties prenantes dominantes (4) : il s'agit des pompiers (PC sécurité), des bailleurs sociaux, les tutelles (ARS et conseil départemental) ainsi que la caisse d'Assurance Maladie. Ces PP, pour des raisons différentes ont un attribut de pouvoir et de légitimité. Elles sont légitimes car nous avons à faire à des experts. Elles ont du pouvoir car elles peuvent bloquer, ou orienter, certaines décisions : par exemple, les pompiers peuvent faire fermer un bâtiment pour des raisons de sécurité ou de mise aux normes, les tutelles ont un pouvoir car elles sont en partie financeurs du Sonnenhof et les bailleurs sociaux ont leur mot à dire sur les orientations des futurs travaux sur les bâtiments.

Les parties prenantes dangereuses (5) : il s'agit des fournisseurs d'énergie et de matériel spécifique aux équipements du système énergétique. Ces PP ont un attribut de pouvoir car le Sonnenhof est pour partie tributaire de ces fournisseurs et d'urgence car leur maîtrise des systèmes énergétiques peut représenter un risque pour le Sonnenhof. L'objectif du Sonnenhof est de diminuer sa dépendance à ces prestataires et d'augmenter ses compétences sur leur système énergétique en interne. Cependant, ces PP peuvent gagner de la légitimité sur le projet de planification énergétique selon leurs compétences et la qualité du conseil qu'elles peuvent fournir aux décideurs.

Les parties prenantes dépendantes (6) : il s'agit des salariées des services techniques et du CHSCT. Compte tenu de l'ampleur de la planification énergétique, nous considérons que ces PP n'ont pas d'attribut de pouvoir. En effet, c'est la direction qui va prendre les décisions. Par contre ses parties prenantes sont tout à fait légitimes de par leur expertise et leur capacité à identifier des situations urgentes (e.g. matériels défectueux, dysfonctionnement des dispositifs énergétiques ou sécurité des salariées). De ce fait une coalition forte doit pouvoir se construire avec une PP de pouvoir.

Les parties prenantes définitives (7) : il s'agit dans notre cas de la direction du Sonnenhof. La direction allie le pouvoir, la légitimité et l'urgence. La maîtrise de l'ensemble des dimensions est de ce fait importante pour cette PP.

## CHAPITRE 4 Application au cas de la planification énergétique du Sonnenhof

Les non-parties prenantes (8) : par rapport à la planification énergétique, les donateurs, les fournisseurs autres que les fournisseurs d'énergie et les clients de l'ESAT ne participent pas pour le moment à la planification énergétique. Cependant elles sont à surveiller car leur position peut évoluer. Les clients des ESAT peuvent gagner à attribut d'urgence et orienter l'ESAT sur des nouveaux secteurs d'activités, des améliorations des systèmes existants ou l'arrêt de certains secteurs (offre, demande). Les fournisseurs et groupes d'achats peuvent commencer à intégrer une caractéristique développement durable à leur offre, ce qui pourrait orienter le Sonnenhof dans ses futurs choix.

Parties prenantes	Typologie 3	
	Types	Attributs
<b>Usagers</b>	Dépendante	U
<b>Conseil Vie sociale représentant des familles</b>	Dépendante	U
<b>Tutelle 1 - ARS</b>	Dominante	P L
<b>Tutelle2 - Conseil départemental</b>	Dominante	P L
<b>Caisse Assurance Maladie</b>	Dominante	P L
<b>Client ESAT</b>	Non partie prenante	
<b>Fournisseur d'énergie</b>	Dangereuse	P U
<b>IRP Délégation du personnel</b>	Demandeuse	U
<b>CHSCT</b>	Dépendante	L U
<b>Donateurs</b>	Non partie prenante	
<b>Mairie</b>	Dormante	P
<b>Fournisseurs (autres)</b>	Non partie prenante	
<b>Pompier (sécurité)</b>	Dominante	P L
<b>Contexte Légal/Financier</b>	Dormante	P
<b>Groupement d'achat</b>	Non partie prenante	
<b>Bailleurs sociaux</b>	Dominante	P L
<b>Direction Sonnenhof</b>	Définitive	P L U
<b>Salariés dépendant des services techniques</b>	Dépendante	L U
<b>Salariés dépendant des autres services</b>	Demandeuse	U

Tableau 4-3 : Parties prenantes selon la typologie 3

c) Identification du système énergétique et du système GES

Fort de l'analyse BEGES menée précédemment, nous avons pu construire une vision relativement claire des flux énergétiques au sein de notre périmètre.

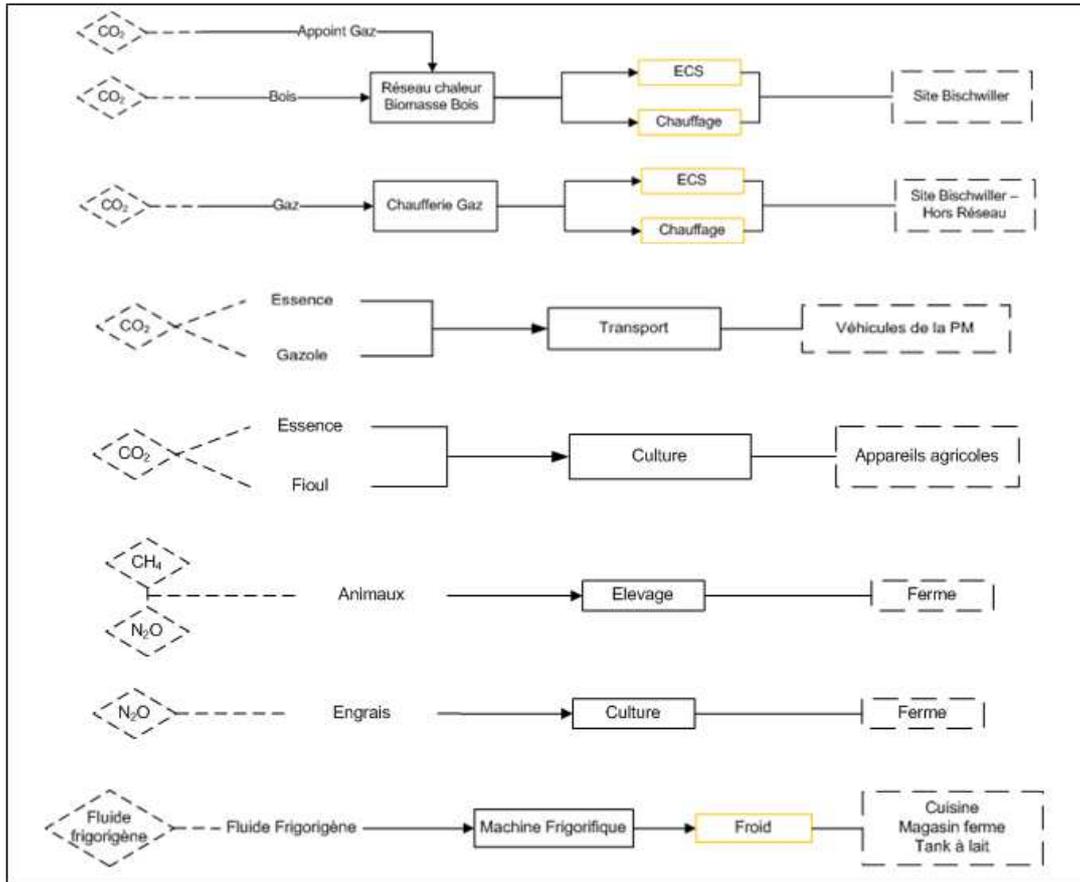


Figure 4-20 : Flux énergétique scope 1

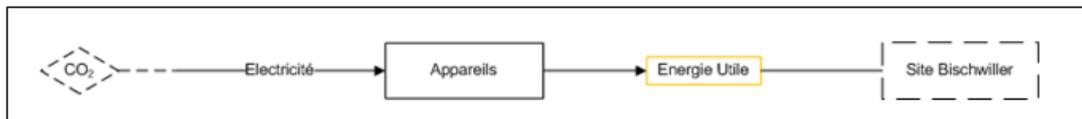


Figure 4-21 : Flux énergétique scope 2

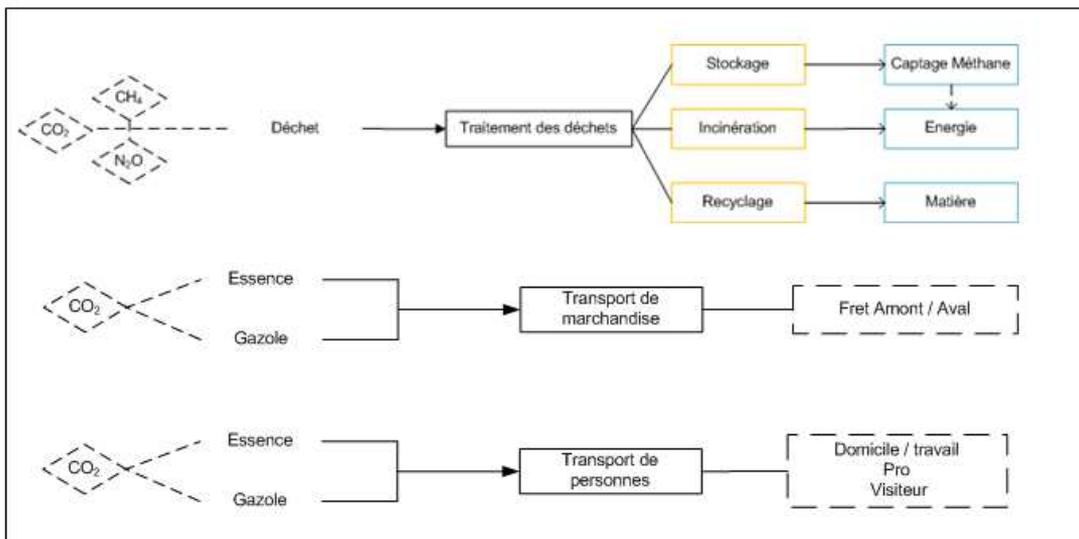


Figure 4–22 : Flux énergétique scope 3

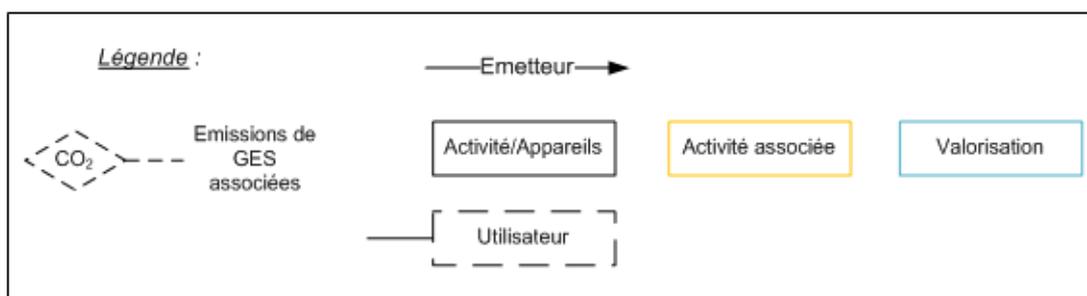


Figure 4–23 : Légendes des flux énergétiques

Cette vision assez détaillée peut être complétée par l'identification des leviers d'action faite au § 4/2.2.4.

Elle permet de comprendre quels sont les liens entre les éléments actuels du système énergétique du Sonnenhof, le type d'énergie, leur émission de GES, les bâtiments (et leur fonction) ou autres types d'activités qui utilisent cette énergie ainsi que les utilisateurs faisant partie du système. Le but est de comprendre le degré d'interaction et d'interdépendance des divers systèmes par rapport aux questions énergétiques et GES. Ces figures permettent de voir la dépendance qualitative pour les émissions liées à la consommation d'énergie en interne du Sonnenhof (scope 1&2) du BEGES et d'avoir une première idée des éléments à intégrer au scope 3 (lien avec l'extérieur). Pour compléter, l'approche GES permet de modéliser les flux

pour les précédés non-énergétiques qui émettent des émissions de GES. De la même manière cette représentation permet de voir les interactions entre les différents éléments du système (types d'activités, de lieux et utilisateurs).

On peut noter que cette vision comporte certains manques (dimension et évolution du système Sonnenhof) :

- Comment les systèmes énergétiques et d'émission de GES vont-ils évoluer en terme qualitatif ?
- Quels besoins demain pour les fonctions principales du Sonnenhof et leur évolution ?
- On ne connaît pas les analyses d'amélioration du système énergétique et sur quel horizon on veut les appliquer (ainsi que leurs limites).

Nous avons utilisé l'outil Multi-Ecrans pour mener l'analyse de l'évolution du système (temporelle et dimensionnelle).

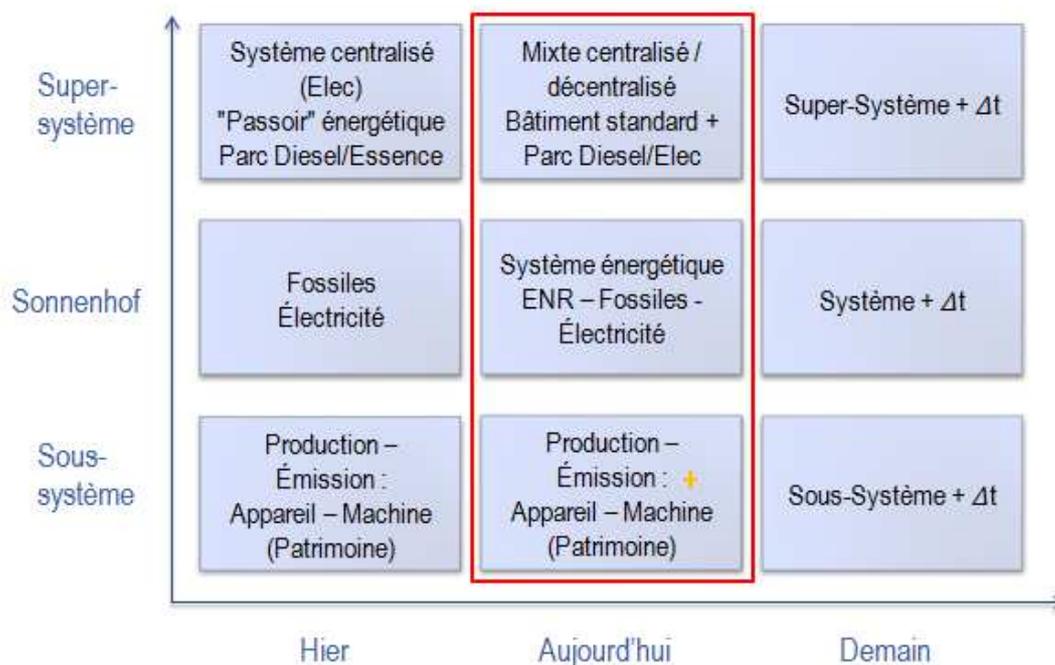


Figure 4–24 : Multi-Ecrans du système énergétique

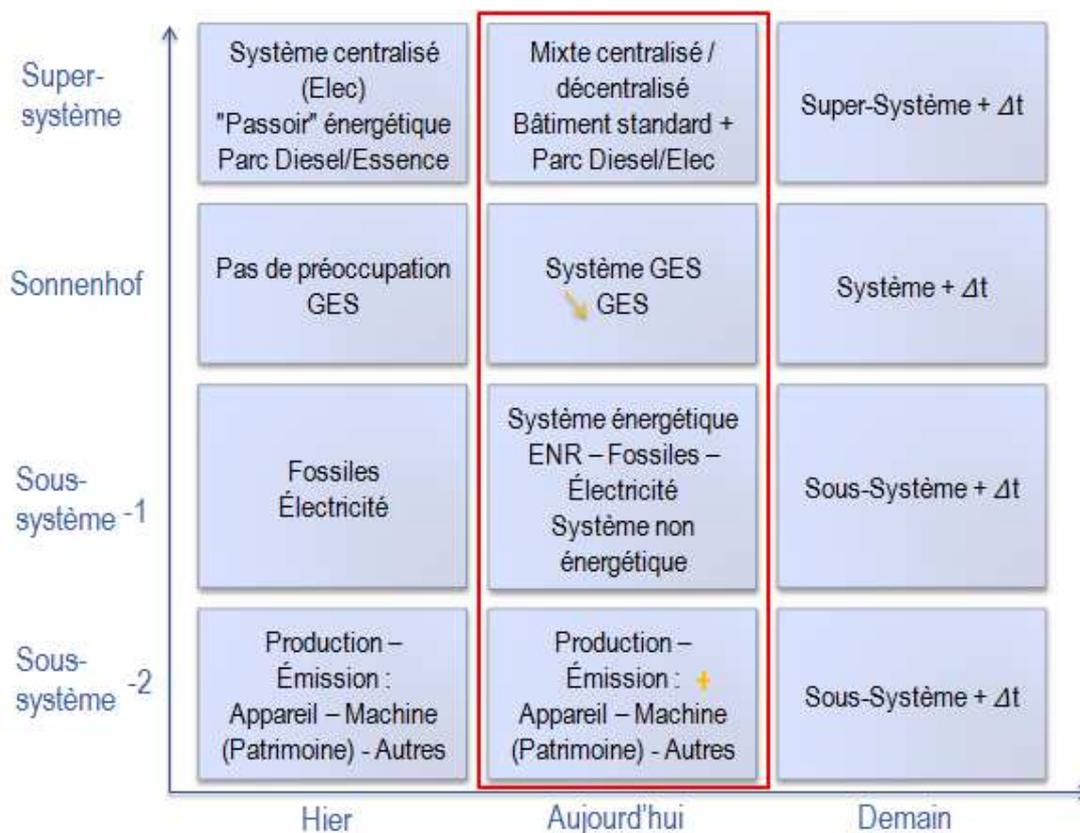


Figure 4–25 : Multi-Ecrans du système GES

On remarque que dans l'état actuel de considération du système, le Multi-Ecrans ne donne qu'une vision globale de ce que l'on souhaite modéliser (*i.e.* le système énergétique et le système GES). Les secteurs d'activités du Sonnenhof étant très diversifiés, en restant sur cette vision générale l'information portée est de ce fait une simple représentation des buts à atteindre et des « méta systèmes ». A ce niveau d'étude la représentation même par le Multi-Ecrans n'a pas permis d'avancer dans la discussion avec le Sonnenhof à propos de l'amélioration du système à l'instant t. En effet, la problématique ici est extrêmement large et complexe. Il est ainsi difficile d'aller plus en avant dans cette description du système. Toutefois cela a permis de commencer la réflexion de l'évolution temporelle du système. Pour être plus efficace et aussi dans l'absolu plus lisible, il faut faire évaluer le Multi-Ecrans au fur et à mesure de l'avancée du projet<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> Nous ferons cela dans la Partie 2 avec un sujet davantage circonscrit.

## d) Définition de la politique énergétique et de la politique GES

### Légende

-  Niveau actuel
-  Démarche en cours
-  « Réaliste » 5 ans
-  Idéal 5 ans

	Politique de management de l'énergie	Organisation	Formation du personnel	Suivi, contrôle et consolidation des informations des systèmes	Communication	Investissement
4	Politique de management, plan d'action et rapports réguliers font partie de l'engagement de la direction et de la stratégie. Le management de l'énergie est intégré dans la structure de management 	Délégation de responsabilité claire pour le suivi énergétique et intégrée complètement à la structure de management 	Formation des équipes détaillée et appropriée avec un volet d'évaluation	Mesure de performance détaillée, suivi des consommations, analyse comparative avec les cibles/objectifs 	Valorisation de l'efficacité et de la performance énergétique en interne mais aussi à l'extérieur de l'organisation	Critères d'évaluation propres à l'efficacité énergétique pour élaborer des scénarios détaillés d'investissement 
3	Politique de management de l'énergie en place mais pas de participation active de la direction 	Le manager de l'énergie est responsable des "réunions énergies" représentant tout le personnel (groupe de travail) 	Formation à une majorité de personnel suivant une analyse des besoins 	Mise en place d'un contrôle et d'un suivi des données énergétiques plus précis et effectif pour tous les process	Organisation régulière de réunions, comptes rendus et communication sur la performance énergétique 	Critères d'évaluation classiques utilisés dans les projets de réduction des coûts pour les projets d'efficacité énergétique 
2	Politique de management de l'énergie développée par les managers pas adoptée	Mise en place d'un responsable énergie. Comptes-rendus avec un groupe ad-hoc mais la chaîne de management et l'autorité ne sont pas claires 	Formation en interne pour une partie du personnel requis 	Mise en place d'un contrôle et d'un suivi des données énergétiques avec des données compteurs 	Mise en place de mécanismes de communication pour promouvoir l'efficacité énergétique	Investissements modérés réalisés si et seulement si ROI à court terme
1	Existence de directives non rédigées. Le management de l'énergie est géré périodiquement par une personne avec une autorité et une influence limitée 	Contacts informels entre les managers de l'énergie et quelques utilisateurs 	Le personnel technique suit occasionnellement des formations externes professionnelles	Suivi énergétique réalisé essentiellement grâce aux factures 	Contacts ad-hoc non formalisés pour parler de l'efficacité énergétique 	Seules des mesures peu coûteuses sont prises 
0	Aucune politique énergétique explicite. Pas de manager de l'énergie ou de personnel en charge de la consommation énergétique	Aucune délégation de responsabilité pour le management de l'énergie et aucun contact avec les utilisateurs	Aucune formation du personnel 	Aucune mesure de consommation énergétique	Aucune communication pour l'efficacité énergétique	Aucun investissement pour l'augmentation de l'efficacité énergétique

Figure 4–26 : Matrice du management de l'énergie du Sonnenhof

## CHAPITRE 4 Application au cas de la planification énergétique du Sonnenhof

	Politique de management de GES	Organisation	Formation du personnel	Suivi, contrôle et consolidation des informations des systèmes	Communication	Investissement
4	Politique de management, plan d'action et rapports réguliers font partie de l'engagement de la direction et de la stratégie. Le management GES est intégré dans la structure de management	Délégation de responsabilité claire pour le suivi des émissions de GES et intégrée complètement à la structure de management	Formation des équipes détaillée et appropriée avec un volet d'évaluation	Mesure de performance, suivi des émissions de GES, analyse comparative avec les cibles/objectifs	Valorisation de la diminution des émissions de GES en interne mais aussi à l'extérieur de l'organisation	Critères d'évaluation propres à la diminution des émissions de GES pour élaborer des scénarios détaillés d'investissement
3	Politique de management de GES en place mais pas de participation active de la direction	Le manager GES est responsable des "réunions GES" représentant tout le personnel (groupe de travail)	Formation à une majorité de personnel suivant une analyse des besoins	Mise en place d'un contrôle et d'un suivi des données des émissions de GES plus précis et effectif pour tous les process (Bilan GES complet)	Organisation régulière de réunions, comptes rendus et communication sur la diminution des émissions de GES	Critères d'évaluation classiques utilisés dans les projets de réduction des coûts pour les projets de diminution des émissions de GES
2	Politique de management GES développée par les managers mais pas adoptée	Mise en place d'un responsable GES. Comptes-rendus avec un groupe ad-hoc mais la chaîne de management et l'autorité ne sont pas claires	Formation en interne pour une partie du personnel requis	Mise en place d'un contrôle et d'un suivi des données des émissions GES (Bilan GES)	Mise en place de mécanismes de communication pour promouvoir la diminution des émissions de GES	Investissements modérés réalisés si et seulement si ROI à court terme
1	Existence de directives non rédigés. Le management GES est géré périodiquement par une personne avec une autorité et une influence limitée 	Contacts informels entre les managers GES et quelques utilisateurs	Le personnel technique suit occasionnellement des formations externes professionnelles	Suivi des émissions de GES réalisé essentiellement avec des données RH/factures (Bilan GES première approche) 	Contacts ad-hoc non formalisés pour promouvoir la diminution des émissions de GES	Seules des mesures peu coûteuses sont prises
0	Aucune politique GES explicite. Pas de manager GES ou de personnel en charge des émissions de GES la consommation énergétique	Aucune délégation de responsabilité pour le management GES et aucun contact avec les utilisateurs 	Aucune formation du personnel 	Aucune mesure des émissions de GES 	Aucune communication sur les émissions de GES 	Aucun investissement pour la diminution des émissions de GES 

Figure 4–27 : Matrice du management des GES du Sonnenhof

Nous nous sommes basés sur les matrices précédemment développées pour interroger le Sonnenhof sur ses politiques de management de l'énergie et des GES actuelles. Tout d'abord, les résultats montrent que la direction de la Fondation est encore au début de l'organisation d'une politique énergétique. Le niveau actuel (niveau 1 dans toutes les catégories, sauf niveau 0 dans la formation du personnel) correspond à la volonté affichée de s'engager dans un processus vertueux de management de l'énergie. Mais ces résultats montrent aussi que pour l'instant il ne dispose pas des moyens pour y arriver (temps, personnes, connaissances etc.). Le Sonnenhof a déjà commencé à mettre en place l'amélioration de l'organisation et du suivi des systèmes (qui correspond au niveau 2 de notre matrice) avec la mise en place d'un responsable énergie et le suivi plus poussé des consommations d'énergies (notamment avec la mise en place de compteurs d'énergie à chaque sous-station du nouveau réseau de chaleur, qui permettent d'avoir les chiffres de la consommation réelle, avec un maillage assez fin de l'échelle d'un bâtiment ou par

défaut d'un groupe de bâtiment – les données de la consommation à la production en chaufferie biomasse sont aussi disponibles). Nous avons aussi interrogé le Sonnenhof sur sa volonté future d'amélioration du management de l'énergie. La position idéale dans 5 ans correspond à un niveau entre les niveaux 3 et 4 de notre matrice. La mise en place du management de l'énergie n'est pas encore actée pour la direction car les décisionnaires ne sont pas encore au clair sur le fonctionnement à développer. Les améliorations passent notamment par la mise en place d'un groupe énergie sous la direction du responsable énergie et avec la volonté d'améliorer la connaissance sur les systèmes énergétique en interne pour recourir le moins possible à des entreprises externes (e.g. connaître l'état des bâtiments et avoir des connaissances pour juger des propositions d'amélioration du bâti, ou pouvoir intervenir pour l'entretien et la maintenance des systèmes énergétiques internes). Le responsable énergie a aussi la responsabilité de former les personnels à ces problématiques (avec une estimation réaliste dans 5 ans limitée à la formation du groupe de travail, avant l'élargissement à tous les personnels). La volonté est davantage de passer au départ par une amélioration de la communication générale sur les performances énergétiques des systèmes et sur les objectifs à atteindre pour sensibiliser l'ensemble des personnels. Le degré d'investissement dépendra des outils mis à la disposition des décisionnaires pour améliorer leurs prises de décision.

Pour la politique GES, le Sonnenhof a une position mesurée ; la démarche est moins avancée et surtout plus difficile à mettre en place. Les résultats de la matrice montrent que le Sonnenhof se situe entre le niveau 0 et 1. De plus la question des émissions de GES n'est pas encore stratégique pour le Sonnenhof comme peuvent l'être les questions de performance énergétique. La direction pense que la montée des compétences en interne sera compliquée et plus difficile à mettre en œuvre car elle demande de mobiliser plus de connaissances et d'outils que le suivi énergétique et que le bilan complet demande une connaissance plus complète de son système (aussi bien de son système interne que des interactions avec des systèmes externes). Bien conscient des problématiques liées aux émissions de GES et

## CHAPITRE 4 Application au cas de la planification énergétique du Sonnenhof

volontaire pour « montrer l'exemple » et rentrer dans un cycle vertueux, le Sonnenhof désire quand même contrôler et suivre ses émissions de GES (à travers le BEGES) pour trouver des solutions pour diminuer ses émissions. En effet, le Sonnenhof pense qu'il n'aura pas les ressources (en temps et personnes) pour commencer à mettre en place ce management. Il préfère s'orienter vers des prises de décisions énergétiques tout en gardant en mémoire le lien énergie/GES et les conséquences (positives ou négatives) de changements d'activités et de modification des systèmes énergétiques sur les émissions de GES. Pour l'instant, la gestion du BEGES est réalisée en externe. Nous avons réalisé le bilan réglementaire (Scope 1&2) et détaillé les plus gros postes du bilan complet (Scope 1,2 &3). Pour cela nous avons mis en place une partie du processus de management GES. Avec un membre de la direction, nous avons constitué un groupe de travail sur les secteurs clés pour pouvoir consolider les données nécessaires à l'établissement du bilan. Nous avons ensuite mis en place un processus de communication avec la direction et les différents employés pour les sensibiliser à notre approche et permettre d'explicitier nos besoins (pour réaliser le bilan) et plus généralement expliquer la démarche BEGES. Par la suite, la compilation des données d'activités et des facteurs d'émissions nécessaires n'ont pas fait l'objet d'un suivi ou de la mise en place d'un processus de récupération de données autres que les données disponibles grâce aux données classiques comptables et ressources humaines et des données des émissions dues aux processus énergétiques.

Les discussions ont aussi permis de se rendre compte qu'il existait plusieurs niveaux de management possibles au Sonnenhof. Un management et une politique pour l'ensemble de son établissement (système) ainsi que pour chaque établissement/pôle (sous-systèmes). En effet, des problématiques et des objectifs peuvent être différents dans chaque établissement et méritent donc une réflexion avancée qui peut être différente de la politique générale de l'organisation.

En se basant sur les données consolidées avec les matrices de l'énergie et des GES, ainsi que sur la perception et les attentes des différentes PP, il est maintenant

possible de compléter la vision future du système avec les buts affichés notamment par la politique de la direction. Nous pouvons ainsi reprendre les représentations Multi-Ecrans (présentés dans le paragraphe c) grâce aux éléments mis en évidence dans les représentations matricielles.

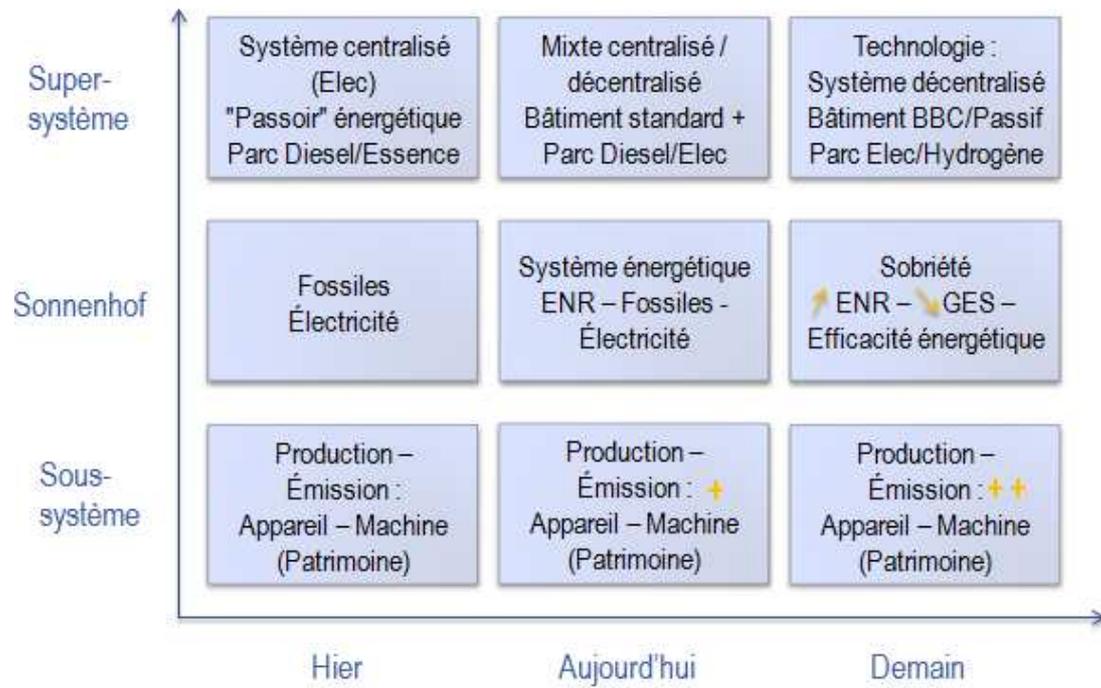


Figure 4–28 : Multi-Ecrans du système énergétique avec vision future

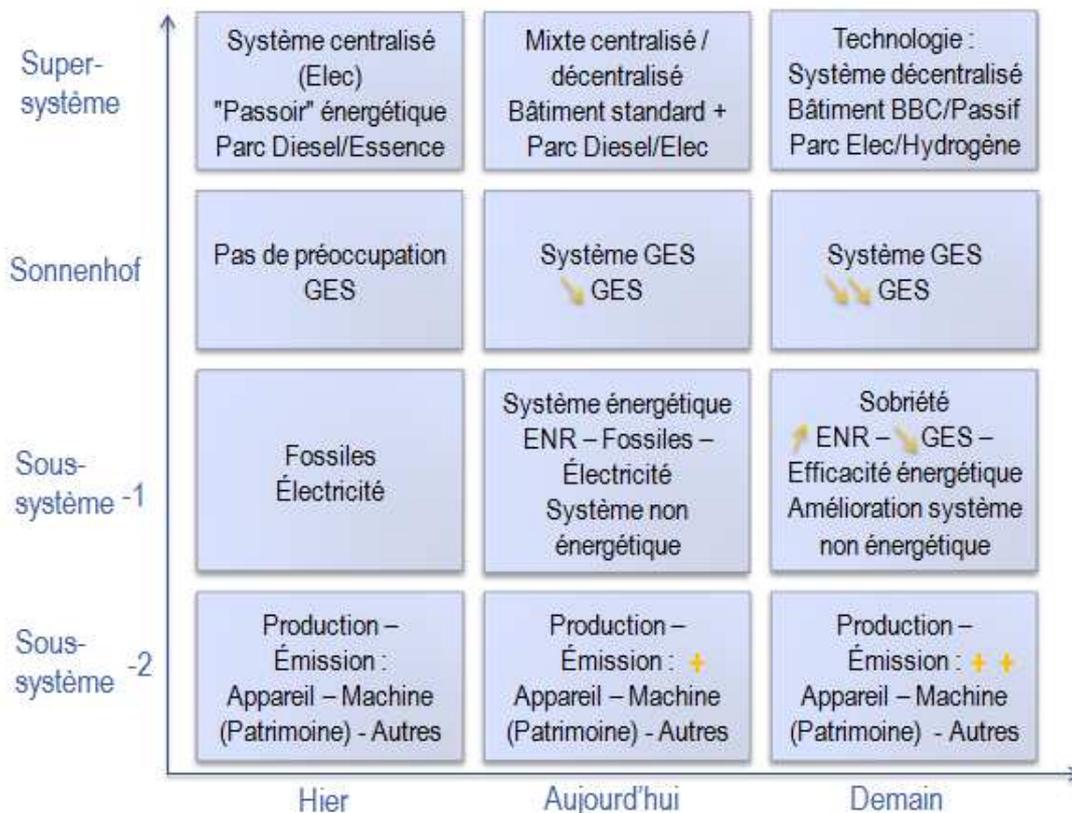


Figure 4–29 : Multi-Ecrans du système GES avec vision future

Cette analyse nous permet de repositionner par rapport à la situation et aux volontés explicites du Sonnenhof le cadre global d'action présenté dans l'introduction de cette thèse (cf. page 6 de l'introduction).

Le nouveau modèle énergétique que nous avons présenté repose en effet sur des économies d'énergie, l'utilisation d'énergies renouvelables et l'utilisation de systèmes plus performants.

On constate toutefois que si la problématique globale est une problématique environnementale de réduction des émissions de GES, le levier d'action principal est le levier de l'énergie. La question que l'on peut se poser à l'échelle d'une organisation est de savoir si cela est également pertinent.

Pour le Sonnenhof, nous pouvons constater, à partir du BEGES que environ 85% des émissions dans le cadre du bilan réglementaire (scopes 1&2) viennent de l'énergie, et environ 70% dans le cadre du bilan complet (scopes 1, 2 et 3).

Cela vient donc confirmer la position générale et donc les grandes orientations nationales et locales de planification énergétique avec des efforts à faire principalement sur le système énergétique (dans notre exemple sur les activités en lien avec des processus énergétiques).

#### e) Identification et structuration des objectifs

Pour réaliser cette étape, nous avons finalement travaillé en deux temps. En effet, il est difficile de structurer, sans avoir de vision *a minima* globale sur les objectifs visés. De ce fait nous avons commencé par identifier les objectifs avec les PP du Sonnenhof avant de les structurer, ce que nous avons fait au travers des outils « causal map » et « means-ends objective network ». Puis nous avons soumis ces représentations à discussions au Sonnenhof en le faisant si nécessaire revenir sur les réponses aux questions posées lors de la phase d'identification des objectifs.

- Identification des objectifs

Pour identifier les objectifs, nous avons proposé d'orienter la discussion à l'aide du questionnaire d'identification des objectifs présenté au chapitre 3 (que nous reprenons ici). Il permet de faire émerger un ensemble d'informations nous permettant ensuite d'entrer dans la phase de structuration des objectifs de l'organisation.

- Q1. Par rapport à la question de l'énergie et des émissions de GES, quels seraient vos souhaits, vos aspirations ?
- Q2. Quels problèmes voudriez-vous éviter ?
- Q3. A quelles contraintes/limitations pensez-vous avoir à faire face ?
- Q4. Quels sont vos objectifs ultimes ? Quelles sont pour vous, vos valeurs fondamentales ?

*Q1. Par rapport à la question de l'énergie et des émissions de GES, quels seraient vos souhaits, vos aspirations ?*

Le Sonnenhof veut être un acteur engagé et responsable avec une démarche environnementale et vertueuse. Il souhaite planifier sa transition énergétique et

## CHAPITRE 4 Application au cas de la planification énergétique du Sonnenhof

maîtriser ses émissions de GES. Il apparaît que sa principale préoccupation est de savoir la composition, l'état et les performances de son parc de bâtiment. Certains bâtiments sont vétustes et il est important de trouver des solutions pour en améliorer les performances. Les audits énergétiques sur tous les bâtiments sont donc nécessaires et une vision par activité et/ou par pôle serait un élément de plus. Les aspects de la rénovation des bâtiments sont à revoir et à améliorer (disposer d'une vision d'ensemble, maîtriser ses investissements et les économies possibles à réaliser). Il faut aussi améliorer simplement la connaissance des bâtiments et de leur fonctionnement (e.g. pour l'entretien et la maintenance). Les améliorations seront aussi orientées dans un souci d'amélioration du confort des résidents et d'amélioration du service qui leur est apporté. De plus il faudra prendre en compte que le site est occupé et que les différents travaux devront gêner le moins possible les résidents. Pour cela il sera important de disposer de méthodologies/d'outils d'évaluation et de pilotage (énergie et GES) pour que le Sonnenhof puisse gagner en autonomie et diminuer sa dépendance aux prestataires. Plus généralement, la mise en place d'une communication «énergie/GES » au niveau institutionnel (clients, donateurs, fournisseurs etc.) et interne (salariés et si possibles résidents) permettra une plus grande mobilisation. La mise en place d'une politique complète au niveau du développement durable est vue comme un souhait global.

### *Q2. Quels problèmes voudriez-vous éviter ?*

Les problèmes à éviter sont les erreurs possibles lors d'une construction/rénovation avec notamment de mauvais conseils de solution. Par exemple, le non remplacement d'une baie vitrée lors d'une rénovation (car pas le budget pour à ce moment là) mais qui après étude ultérieure s'est montré l'une des principales causes de déperdition thermique entraînant toujours une perte économique importante. Il est donc important de réaliser des changements cohérents quitte à augmenter les investissements au départ. Pour cela, le Sonnenhof est intéressé par une approche systémique pour se poser les bonnes questions avant les travaux de rénovation ou de nouvelles constructions dans le but de ne pas reproduire des erreurs constatées

sur d'anciens projets. Pour ce faire des outils décisionnels pour orienter les travaux, corriger de possibles défauts d'analyse et aider au choix de solutions seront nécessaires.

Une autre difficulté est le rapport de force compliqué avec les bailleurs sociaux qui ne laissent pas forcément la latitude pour l'amélioration de ces bâtiments.

*Q3. A quelles contraintes/limitations pensez-vous avoir à faire face ?*

La plus grosse contrainte est économique avec un budget défini et acté par une convention tripartite (Fondation + 2 tutelles : ARS et Conseil Départemental). Pour l'instant les investissements sont essentiellement dirigés vers l'axe bâtiment ; d'autres axes peuvent aussi être envisagés si les investissements ne sont pas trop importants. La deuxième contrainte est qu'il faut faire face au contexte légal et réglementaire qui peut amener des mises aux normes coûteuses (e.g. la sécurité incendie).

*Q4. Quels sont vos objectifs ultimes ? Quelles sont pour vous, vos valeurs fondamentales ?*

Dans l'idéal, le Sonnenhof aimerait se diriger vers un parc de bâtiment le plus économe en énergie possible (voire passif). Les activités devront avoir un impact minimum sur l'environnement, le coût devra être maîtrisé, la qualité de vie et le confort des résidents augmentés, des efforts devront être fait pour diminuer les émissions de GES et augmenter la performance énergétique des systèmes.

- Structuration des objectifs

A partir de l'analyse des systèmes et des informations précédentes, nous pouvons maintenant organiser les objectifs avec divers outils. La première construction, à l'aide de la « causal map » nous montre les liens de causalité entre les différents objectifs donnés par les experts.

## CHAPITRE 4 Application au cas de la planification énergétique du Sonnenhof

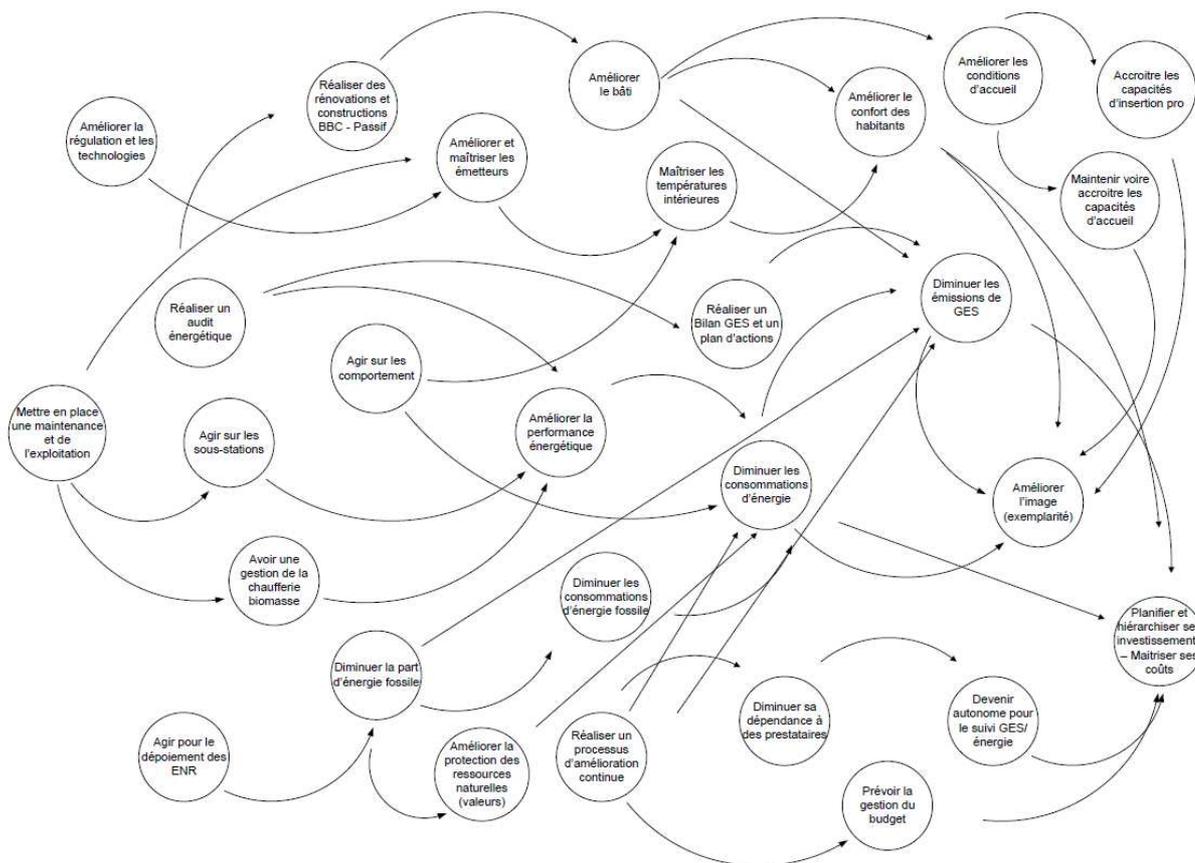


Figure 4–30 : « Causal map » du Sonnenhof

On remarque rapidement que la « causal map » est orientée sur la problématique du secteur du bâtiment. Cette représentation est assez logique car comme le montre l'étude précédente les attentes et les investissements du Sonnenhof sont essentiellement portés sur ce secteur là.

Pour l'améliorer, il faut reboucler le processus en posant les questions plus précises sur les autres secteurs d'activités et ne pas rester simplement sur le cadre général de la performance énergétique ou des diminutions des GES car les experts de l'organisation ne sont pas forcément experts de ces domaines et donnent donc la représentation qui leur semble être pertinente (ici les bâtiments occupent les postes d'investissement les plus importants et posent les problèmes les plus importants : confort des résidents et économie d'énergie). Nous verrons dans le chapitre 5 que nous avons réalisé une nouvelle « causal map » rediscutée avec une autre problématique.

La construction d'une « causal-map » se fait par étape et constitue véritablement un outil permettant d'échanger avec l'organisation et les PP et donc de recueillir des informations complémentaires. C'est aussi un outil qui va permettre de tester la cohérence des informations déjà disponibles. Enfin elle peut constituer un intermédiaire permettant d'animer le dialogue entre les PP.

Pour structurer ces idées représentées sur la « causal map » on utilise la logique du « means-end objectives network » pour structurer ces éléments.

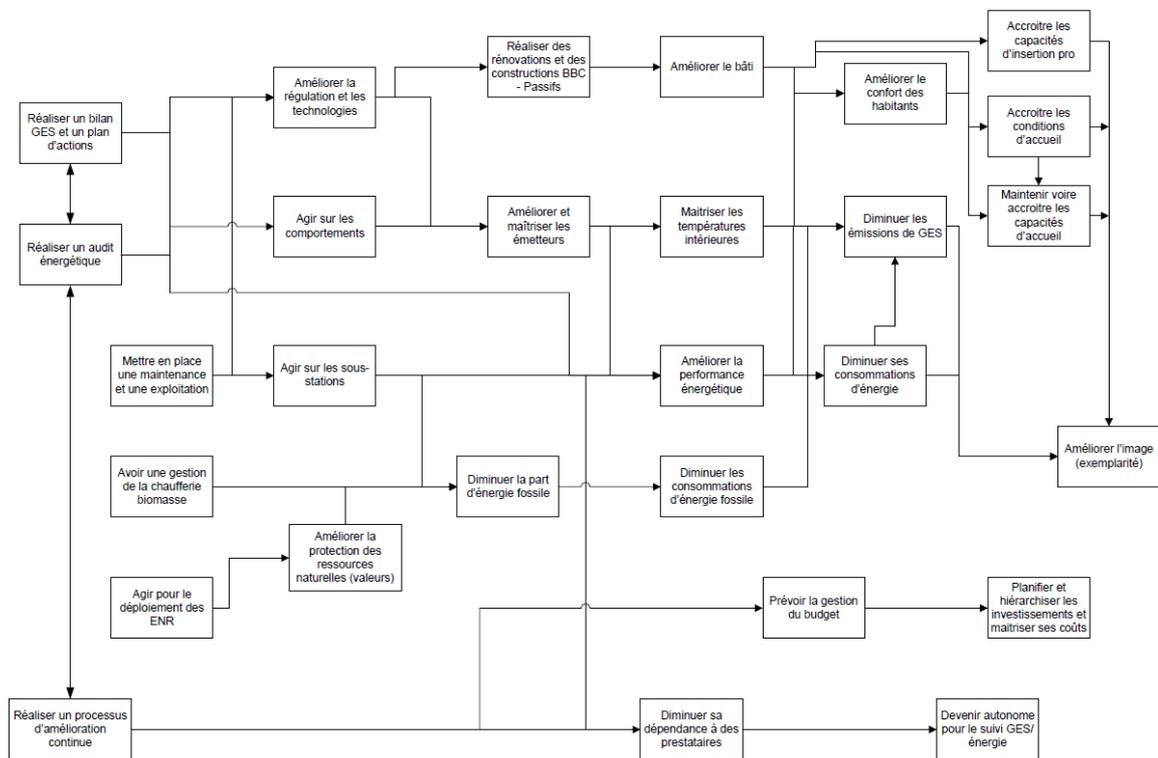


Figure 4-31 : « Means-ends objective network » du Sonnenhof

A travers cette représentation, des objectifs fondamentaux pour la planification énergétique apparaissent (améliorer le confort des habitants, diminuer les émissions de GES et les consommations d'énergie et planifier ses investissements). Pour arriver à atteindre ces objectifs, des moyens pour y arriver sont présentés sur ce graphique (de gauche – objectif de moyens à droite – objectifs fondamentaux). La fonction « Améliorer le confort des habitants » peut être réalisée en améliorant le bâti (e.g. rénovation - isolation) et en améliorant la maîtrise des températures internes (e.g. confort d'été ou agir sur les comportements). Diminuer les émissions des GES et les consommations d'énergie passe par l'amélioration de la performance

## CHAPITRE 4 Application au cas de la planification énergétique du Sonnenhof

énergétique des systèmes (e.g. amélioration technologique pour les appareils ou le bâti) et par l'utilisation de système utilisant des énergies « propres » peu/pas émettrices de GES (e.g. améliorer les ENR). Toutes ces fonctions partent de moyens de base nécessaires que sont les études de consommation/performance énergétique (e.g. audit énergétique) ou d'émissions de GES (e.g. BEGES) et de la connaissance de son patrimoine (en prenant aussi en compte la manière de l'exploiter, de l'entretenir et de réaliser la maintenance). A noter que les résultats sont plus orientés du côté énergie que du côté GES (les processus émetteurs hors énergie n'apparaissent pas sur ce graphique) confirmant encore une fois que les principales préoccupations (et aussi connaissances) du Sonnenhof sont plus orientées vers la gestion de son parc de bâtiments et des consommations énergétiques. La question générale des investissements et de leur gestion est aussi une part importante de la problématique.

Le travail préalable sur le système et avec les PP nous a permis d'identifier ces éléments et de vérifier auprès du Sonnenhof l'importance relative des ces éléments.

### f) Hiérarchisation des objectifs

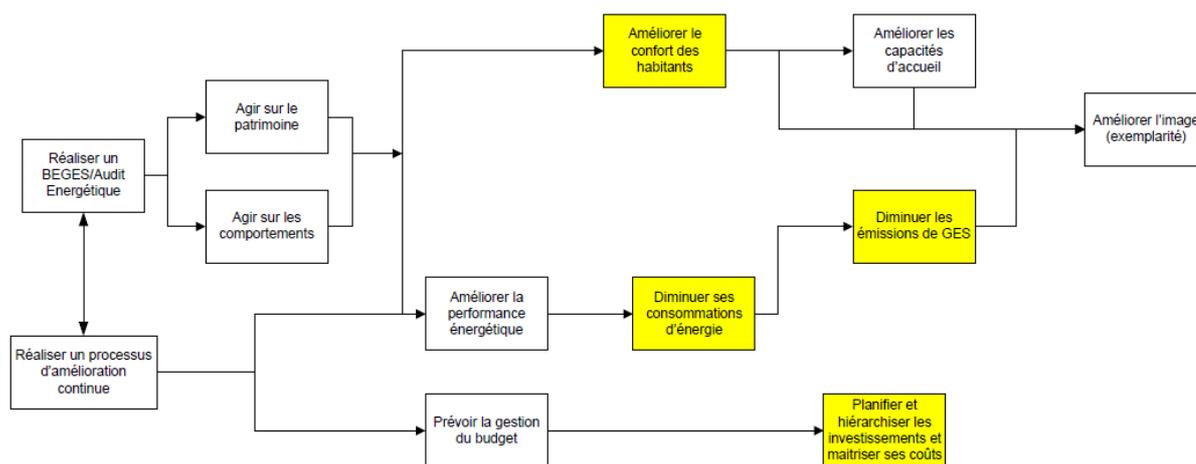


Figure 4–32 : « Objective hierarchy » du Sonnenhof

Les objectifs fondamentaux de planification énergétique peuvent se hiérarchiser afin d'établir des cibles pour la prise de décision et l'élaboration des solutions.

- Améliorer le confort des résidents.
- Diminuer les consommations d'énergie.
- Diminuer les émissions de GES.
- Maîtriser les coûts.

Pour compléter la clarté de ces objectifs, on peut leur donner un attribut pour améliorer leur signification et fournir une donnée de mesure pour suivre leur évolution. Le modèle ENV (Cavallucci et al., 2011) et des attributs de (Keeney and Gregory, 2005) permettent ici d'analyser plus en détail les éléments mis en évidence par les analyses précédentes. Dans notre cadre, il serait possible de lister les attributs suivants :

- Le confort : Température de confort en °C (attribut construit),
- L'énergie : Consommation d'énergie en kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an (bâtiment) (attribut naturel),
- Les émissions des GES : en t CO<sub>2eq</sub> (attribut naturel),
- Les coûts : en euros € (attribut naturel).

Le modèle ENV donne les paramètres suivant :

ENV		
Élément	Nom du paramètre	Valeur du paramètre
Confort	Température de confort	°C
Energie	Consommation d'énergie	kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> /an
Emissions de GES	Quantité de GES	en tCO <sub>2eq</sub>
Coût	Montant de la dépense	en euros €

Tableau 4-4 : Les paramètres suivant le modèle ENV

Pour la suite de l'étude de la planification énergétique, il serait intéressant de réduire le système à étudier pour que les outils utilisés précédemment soient plus efficaces ; notamment le Multi-Ecrans et les « causal map » qui restent assez généraux dans les résultats obtenus. Cependant cette étape reste nécessaire pour compiler de

l'information sur les systèmes en œuvre dans l'organisation. Dans un second temps, un rebouclage en se focalisant plus précisément sur des problématiques plus précises va permettre de revenir alimenter le modèle général premier basé essentiellement sur les connaissances et préoccupations initiales de l'organisation. Nous interrompons cette analyse à l'étape g). Nous expliquerons dans la conclusion de ce chapitre la raison et renvoyons dans la conclusion de la Partie 1 l'explication quant à la poursuite de l'expérimentation de notre méthode.

### **4/4. Conclusion du chapitre 4**

Comme nous l'avons montré dans ce chapitre, la démarche que nous avons proposée semble opérationnelle. Nous pouvons d'ores et déjà pointer deux avantages majeurs.

Le premier est qu'il nous permet effectivement de partir d'une vision très large d'une organisation et de l'aider à progresser. Le second élément est que la démarche nous permet d'identifier des thématiques sur lesquelles travailler.

Comme nous le constatons ici, les chantiers sont nombreux. Même si dans le cadre de cette recherche il nous a été impossible de les poursuivre tous, ils sont identifiés et l'organisation a les moyens informationnels de poursuivre son analyse. Le Sonnenhof met en place les études pour récupérer les informations nécessaires à la suite de l'analyse, notamment pour pouvoir modéliser les systèmes et étudier les données pour identifier les problèmes et proposer des concepts de solution. Cependant les contraintes de temps pour l'analyse de l'ensemble de patrimoine du Sonnenhof n'étaient pas compatibles avec la durée de la thèse (délai de réalisation des audits énergétiques).

Nous avons ainsi modifié notre stratégie d'expérimentation de manière à pouvoir travailler sur une problématique transverse, mais faisant partie de la question de la transition énergétique, sur laquelle nous avons les moyens de tester la suite de notre démarche proposée au chapitre 3.



# Conclusion de la Partie 1

Nous avons listé dans le § 3/2. du chapitre 3 les verrous auxquels nous étions confrontés. La démarche que nous proposons avait pour objectif de contribuer à lever ces verrous. L'expérimentation que nous avons pu réaliser au chapitre 4 sur le Sonnenhof en nous basant sur notre contribution exposée au § 3/3. du chapitre 3 nous conduit aux conclusions suivantes :

- Verrou 1 quant à la collecte d'information : nous avons exposé dans le chapitre 4 la capacité de notre démarche à nous aider à aller chercher de l'information afin de vérifier avec les PP si celle-ci est pertinente pour le projet. En particulier pour la problématique de la conception de la planification énergétique. Commencer l'analyse par l'établissement du BEGES apporte non seulement des données, mais surtout une connaissance relativement fine des activités et des installations permettant au concepteur de la mobiliser lorsqu'il s'agit de caractériser le système à étudier. Nous avons de ce fait été capables de partir d'une vision assez générale du Sonnenhof et d'aboutir à des points clés structurants pour la problématique. Cette analyse inclut des dimensions techniques et non-techniques. Nous avons analysé l'incertitude en particulier sur le BEGES.
- Verrou 2 quant à la structuration des problèmes : nous avons explicité le système sur lequel nous sommes amenés à travailler. Cependant, compte tenu de la complexité des dimensions y contribuant, l'articulation entre le problème et la stratégie n'a pu se faire que de manière générale. Par ailleurs n'ayant pas pu aller jusqu'aux dernières étapes de la démarche nous n'avons pas encore expérimenté la phase de structuration des problèmes, ni l'approche dialectique dans cette structuration. De la même manière l'ensemble des dimensions liées au plan d'actions et aux solutions n'a pas pu être expérimenté (à part la solution de la chaufferie biomasse mais qui était déjà en cours d'implémentation avant le début de la thèse).
- Verrou 3 quant à la prise en compte des PP : nous avons montré que nous pouvons prendre en compte l'ensemble des PP, y compris les PP dépendantes et dormantes. Nous avons également pu analyser de quelle manière les PP pouvaient évoluer ou s'associer de manière à contribuer à l'analyse ou faire partie du projet.

Afin de pouvoir vérifier si notre démarche permettrait de traiter les verrous qui ne l'ont pas encore été, nous avons lancé une seconde expérimentation. De manière à pouvoir avancer dans notre démarche nous avons fait, avec le Sonnenhof, le choix d'une problématique assez concise : celle de la gestion des véhicules de transport de personnes. Cette problématique apparaissait dans notre analyse, assez déconnectée des autres problèmes et ne nécessitant pas de grandes études spécifiques préalables.

**PARTIE II. FORMULATION  
ET STRUCTURATION  
DES PROBLEMES A  
PARTIR DES  
DONNEES**



Afin de pouvoir présenter la suite de la démarche proposée dans le cadre de cette thèse, il a été nécessaire de continuer l'analyse du Sonnenhof commencée dans le chapitre 4 en se limitant à un champ spécifique. A priori les sources de combustion sont des sources internes importantes relevant du scope 1 et il aurait été naturel de les traiter en premier. Cependant pour appliquer notre démarche il faut recueillir des informations. L'activité de recueil a été lancée mais les données ne seront disponibles à l'analyse qu'au-delà du délai imparti pour la thèse. Aussi, pour pouvoir tester notre démarche, nous avons décidé avec le Sonnenhof d'aborder l'amélioration d'une autre source pour laquelle nous pourrions disposer des données d'entrée rapidement. Le choix s'est porté sur les émissions des sources mobiles à moteur thermique et plus précisément la gestion d'une partie du parc des véhicules de la fondation. .

Le traitement de cet exemple va permettre de conforter nos hypothèses et la pertinence de la démarche proposée. Il montre notamment la pertinence de nos emprunts méthodologiques aux méthodes BEGES et IEPCT à l'échelle d'une ville ou d'un territoire, et celle de nos compléments et adaptations pour la planification énergétique d'une organisation. De plus, dans l'analyse du cas faite au chapitre 4 nous avons montré l'existence d'une incertitude non négligeable sur les mesures et les premières solutions envisagées par le passé. Nous avons conclu qu'il existait une incertitude quant à l'atteinte des objectifs à moyen terme. Il convient donc de trouver des solutions complémentaires ou susceptibles de dépasser les limites intrinsèques des solutions standards optimisées afin de limiter l'incertitude concernant l'atteinte des objectifs. Pour ce faire, nous proposons d'utiliser des démarches de conception inventives. Pour cela il faut pouvoir au préalable déterminer les limites de ces solutions ; nous proposons une démarche pour les identifier et formuler les problèmes de conception inventive sous une forme permettant, d'une part, de mieux comprendre le problème de conception, et, d'autre part, d'utiliser les méthodes de la TRIZ pour les résoudre. Comme indiqué au début de la thèse, la réduction des émissions de GES doit pouvoir se faire en respectant des objectifs de coût et des contraintes fonctionnelles pour les usagers des activités émettrices. La

problématique de réduction des émissions de GES peut donc aussi être abordée sous l'angle d'un problème d'optimisation multi-objectif. Nous montrons dans l'exemple comment exploiter l'optimisation des premières solutions proposées par les experts et parties prenantes pour créer un point d'entrée pour les méthodes de conception inventives et proposer des solutions supplémentaires.

L'analyse et le bilan de l'exemple nous permettra de discuter les limites de la méthode et sa généralité à divers niveaux.

La Partie 2 est organisée de la manière suivante. Dans le chapitre 5, nous commençons par présenter le problème traité, extrait de l'analyse faite au chapitre 4 : la gestion de leur flotte de véhicule de transport de personnes. Nous présentons dans ce chapitre toutes les données spécifiques à cette situation. Comme la démarche proposée au chapitre 3 (que nous avons appliquée partiellement au chapitre 4 pour l'ensemble du Sonnenhof) peut s'appliquer à différentes échelles, nous l'utilisons également afin d'analyser la situation plus spécifique de la gestion de la flotte de véhicule de transport de personnes du site de Bischwiller et ainsi explorer le problème de départ (**chapitre 5**).

Dans notre proposition méthodologique, l'étape suivante consiste à identifier les problèmes sous forme de contradictions. L'objet du chapitre 6 est de présenter les moyens que nous proposons de mobiliser pour y parvenir. De nombreux travaux s'appuient sur la contradiction pour résoudre les problèmes et faire émerger des concepts de solution pertinents. Toutefois, une limite de ces travaux est que la démarche d'identification de la contradiction s'appuie quasi exclusivement sur le savoir des experts des démarches de conception ou des experts du problème spécifique. Nous présentons dans le **chapitre 6** les dimensions plus approfondies de la contradiction, montrant ainsi que ce concept est en fait extrêmement riche et donne au concepteur des ressources nouvelles pour explorer l'espace de conception. De manière générale, les systèmes étudiés sont souvent de plus en plus complexes et les solutions standards sont conçues ou analysées avec des modèles numériques. Nous pensons que l'on pourrait exploiter l'information apportée par les

modèles numériques dès la définition du problème de conception dans la phase I, puis dans la phase II de recherche de solutions telles que présentées dans la démarche d'IEPCT que nous avons adaptée pour notre propre approche. C'est pourquoi nous présentons également dans ce chapitre des outils d'aide à l'identification des contradictions à partir de l'analyse de données numériques de simulation.

Enfin dans le **chapitre 7**, nous menons le processus de résolution sur notre cas en soulignant l'emploi des outils présentés dans le **chapitre 6**. Nous présentons les démarches successives d'analyse conduisant à une meilleure compréhension du problème et à l'émergence des différentes solutions. Notre objectif est de montrer comment cette nouvelle approche méthodologique à partir de données permet d'accompagner le processus de résolution en fournissant rapidement les informations nécessaires pour la mise en œuvre des méthodes de résolution de problème à base de contradiction.



## CHAPITRE 5 GESTION DES VEHICULES DU SONNENHOF (I) : ANALYSE DU CONTEXTE

---

L'objectif de ce chapitre est de présenter le cas spécifique qui servira à illustrer la seconde contribution de cette thèse : les outils de formulation des contradictions à partir des données. Le cas porte sur la gestion des véhicules de transports et de matériel du Sonnenhof. La question de départ formulée par le Sonnenhof était celle du renouvellement de certains véhicules au travers d'une problématique de réduction des coûts, ce qui pouvait être une opportunité de réduction des émissions de GES à condition d'arriver à baisser également les coûts. Par ailleurs, est très vite apparue l'opposition de principe entre des acteurs qui souhaitaient le renouvellement de certains véhicules vétustes pour continuer leurs activités et la demande de justification de ces investissements par d'autres. Après avoir précisé le contexte et les motivations générales, nous analysons le problème en utilisant la démarche présentée au chapitre 3 pour préparer les étapes suivantes.

### **5/1. Contexte et motivations du Sonnenhof**

Notre étude porte sur la gestion de la flotte de véhicule des établissements du site principal de Bischwiller (les véhicules de fonction sont exclus). Les véhicules sont donc les véhicules de services utilisés par les personnels pour leurs déplacements professionnels et de transports des résidents pour les déplacements les concernant (e.g. visites médicales, sorties collectives).

Aujourd'hui, chaque établissement du site de Bischwiller possède sa propre flotte de véhicules et sa propre façon de les gérer. Certains établissements travaillent avec un planning électronique, sous forme d'un agenda Outlook, d'utilisation des véhicules, d'autres fonctionnent avec un agenda papier géré par une personne qui organise

l'utilisation des véhicules. Il existe déjà dans le système actuel des prêts de véhicules ponctuels selon les demandes entre les établissements. Ces prêts sont effectués via une demande par l'utilisateur au gestionnaire du parc de l'établissement concerné. Ce système de gestion correspond à la situation initiale du système.

Le point d'entrée dans cette étude, tel que formulé par le Sonnenhof était la question du renouvellement de certaines véhicules.

Le problème initial du Sonnenhof est qu'il estime posséder plus de véhicules que nécessaire pour réaliser les activités nécessaires à son fonctionnement dans son périmètre d'action. Son but premier est de réduire son parc automobile avec pour principale motivation la diminution du coût de ce poste de dépense. En revanche, la diminution de la taille du parc automobile devra se faire tout en maintenant une qualité de service optimum pour les salariés et usagers. Cependant, à ce stade aucune vue complète de la situation et aucune démarche directrice avec des cibles précises à atteindre en termes de nombre de véhicules n'étant disponible, une posture d'attente est prise. Les véhicules devant être remplacés ne le sont pas (gel des investissements), les véhicules utilisées sont de plus en plus anciens et donc le nombre de véhicules possédés tendra à diminuer au fil du temps s'ils ne sont pas renouvelés. On pourrait alors observer si des problèmes apparaissent pour réaliser les activités nécessaires au fonctionnement du Sonnenhof.

Cette posture d'attente n'est pas satisfaisante car elle engendre une tension interne entre contrainte de gestion et réalisation de l'activité. Le Sonnenhof pense pouvoir diminuer ses coûts en mettant en place une gestion et une restructuration de son parc. Une piste évoquée par la direction est le regroupement des différents parcs des établissements de la Fondation en un seul parc (mutualisation) et une gestion centralisée de la demande ; ce regroupement est supposé permettre de diminuer la taille totale du parc de véhicules et des divers coûts associés.

Ainsi la problématique initiale du Sonnenhof peut être formulée ainsi<sup>15</sup> : Quelle est la taille minimale du parc à posséder pour répondre aux besoins des salariés/usagers et minimiser les coûts ? Quelles sont les solutions pour arriver à optimiser le nombre de véhicules du parc ? Quels sont les moyens d'optimiser les indicateurs économiques, énergétiques et GES ? Peut-on réduire les coûts, les dépenses énergétiques et les émissions de GES ?

Bien évidemment, le Sonnenhof s'est déjà préoccupé de cette question et dispose d'idées pour améliorer la gestion de ses véhicules. Plusieurs idées sont apparues :

- Le changement de type de véhicule (technologie),
- La mutualisation des véhicules,
- Le travail sur les plannings des salariés,
- La réorganisation du déplacement des services vers les besoins internes,
- Le déplacement du spécialiste/service vers l'utilisateur,
- La réorganisation du transport des résidents,
- L'externalisation de certains transports,
- L'utilisation du leasing ou de la location ponctuelle,
- Le remboursement au kilomètre avec l'utilisation du véhicule personnel du salarié,
- La prise en compte du coût complet d'exploitation d'un véhicule : pilotage, entretien, fonctionnement, maintenance, amortissement, assurance et consommation.

Toutefois, on ne sait pas si elles sont pertinentes et si elles peuvent constituer de véritables solutions aux problèmes du Sonnenhof. Ainsi, nous sommes partis de ces éléments de départ comme questionnement initial et avons déployé la méthode présentée au chapitre 3 pour commencer à y répondre.

---

<sup>15</sup> Nous verrons dans le §7/2.6.3 que la démarche que nous proposons vise non pas à reformuler la problématique, mais à construire une nouvelle vision de la situation faisant en sorte qu'elle ne soit plus problématique.

## 5/2. Analyse du système de transport

Nous reprenons ici, pas à pas, la démarche présentée au chapitre 3 et déployée sur la problématique énergétique globale au chapitre 4. Comme nous l'avons déjà fait, aux chapitres précédents, nous utiliserons, à des fins pédagogiques, la même numérotation des étapes (a. et suivants).

### a) Identification du périmètre

L'analyse du système commence par l'identification du périmètre de l'étude. Le périmètre géographique est le site principal de Bischwiller, le périmètre opérationnel est composé des activités liées aux transports de personnes. Les établissements étudiés ne comprennent pas les véhicules de l'ESAT ni les véhicules de fonction qui ne sont pas étudiés. Nous nous limitons ici à l'analyse des demandes de déplacements dans le cadre professionnel.

Le BEGES présenté précédemment (cf. chapitre 4) a permis d'identifier clairement les véhicules concernés (à travers les données d'activité consolidées) et leurs caractéristiques de base.

Véhicule	Type de véhicule	Etablissement	Type	Typologie	Mise en service	N°km au compteur
V1	BOXER	C.ZELL	Grand avec Fauteuil	7P	mai-04	81 322
V2	MASTER	C.ZELL	Grand avec Fauteuil	7P	févr.-11	41 568
V3	PARTNER	C.ZELL	Petit	5P	juin-01	154 276
V4	BOXER	EST	Grand	9P	nov.-05	256 124
V5	BOXER	EST	Grand avec Fauteuil	7P	févr.-02	72 907
V6	BOXER	EST	Grand avec Fauteuil	7P	mars-03	72 328
V7	CLIO	EST	Petit	5P	mars-13	47 407
V8	KANGOO	EST	Petit avec Fauteuil	4P	sept.-05	114 186
V9	TRAFIC	EST	Grand	9P	oct.-07	227 447
V10	TRAFIC	EST	Grand	9P	mai-10	162 629
V11	BERLINGO	OBERLIN	Petit avec Fauteuil	4P	sept.-13	26 872
V12	BOXER	OBERLIN	Grand	9P	juin-01	147 377
V13	TRAFIC	OBERLIN	Grand	9P	oct.-07	125 578

## CHAPITRE 5 Gestion des véhicules du Sonnenhof (I) : Analyse du contexte

<b>V14</b>	TRAFIC	OBERLIN	Grand	9P	sept.-13	32 437
<b>V15</b>	CLIO	SCHEPPLER	Petit	5P	sept.-11	25 214
<b>V16</b>	TRAFIC	SCHEPPLER	Grand	9P	oct.-07	119 009
<b>V17</b>	TRAFIC	SCHEPPLER	Grand	9P	sept.-13	32 433
<b>V18</b>	KANGOO	STRICKER	Petit	5P	sept.-07	96 527
<b>V19</b>	TRAFIC	STRICKER	Grand	9P	mars-08	73 137
<b>V20</b>	TRAFIC	STRICKER	Grand	9P	sept.-13	32 681

Tableau 5-1 : Flotte des véhicules du Sonnenhof pour notre étude

### b) Identification des acteurs.

La connaissance des différents acteurs en interaction avec le système de transport est indispensable pour mener à bien la suite du projet. Il est important déjà de pouvoir les identifier formellement en début de projet. Pour cela, on utilise la théorie des parties prenantes et les typologies de classifications (typologie 1,2 et 3 cf. chapitre 2 § 2/3. ). L'analyse plus fine est amenée comme aux chapitres 3 et 4 avec la typologie 3 de (Mitchell et al., 1997).

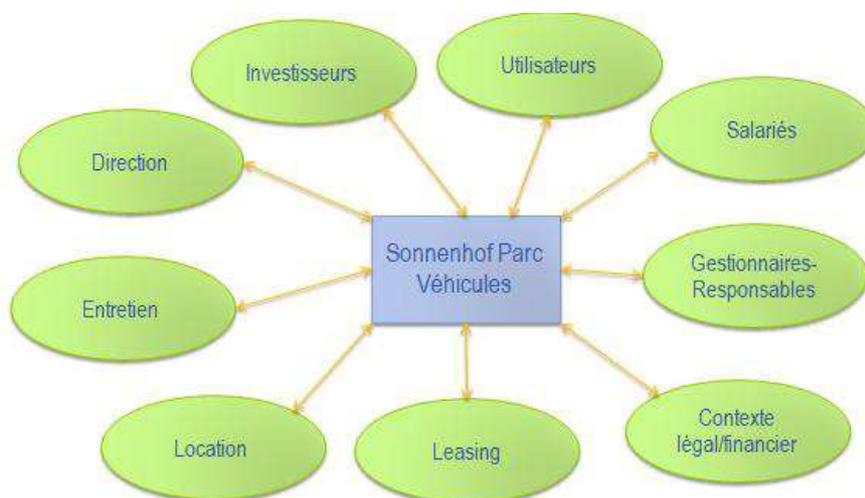


Figure 5–1 : Analyse des PP pour la problématique des véhicules du Sonnenhof

Parties prenantes	Typologie 1	Typologie 2	Typologie 3	
			Types	Attributs
<b>Salariés</b>	Employés	Int	Demandeuse	U
<b>Usagers</b>	Clients	Int	Demandeuse	U
<b>Gestionnaires/Responsables</b>	Employés	Ext	Définitive	P L U
<b>Investisseurs</b>	Investisseurs	Ext	Définitive	P L U
<b>Location</b>	Fournisseurs	Ext	Dormante	P
<b>Leasing</b>	Fournisseurs	Ext	Dormante	P
<b>Entretien</b>	Fournisseurs	Ext	Dominante	P L
<b>Contexte Légal/Financier</b>	Gouvernements	Ext	Dormante	P
<b>Direction Sonnenhof</b>	Employés	Int	Définitive	P L U

Tableau 5-2 : Analyse des PP selon les typologies des PP pour les véhicules du Sonnenhof

Nous rappelons que la typologie 3 est menée par rapport à notre question de gestion de la flotte de véhicules. Ainsi par rapport à cette question, les utilisateurs (salariés et usagers) ont un attribut d'urgence (ce sont eux qui expriment le besoin d'utilisation des véhicules), mais ils ne sont pas légitimes pour dire comment doit être gérée la flotte. Les PP ayant l'attribut de pouvoir sont celles qui posent le contexte légal ou sont celles, comme les prestataires, fournissant un service (ici la location ou le leasing) qui peuvent influencer les choix de l'organisation.

Les PP possédant l'attribut de légitimité, peuvent avoir une influence sur les orientations de l'organisation et peuvent imposer leurs choix suivant leur degré de pouvoir et être pris en considération suivant leur degré d'urgence.

Les prestataires fournissant le service d'entretien et de maintenance ont du pouvoir et de la légitimité dans le sens où l'entretien est absolument nécessaire pour le parc de véhicules. L'entretien et la maintenance sont aussi un frein possible de l'adoption d'une nouvelle technologie (avec l'accès à l'énergie) s'il n'existe pas encore d'expert pour s'en occuper (e.g. il existe peu de station d'accès et d'entretien pour les voitures hydrogènes).

Enfin la Direction du Sonnenhof, les responsables et gestionnaires du parc et les investisseurs disposent des trois attributs (pouvoir, urgence et légitimité). La Direction et les responsables vont prendre les décisions pour le futur du parc de

véhicules. Ici les potentiels investisseurs disposent des mêmes attributs car outre leur pouvoir d’orienter ou d’influencer les investissements, ils doivent être pris en considération car l’essentiel du budget est déjà orienté vers les améliorations du bâti.

Il est aussi à noter l’apparition de conflits entre la Direction et les utilisateurs disposant des véhicules et s’inquiétant de ne plus pouvoir, ou avec moins de facilité, réaliser leurs activités. Il est donc important lors de la construction des objectifs et de la structuration de la problématique de prendre en compte ses différents avis pour aboutir à la conception d’objectifs et de cibles partagés par les différentes parties prenantes et répondant à leurs demandes, préférences et intérêts.

c) Identification du système de transport

Le système actuel est représenté par sa fonction : transporter des personnes. L’analyse des flux énergétiques et les informations du BEGES nous fournissent des éléments conduisant à une première caractérisation du système des transports.

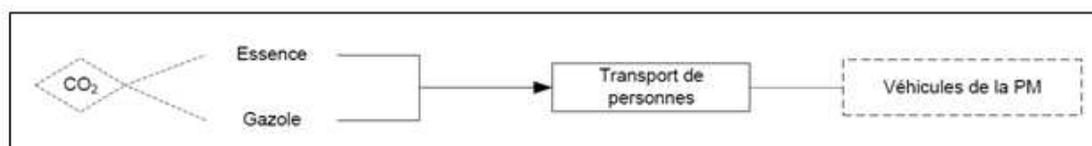


Figure 5–2 : Flux énergétique des véhicules du Sonnenhof

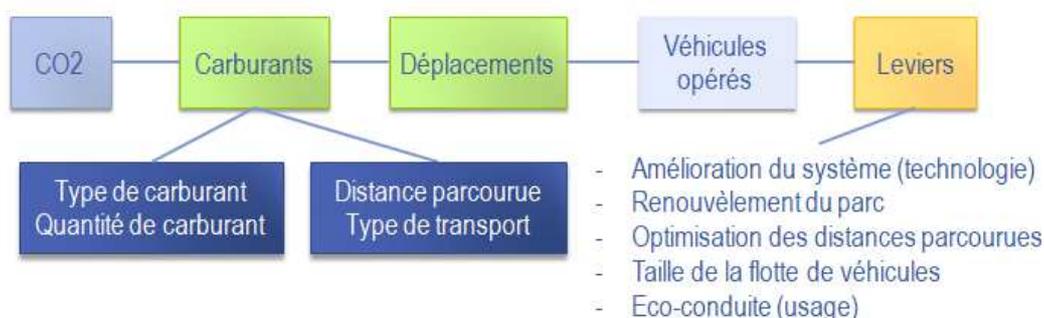


Figure 5–3 : Schéma BEGES pour l’analyse des leviers d’action pour les véhicules du Sonnenhof

L'analyse Multi-Ecrans, sur la Figure 5–4, nous conduit à caractériser la fonction transporter des personnes dans son environnement et dans le temps (de T-1 à T+2). Il est donc important de réaliser le mieux possible **le service** de transport tout en améliorant des critères importants pour l'organisation qui sont apparus durant les discussions en amont que sont **le coût** du parc et **les émissions de GES** de ce parc. Ces critères constituent des valeurs à atteindre ou attendues pour ce système. Ils constituent ainsi pour nous des paramètres d'évaluation (PE) car se sont les critères grâce auxquels nous allons pouvoir mesurer les performances des solutions que nous proposons. Le paramètre énergétique apparait aussi comme un critère important mais qui entrera comme une composante du coût et des émissions de GES.

L'analyse faite avec la représentation Multi-Ecrans, permet aussi de lister les sous-systèmes composant notre système qui sont : le parc de véhicules (types, nombres de véhicules), la gestion (planning, règles), les utilisateurs (conducteurs, transportés) et les moyens de transport (autres, sous-traitance etc.). De la même manière, les super-systèmes pouvant influencer le système sont : l'évolution de l'organisation (évolution de la demande, du nombre de résidents etc.), la politique énergie/GES de l'organisation et plus généralement les contraintes légales et technologiques.

Le suivi des modifications des PE permet de suivre l'évolution du système dans le temps et selon l'implémentation successive de plusieurs solutions. Le but du suivi des PE est de pouvoir comparer et évaluer les différentes solutions en introduisant des cibles à attendre pour les PE ainsi qu'une hiérarchisation (degrés d'importance) entre les PE.

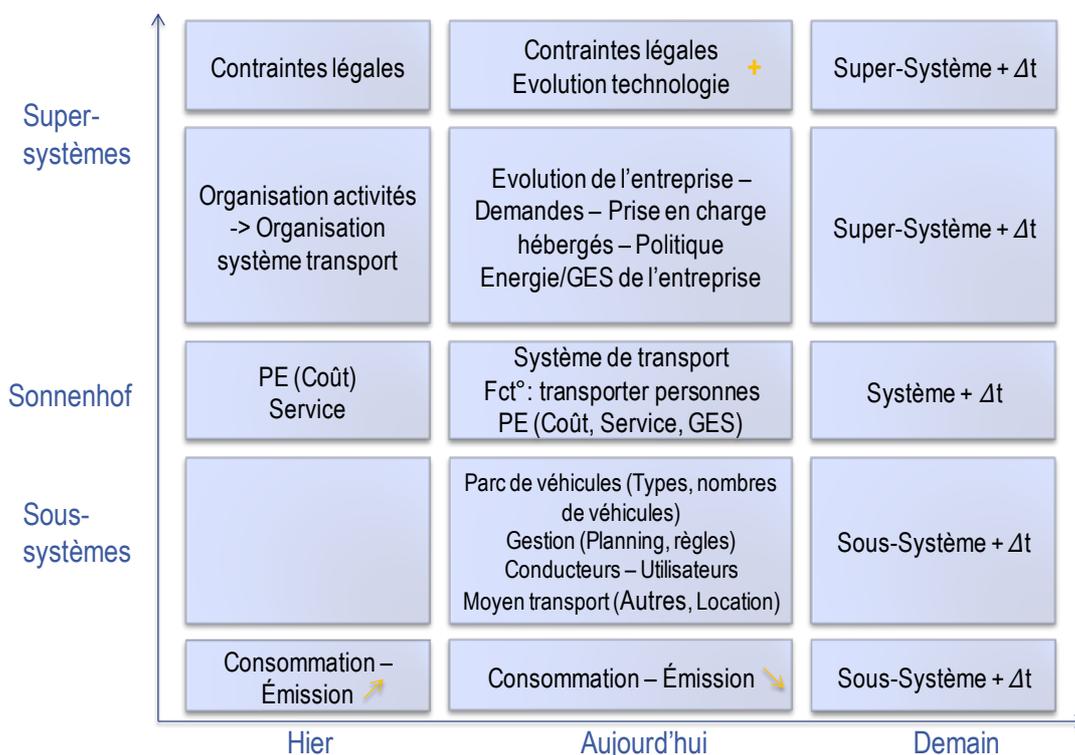


Figure 5–4 : Multi-Ecrans du système des transports

d) Identification de la politique de transport

La politique de l'organisation pour les transports correspond à la vision de la problématique énoncée précédemment. Des contraintes sur le système des transports amène l'organisation à se poser des questions sur l'organisation à adopter pour réaliser les activités nécessaires liées à la problématique du transport.

Nous pouvons nous baser sur l'analyse des politiques énergétiques et GES de l'organisation qui font partie des caractéristiques de la partie transport. L'amélioration de l'efficacité énergétique et la réduction des émissions de GES passent par des efforts à faire dans le domaine des transports. Les données récoltées lors du Bilan Carbone® présenté au chapitre 4 permettent de disposer d'informations exploitables pour commencer l'étude de ce système. Cette phase de récupération d'informations permet aussi de trouver des interlocuteurs qualifiés et formés pour constituer un groupe de travail.

Nous avons réutilisés l’outil de matrice de management pour faire le point sur l’état de la politique de management du transport du Sonnenhof et évaluer comment il peut évoluer. Une nouvelle matrice a donc été construite sur le même schéma que les précédentes (énergie et GES).

	Politique de management des véhicules	Organisation	Formation du personnel	Suivi, contrôle et consolidation des informations des systèmes	Communication	Investissement
4	Politique de gestion de flotte avec un plan d'action et rapports réguliers. La gestion de la flotte est intégrée dans la structure de management 	Véritable gestion de la flotte avec un suivi, une logique d'amélioration continue et intégrée complètement à la structure de management 	Non pertinent	Suivi sous forme de tableau de bord et analyse prospective 	Valorisation de l'efficacité et de la performance de l'utilisation de la flotte de véhicules (utilisation raisonnée) en interne mais aussi à l'extérieur de l'organisation	Critères d'évaluation propres à l'utilisation efficace de la flotte de véhicules pour élaborer des scénarios détaillés d'investissement
3	Politique de gestion de flotte en place mais pas de participation active de la direction 	Gestion de la flotte de véhicules légitimée par la direction 		Mise en place de tableaux de bord de suivi 	Organisation régulière de réunions, compte rendu et communication sur le bon fonctionnement de l'utilisation de la flotte 	Critères d'évaluation classique utilisée dans les projets de réduction des coûts pour les projets d'utilisation efficace de la flotte de véhicules 
2	Politique de gestion de flotte développée par les managers mais pas adoptée	Mise en place d'un gestionnaire de flotte mais la chaîne de management et l'autorité ne sont pas claires		Mise en place d'indicateurs de suivi	Mise en place de mécanismes de communication pour promouvoir l'utilisation efficace de la flotte de véhicules 	Investissements modérés réalisés si et seulement si ROI à court terme 
1	Existences de directives non rédigées 	Contacts informels entre les managers de la flotte de véhicules et quelques utilisateurs 		Suivi de la flotte réalisée principalement en termes de dépenses 	Contacts ad-hoc non formalisés pour promouvoir l'utilisation efficace de la flotte de véhicules 	Seules des mesures peu coûteuses sont prises 
0	Aucune politique de gestion de flotte	Aucune délégation de responsabilité pour la gestion de la flotte 		Aucune mesure de performance de la gestion de la flotte 	Aucune communication pour l'utilisation efficace de la flotte de véhicules 	Aucun investissement pour l'augmentation de l'utilisation efficace de la flotte de véhicules

### Légende

-  Niveau actuel
-  Démarche en cours
-  « Réaliste » 5 ans
-  Idéal 5 ans

Figure 5–5 : Matrice de management des transports

L’analyse de la matrice montre que le niveau actuel de management des transports du Sonnenhof se situe entre le niveau 0 et 1. Pour le moment, il existe quelques consignes, comme la gestion d’un planning, et la Direction adopte une politique d’attente avec peu d’investissement. Les démarches en cours visent à une meilleure organisation de la gestion de la flotte avec la mise en place d’un coordinateur capable de faire la liaison entre tous les responsables d’établissement et des gestionnaires des plannings pour mettre en place un planning commun unique de

## CHAPITRE 5 Gestion des véhicules du Sonnenhof (I) : Analyse du contexte

partage de la flotte de véhicules. La prochaine étape est la création d'un poste avec une politique approuvée par la Direction pour gérer complètement l'ensemble de la flotte de véhicules. Cependant la mise en place d'indicateurs de suivi autre que les plannings et coûts, reste indispensable pour faire évoluer la flotte et établir des concepts d'amélioration. Ces indicateurs doivent notamment intégrer le fait que le système de transport se place dans les systèmes plus globaux de la planification énergétique et GES.

Ces constatations faites, il est maintenant possible de compléter la vision future du système avec les buts affichés notamment par la politique de la direction. Nous pouvons ainsi reprendre la représentation Multi-Ecrans présentée dans le paragraphe c) grâce aux éléments mis en évidence précédemment.

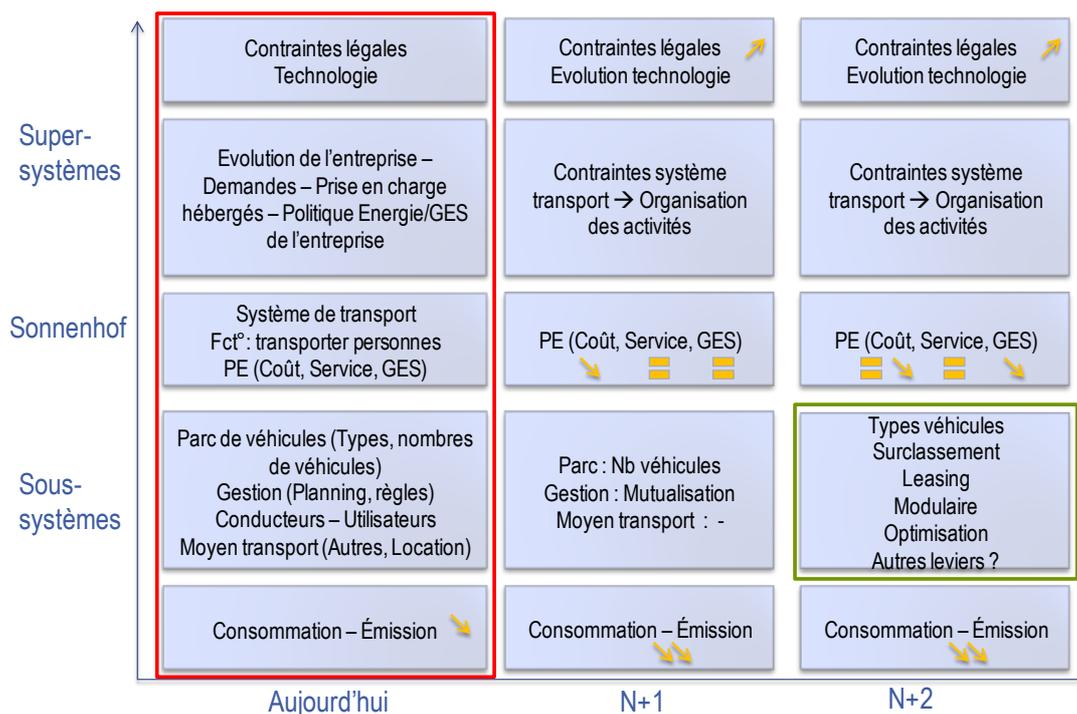


Figure 5–6 : Multi-Ecrans du système transport avec vision future

La politique sur les transports a évolué d'une organisation des activités qui définissait l'organisation du système à une réflexion sur les contraintes du système dans le but d'organiser les activités et la gestion de la flotte de la manière la plus efficace et

efficace possible. Le suivi des paramètres d'évaluation et la fixation de buts (maintenir un service optimal, diminuer les émissions de GES et maintenir voire diminuer le coût) permet de caractériser des leviers d'action qui impactent les performances du système et peuvent les faire évoluer vers les buts.

#### e) Identification et structuration des objectifs

L'analyse précédente a permis une meilleure compréhension des différents objectifs. A ce stade, on ne parle plus de réduire les coûts du parc de véhicules mais ceux du système de transport. Ainsi, diminuer le nombre de véhicules n'est pas plus un objectif mais un moyen (un levier d'action) qui impacte diverses performances comme les coûts et les émissions. Le service : transporter les usagers doit être maintenu voire amélioré. De ce fait, chaque indicateur est à améliorer, les différentes solutions seront comparées avec le triplet coût, service, GES.

Maintenant que le système est mieux connu et que nous avons identifié les différentes parties prenantes, nous devons établir proprement une liste des objectifs. Pour construire cette liste nous avons besoin des connaissances des experts de l'organisation. .

Pour arriver à faire émerger ces objectifs nous nous sommes appuyés sur les logiques de « causal-map » et de Q/R pour orienter les discussions.

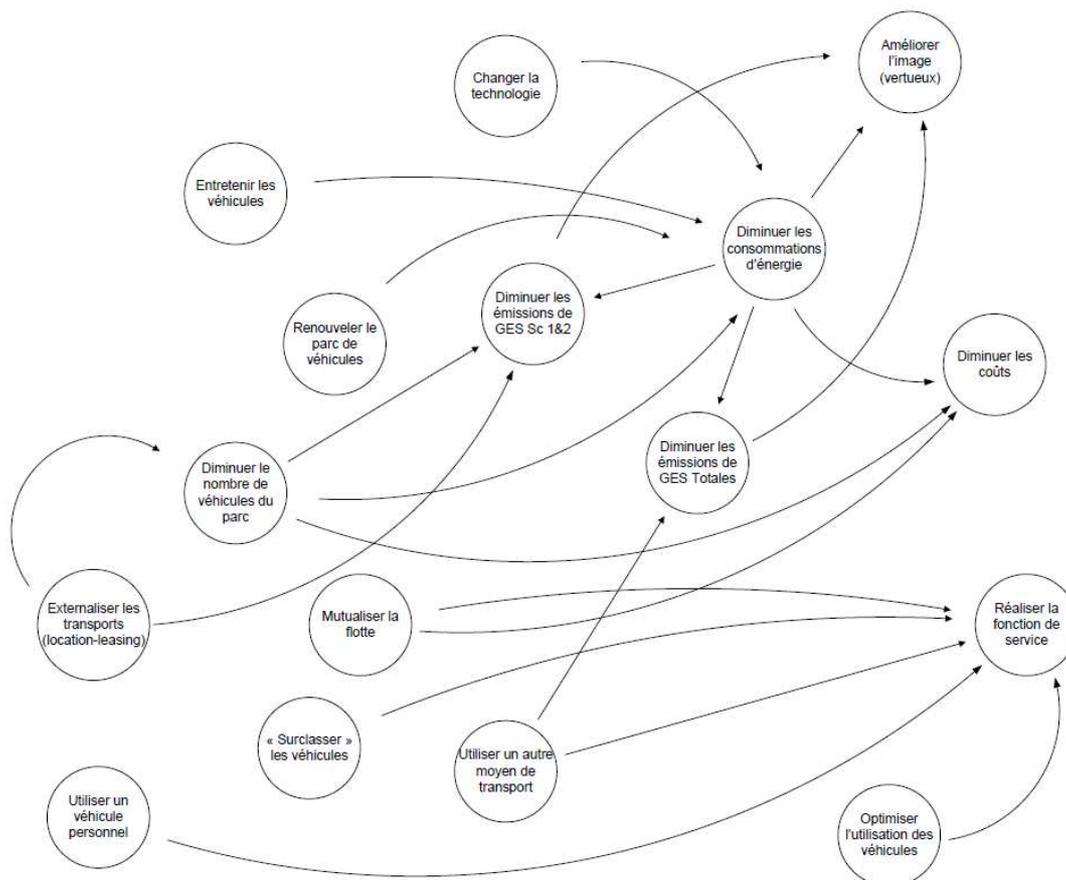


Figure 5–7 : « Causal map » du système des transports

La première version de la « causal-map » montre des liens de causalité comme se le représente les experts et comment nous nous le représentons au vu de nos connaissances initiales sur le système. Une des premières questions que l'on s'est posé est : comment valider les causalités apparaissant dans cette représentation ? Pour améliorer la compréhension des relations entre les idées de la « causal map » nous avons utilisé le « means-ends objectives network » pour réorganiser et structurer ces éléments. Cet outil permet de différencier les objectifs de moyens (important car nécessaire à la réalisation d'un autre objectif) et fondamentaux (une raison essentielle dans le contexte de décision).

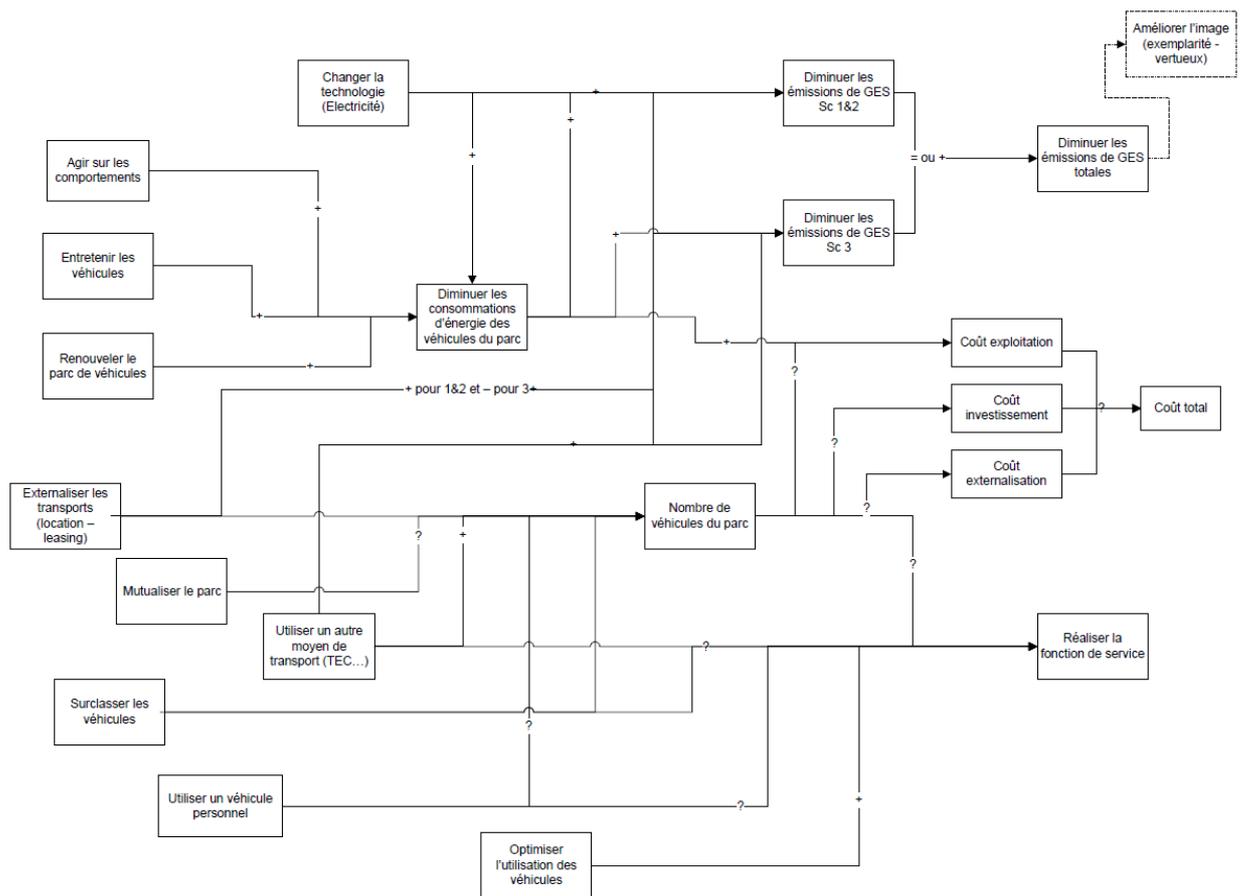


Figure 5–8 : « Means-ends objective network » du système des transports

Le « means-ends objective network » permet de mettre à jour les liens entre les objectifs fondamentaux (diminuer les émissions de GES, diminuer les coûts et réaliser la fonction de service) à droite sur la Figure 5–8 et différents moyens pour y arriver (vers la gauche sur la Figure 5–8). On remarque avec cette représentation qu'il existe, *a priori*, des façons d'agir sur les objectifs fondamentaux listés précédemment, cependant il est difficile de dire sans étude supplémentaire si ces moyens permettent une influence positive ou négative sur le système par rapport aux objectifs fondamentaux. Nous proposons pour compléter cette vision d'élaborer un modèle (mathématique analytique ou complexe) permettant d'évaluer les performances des différentes solutions obtenues avec les leviers d'action identifiés. Nous avons tout de même introduit dans notre schéma une représentation des influences telles que nous nous les imaginons à ce stade de l'étude: les symboles

## CHAPITRE 5 Gestion des véhicules du Sonnenhof (I) : Analyse du contexte

« + », « - » et « ? » représentent respectivement une influence positive, négative ou inconnue.

On remarque que la fonction « Réaliser le service » est la plus dure à appréhender. En effet il est difficile de dire quelle va être exactement l'influence des modifications des leviers d'actions sur cette fonction. L'impact sur la fonction de service n'est pas trivial, en diminuant le nombre de véhicules du parc, il est possible que la fonction service ne soit pas dégradée dans un premier temps (si le nombre de véhicules est trop important), cependant il est évident que si le nombre de véhicules passe sous un certain seuil à définir, la fonction de service sera dégradée (si l'on ne rajoute pas d'autres moyens de réaliser la fonction : leasing, location, etc.). Plusieurs pistes sont avancées pour utiliser le levier du nombre de véhicules du parc jugé trop important par la direction. La première piste est la mutualisation du parc de véhicule de tous les établissements pour permettre le prêt de véhicules entre les différents établissements de la Fondation. La direction fait l'hypothèse que les véhicules ne sont pas assez utilisés alors que les utilisateurs n'ont pas le même sentiment. La cause est peut être dans la perception différente de chacune des parties. Nous pensions également que la mutualisation était une solution plausible dont il faudrait démontrer la pertinence. En effet, nous faisons l'hypothèse que l'ensemble des véhicules peut être vu comme un ensemble de stocks disponibles pour répondre aux demandes aléatoires des différents établissements du site. La somme des stocks de sécurité nécessaires pour répondre à la demande de chaque établissement dans le cas d'une gestion par établissement est vraisemblablement supérieure au stock de sécurité nécessaire pour faire face à la demande totale également aléatoire, surtout si chaque demande par établissement a une grande variance et si les demandes sont peu corrélées. Toutefois, il n'est pas impossible que le mode de gestion dégroupé soit déjà optimisé, d'où le sentiment de crainte des usagers qui n'ont pas l'expérience des performances du modèle de gestion mutualisée. Il est aussi possible d'utiliser son véhicule personnel (inconvenient pour les salariés) ou d'organiser des trajets en transports en commun (faisabilité difficile à mettre en place

– zone péri urbaine). Une autre solution sera d’optimiser l’utilisation de chaque véhicule qui aura une influence positive sur la fonction de service.

La fonction « Diminuer les émissions de GES » est plus facile à représenter. Pour diminuer les émissions de GES on passe soit par une réduction des consommations d’énergie (e.g. diminution de la consommation de carburant) soit par des améliorations sur des activités hors énergie (e.g. agir sur les comportements) ou des changements de systèmes (e.g. changement de technologie).

Pour la fonction « Coût », elle dépend de plusieurs paramètres qui la composent : le coût d’exploitation, d’investissement et d’externalisation. Il est facile de trouver que les différentes solutions proposées influencent la fonction coût. Cependant il est beaucoup plus difficile d’évaluer l’impact exact sur le coût total. Par exemple, adopter une nouvelle technologie (e.g. voiture électrique) ou simplement remplacer un véhicule par un véhicule plus économe en énergie coutera sûrement plus cher à l’achat mais engendrera des économies de carburant fossile (et aura des bénéfices autres que comptables comme la baisse des émissions de GES).

#### f) Hiérarchisation des objectifs

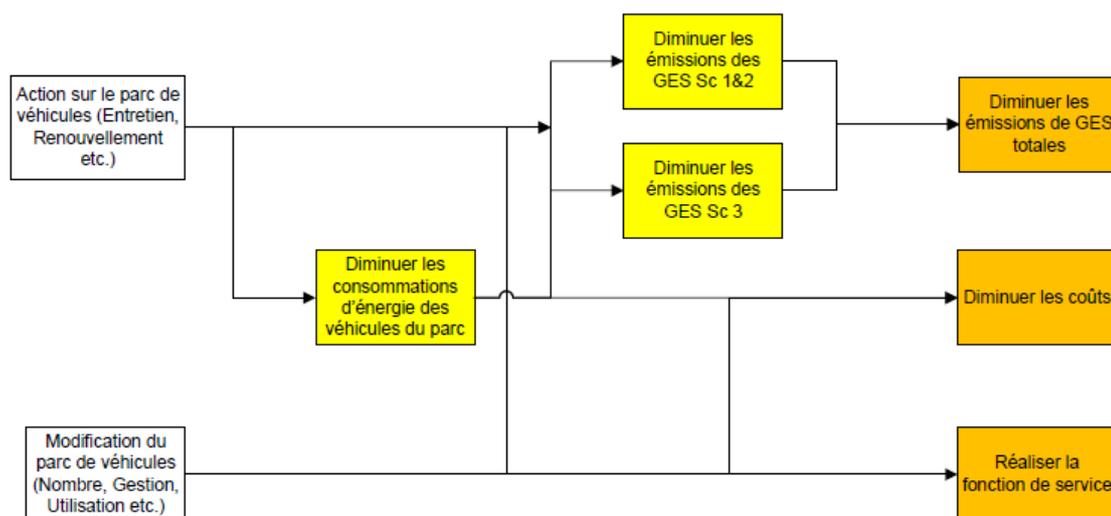


Figure 5–9 : « Objective hierarchy » du Sonnenhof

## CHAPITRE 5 Gestion des véhicules du Sonnenhof (I) : Analyse du contexte

Classer ensuite les objectifs fondamentaux permet d'établir une hiérarchie qui servira à la prise de décision lors de l'élaboration des solutions.

Dans notre cas, le Sonnenhof a montré un réel intérêt pour arriver à :

- Réaliser le service avec un certain taux (à définir),
- Diminuer les émissions de GES (à définir),
- Diminuer les coûts.

Pour compléter la clarté de ces objectifs on peut leur donner un attribut (dans ce cas, des attributs naturels ou construits au sens de (Keeney and Gregory, 2005) pour améliorer leur signification et fournir une donnée de mesure pour suivre leur évolution. Nous avons :

- Le service : Taux de satisfaction en % (attribut construit),
- Les émissions des GES : en t CO<sub>2eq</sub> (attribut naturel),
- Les coûts : en euros € (attribut naturel).

En utilisant le modèle ENV (Cavallucci et al., 2011), les paramètres sont les suivants :

ENV		
Elément	Nom du paramètre	Valeur du paramètre
Service	Taux de satisfaction	en %
Emissions de GES	Quantité de GES	en tCO <sub>2eq</sub>
Coût	Montant de la dépense	en euros €

Figure 5-10 : Paramètres d'évaluation avec le modèle ENV

A partir des modèles précédents nous avons pu établir une liste d'objectifs fondamentaux caractérisés par des cibles à atteindre (fixer un coût, un taux de satisfaction, et des émissions de GES à atteindre). On remarque que les objectifs de moyens (les leviers d'action) ont une influence sur plusieurs objectifs fondamentaux. Pour un cas précis comme l'évaluation des émissions de GES, les résultats peuvent être évalués par le calcul (méthode Bilan Carbone<sup>®</sup>) et comparer différents scénarios

est possible. Le calcul du coût et du taux de satisfaction est plus complexe et nécessite l'élaboration de différents scénarios difficilement appréhendables par des méthodes analytiques.

g) Identification des barrières

En utilisant le « Tongs-model » (Khomenko and Cooke, 2011) et en y articulant les informations provenant de l'analyse des PP, on constate que le Sonnenhof doit faire face à deux barrières majeures.

Premièrement, la nécessité de réaliser le service avec un questionnement sous-jacent important : doit-on ajuster le nombre de véhicules à l'exigence de l'activité, ou doit-on « ajuster la fonction transporter des personnes » à l'exigence de l'activité ? La capacité à formuler cette problématique est importante car elle met en avant un nécessaire changement de culture dans cet aspect de la réalisation de cette activité centrale au Sonnenhof.

Intuitivement, et c'est effectivement repris dans la formulation précédente des objectifs, les objectifs de minimisation des coûts, de maximisation du taux de satisfaction et de minimisation de l'impact carbone ne semblent pas compatibles. Mais ne le sont-ils pas effectivement ? Dans quelle mesure ?

Ces deux obstacles majeurs conduisent, en les articulant avec l'analyse antérieure à parcourir une démarche de conception de solution répondant aux attentes du Sonnenhof.

### **5/3. Conclusion du chapitre 5**

Dans ce chapitre nous avons établi les buts et les objectifs et les éléments du problème de conception et un premier espace de conception via les leviers d'action considérés. Les étapes suivantes sont les étapes d'identification et de structuration des problèmes qu'on pourrait rencontrer en essayant d'atteindre nos objectifs, puis d'élaboration des concepts de solutions résolvant ces problèmes.

Nous avons proposé de formaliser les problèmes sous forme de contradiction, de manière à pouvoir utiliser certains outils de résolution des contradictions déjà éprouvés dans TRIZ et OTSM-TRIZ. Ces étapes font référence à l'un des verrous que nous avons listé dans le chapitre 3 : comment faire émerger les contradictions ? Nous nous retrouvons ainsi confronté à une difficulté majeure déjà évoquée précédemment (cf. chapitre 2), la phase de construction des contradictions n'est pas outillée et s'appuie sur les compétences des experts.

Les chapitres qui suivent ont pour objectif de présenter notre contribution sur les méthodes d'identification des contradictions à partir des données. Pour ce faire nous avons réalisé une modélisation du parc de véhicule du Sonnenhof. Les données recueillies pour construire le premier modèle sont un échantillon des utilisations passées sur une période d'un mois qui correspond à une période chargée dans l'année pour chaque établissement de gestion des véhicules. Nous avons fait l'hypothèse que comme le nombre de véhicules était assez important pour répondre à la quasi-totalité de la demande, que l'utilisation représentait la demande.

La modélisation initiale du système de transport peut se faire suivant la Figure 5–11 ci-dessous. La logique employée correspond à un modèle pour le logiciel de simulation Witness qui va nous permettre de réaliser les simulations.

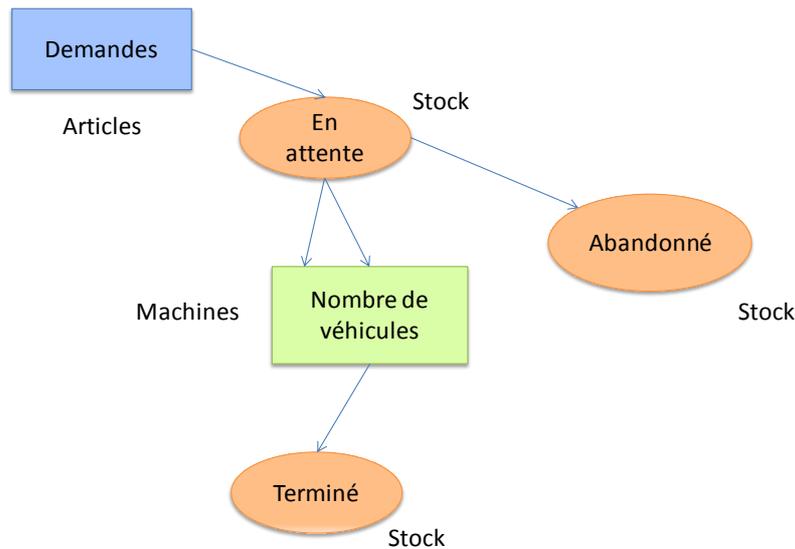


Figure 5–11 : Schéma initial de modélisation

Les différentes demandes de véhicules (on peut parler aussi d'une commande d'un véhicule) sont modélisées par des articles cheminant tout au long de la simulation en suivant les flèches de la figure. Chaque demande est envoyée dans un stock en attente de son traitement par un véhicule libre (représenté par une machine dans le logiciel). Une fois la commande terminée, la demande est acheminée dans un stock « terminé » pour marquer la fin de l'utilisation du véhicule.

Les demandes qui ne sont pas traitées par la flotte de véhicule du Sonnenhof, c'est-à-dire les demandes étant en retard, sont représentées dans une première approche par un stock « abandonné ».

**Hypothèses :**

- Les données sont les plannings du mois de juin 2016.
- Le nombre de véhicules modélisés est de 20 (cf. Tableau 5-1).
- La modélisation est faite dans une première approche sur 24h d'utilisation possible.
- Les véhicules sont classés en 4 catégories différentes : les 5 places (5P), les 4 places + 1 fauteuil roulant (4P), les 9 places (9P) et les 7 places + 1 ou 2 fauteuils roulants (7P).

Données d'entrées fixes :

- Planning des véhicules (pour l'expérimentation), notre entrée est en fait la demande : il faudrait pouvoir analyser la demande pour déterminer si les demandes sont corrélées ou non.

Données de sorties (déterminant pour l'établissement de la fonction coût et l'évaluation de la qualité du service)

- Nombre de retard,
- Nombre de commandes faites,
- Nombre de commandes abandonnées,
- Coût ;
- GES ;
- Taux de satisfaction.

Paramètre d'action dans ce modèle :

- Nombre de véhicules disponibles (Types de véhicules à prévoir) ;
- Règles d'affectation des véhicules à la demande (stricte par site, mutualisation, autres solutions etc.) ; paramètre de gestion.

Les simulations vont permettre de tester plusieurs scénarios d'implémentation de solutions pour visualiser les impacts (positifs ou négatifs) sur les paramètres d'évaluation. C'est ce que nous présentons plus en détails dans le chapitre 7. Avant cela, nous allons présenter les concepts méthodologiques dont nous avons besoin pour réaliser notre analyse.



## CHAPITRE 6 : IDENTIFICATION DES CONTRADICTIONS A PARTIR DES DONNEES

---

Dans les chapitres précédents (conclusion de la Partie 1 et chapitre 5) nous avons exposé nos hypothèses et nos motivations pour utiliser les données numériques de comportement d'un système dans le but d'identifier et de comprendre ses limites de performance et les contradictions sous-jacentes à traiter pour les dépasser. Dans les travaux de (Mirakyan and De Guio, 2014) cette limite est double : d'une part, le modèle de contradictions proposé est celui de la TRIZ classique (Khomenko et al., 2009) qui est insuffisant dans certains cas et, d'autre part, il ne précise pas comment les identifier car ce modèle de contradiction est conçu pour être identifié par des humains à partir de leur connaissance experte du système à faire évoluer. Dans le paragraphe 6/1. nous nous proposons d'explicitier ce modèle, ses hypothèses implicites, ses limites lorsqu'on veut l'exploiter pour identifier des contradictions à partir de données et les propositions de la littérature pour y faire face et leurs limites. Dans cette thèse nous voulons évaluer ces méthodes, préciser leurs conditions d'emploi, et dans certaines situations proposer une démarche alternative. Peu d'études offrent un retour de leur emploi. Dans les sections suivantes, nous présentons successivement les outils que nous utilisons pour l'identification des contradictions techniques généralisées (§ 6/2. ) puis des contradictions physiques généralisées (§ 6/3. ).

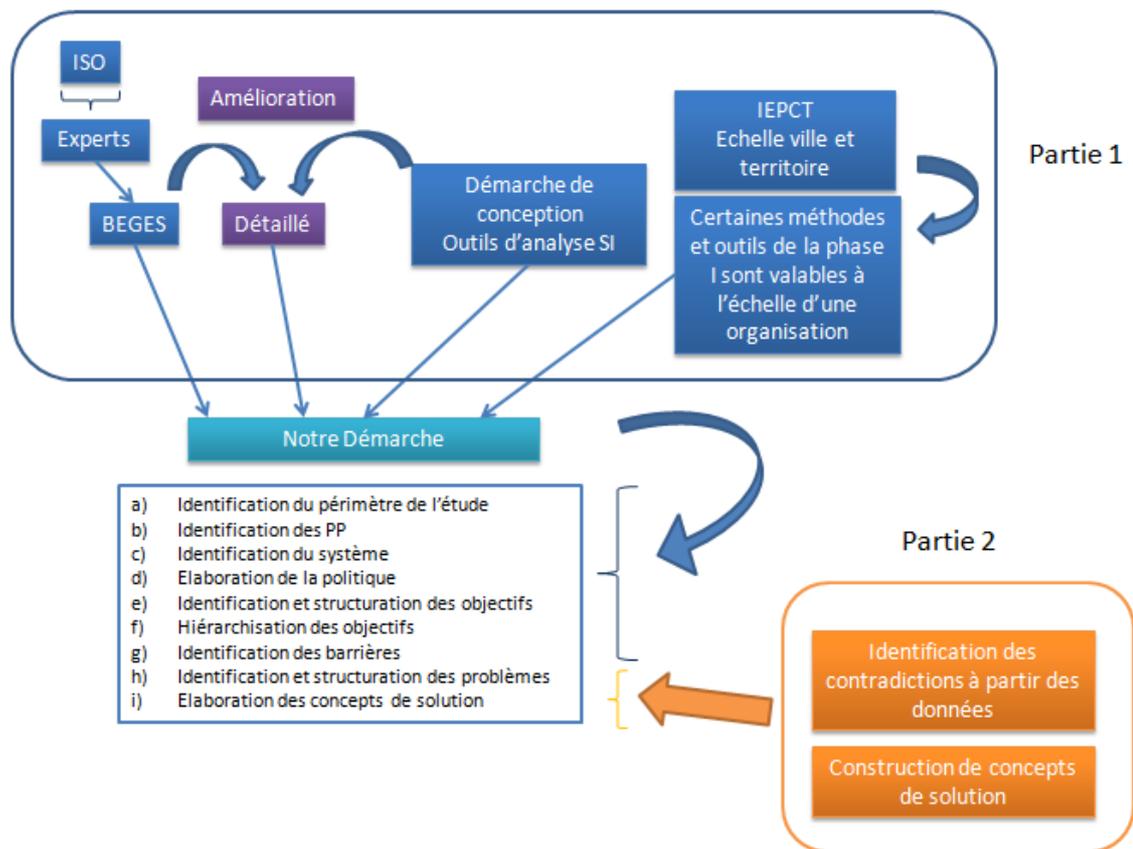


Figure 6-1 : Contribution de la Partie 2 à notre démarche

## 6/1. Etat de l'art des méthodes d'identification des contradictions

### 6/1.1. L'évolution historique des contradictions dans la TRIZ classique et OTSM-TRIZ

Le concept de contradiction est utilisé dans la rhétorique depuis l'antiquité. Son utilisation dans les sciences ou pour les sciences a pris un essor après le développement par des philosophes comme Egel et Marx. La démarche générale de résolution de problème selon la démarche dialectique s'opère en deux phases principales. La première phase consiste à identifier « la contradiction profonde »

## CHAPITRE 6 : Identification des contradictions à partir des données

sous-jacente au problème traité et la seconde consiste à « résoudre » la contradiction.

Cependant les philosophes n'apportent pas de réelle précision quant au sens à donner au terme « résoudre » une contradiction, ni de méthodes assez précises pour traiter ces questions. Dans les années 1960, Altshuller a proposé une représentation des problèmes techniques d'invention à l'aide d'un modèle de contradiction qui fut appelé contradiction technique (CT). Cette contradiction est en fait présentée comme une paire de contradictions. Elle peut s'énoncer ainsi : soit deux paramètres techniques caractérisant des performances ou fonctions attendues du système, lorsque l'on veut améliorer l'une des performances on dégrade l'autre et réciproquement. En parallèle, il a proposé une classification des inventions passées à l'aide de ce modèle, permettant ainsi d'associer la contradiction perçue au départ du problème et les principes qui ont permis de résoudre le conflit initial (Altshuller, 1999; Altshuller and Shulya, 1997) entre les paramètres techniques. L'exploitation de cette classification permet de créer plusieurs démarches de résolution de problèmes techniques. Un algorithme de résolution nommé ARIZ 71 (le 71 correspond à l'année de la parution de l'algorithme 1971) présente une démarche d'analyse et de résolution de problèmes techniques d'invention exploitant ce concept (Altshuller, 1999). Notons qu'à ce stade le paramètre ou les paramètres de conception qui influencent les paramètres techniques ne sont pas intégrés explicitement pour la résolution.

Une dizaine d'années plus tard, le même auteur propose dans (Altshuller, 1984) une nouvelle forme de contradiction nommée contradiction physique (CP). Cette contradiction porte cette fois sur le conflit d'un paramètre de conception qui doit avoir deux valeurs opposées pour permettre d'atteindre deux objectifs visés simultanément. L'étude des inventions lui a également permis de catégoriser, en 9 grands principes, les moyens permettant de lever les contradictions physiques. Les qualificatifs techniques et physiques des contradictions sont, dans l'esprit d'Altshuller, liés à la nature des grandeurs caractérisant les contradictions : les contradictions techniques sont des contradictions portant sur des paramètres

techniques tandis que les contradictions physiques associées à des contradictions techniques porteraient sur des aspects plus profonds et fondamentaux relevant de la physique. Dans les dernières versions d'ARIZ 85A (Altshuller, 1985) et C (Altshuller, 1989), Altshuller suppose implicitement que les contradictions techniques sont énoncées en relation avec une contradiction physique. Dans les années 2000, N. Khomenko qui travaillait sur la généralisation de la TRIZ aux problèmes non techniques (OTSM-TRIZ), propose de décrire les systèmes à l'aide d'un modèle ENV (Elément, Nom du Paramètre, Valeurs du Paramètre)<sup>16</sup> et de généraliser le concept de contradiction technique à tout conflit entre deux paramètres et celui de contradiction physique à tout conflit entre deux valeurs d'un paramètre. De plus, il entérine une hypothèse implicite des derniers modèles de la TRIZ à savoir le lien entre deux contradictions techniques (de paramètre dans OTSM) et une contradiction physique (de valeur) ; il appelle cet ensemble système de contradictions. Dans la suite de ce mémoire nous choisissons de conserver le terme contradiction technique pour les conflits entre paramètres et contradiction physique pour les conflits portant sur les valeurs d'un paramètre.

La Figure 6–2 résume le lien entre les contradictions techniques et physiques de la TRIZ et d'OTSM dans leur forme actuelle : on considère un système et des performances que l'on veut atteindre avec ce système. Les paramètres PE1 et PE2 caractérisent le degré de performance (qualitatif ou quantitatif) atteint par le système. La contradiction technique CT1 indique que lorsque l'on sait comment atteindre l'objectif pour le paramètre PE1 on ne sait pas comment l'atteindre pour PE2. Inversement la contradiction CT2 stipule que lorsque l'objectif est atteint pour PE2 on ne sait pas comment atteindre simultanément l'objectif PE1. L'hypothèse de la TRIZ est que cet état suppose l'existence d'un paramètre commun, un paramètre d'action (PA) influençant PE1 et PE2 de manière contradictoire sur ses valeurs. En effet, lorsque le paramètre PA prend les « valeurs 1 » on peut atteindre les performances attendues pour PE1 mais pas pour PE2 et l'on se trouve face à la contradiction

---

<sup>16</sup> Cf. Chapitre 3 § 3/1.1.1.

technique CT1. Inversement, lorsque PA prend les « valeurs 2 » on peut atteindre les performances attendues pour PE2 mais pas pour PE1. Précisons, que dans la logique dialectique de la TRIZ, on s'attend à ce que les « valeurs 1 » et « valeurs 2 » du PA puissent être caractérisées par des qualificatifs opposés (e.g. : grande versus petite ; mobile versus fixe). Les ensembles « valeurs 1 » et « valeurs 2 » sont bien sur disjoints, sinon il n'y aurait pas de contradiction car on pourrait atteindre les deux objectifs avec une même valeur.

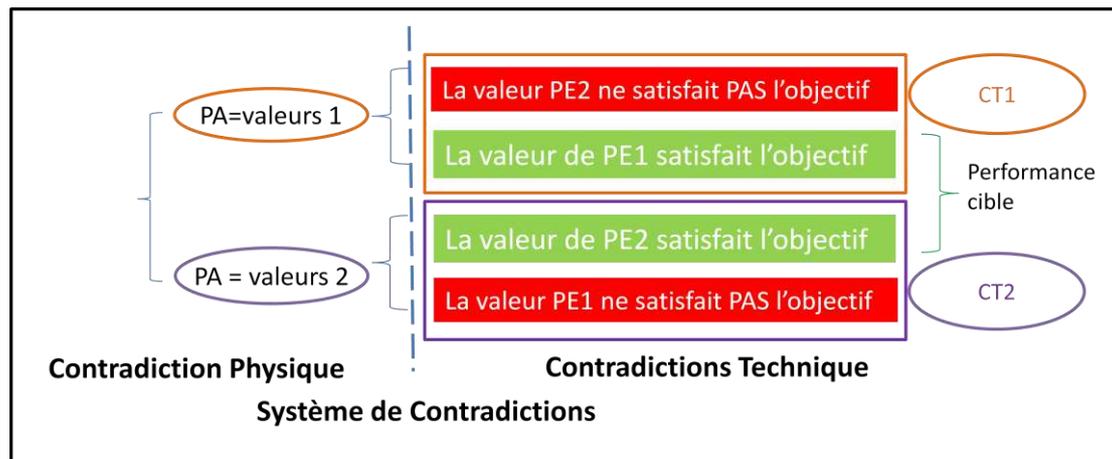


Figure 6–2 : le système de contradictions selon la TRIZ et OTSM-TRIZ

Notons un élément important qui n'est pas précisé explicitement dans la TRIZ ni dans OTSM. Le lien entre PE1 et PE2 est une corrélation alors que le lien entre le PA et les PE est une relation directe ou indirecte de cause à effets. Le paramètre PA influence PE1 et PE2 alors que PE1 n'influence pas PE2 ; de même PE2 n'influence pas PE1.

### 6/1.2. Quelques limites du modèle de contradiction de la TRIZ classique

Dans la pratique lorsque l'on demande d'identifier les problèmes perçus à des experts du système étudié ou à améliorer, plusieurs contradictions répondant au modèle ci-dessus sont identifiées. Parfois elles partagent les mêmes variables et certains auteurs évoquent alors des réseaux de contradiction, des réseaux de paramètres (Cavallucci et al., 2011; Cavallucci and Eltzer, 2007). Dans (Cavallucci,

2014), on nomme poly-contradiction un ensemble de contradictions techniques ayant la même contradiction physique. Un problème pratique associé à l'existence de multiples contradictions est le choix pratique des contradictions à traiter parmi les nombreuses contradictions identifiées. Les solutions proposées pour l'identification des contradictions portent sur la structuration des questionnements d'expert ; le choix des contradictions à traiter est laissé aux porteurs du problème dans le projet. Dans ce mémoire cependant, nous focaliserons notre attention sur l'identification des contradictions à partir des données d'expérience ou de simulation. Cette approche est intéressante lorsque l'on ne dispose pas d'expert pour identifier les contradictions ou si le système est trop complexe pour que les experts s'accordent sur les contradictions. En général, les méthodes de simulation et d'expérimentation sont utilisées pour comprendre comment optimiser des PE à partir de PA alors que dans notre contexte nous nous intéressons à la manière d'utiliser ces expériences pour trouver des contradictions qui permettront d'obtenir des solutions différentes de celles qu'on peut obtenir par simple optimisation du modèle de départ, voire meilleures. Des travaux antérieurs font des propositions d'identification des contradictions à partir des données. Par exemple, (Burgard et al., 2011) relatent un cas d'étude où l'identification des contradictions à partir d'un plan d'expériences a permis de trouver des solutions meilleures que celles de l'optimisation du plan ; la solution a donné lieu à un brevet. De même, (Cascini et al., 2011) proposent l'identification des contradictions à partir d'outils d'optimisation. Afin de pouvoir préciser nos buts et notre contribution nous présentons dans les paragraphes suivants successivement : le concept de contradiction généralisée, les moyens proposés par le passé pour les identifier et enfin les liens conceptuels entre optimisation, optimums de Pareto et la contradiction généralisée.

### 6/1.3. Le système de contradictions généralisées

En 2007, (Eltzer and De Guio, 2007) proposent d'identifier des contradictions à partir de données de comportement d'un système. Ces travaux ont montré que les définitions de la contradiction proposées par la TRIZ et OTSM-TRIZ sont

## CHAPITRE 6 : Identification des contradictions à partir des données

insuffisantes pour décrire les situations entre les PA et PE rencontrés dans les données disponibles. Par exemple, dans le cas de la Figure 6–4 on peut constater que l'on peut atteindre chaque paire d'objectifs avec une expérience, mais jamais tous les 6 objectifs ; ce qui signifie qu'on ne peut pas extraire de contradiction de type TRIZ classique (cf. Figure 6–2) avec les données de ce cas. Pour contourner cette difficulté les concepts de Contradictions Techniques Généralisées (CTG) et de Contradictions Physiques Généralisées (CPG) ont été proposés (Dubois et al., 2009). La Figure 6–3, ci-dessous, montre le résumé du système de contradictions généralisé. Ce modèle est assez similaire au modèle de la TRIZ, il diffère de celui-ci dans la mesure où les 2 paramètres PE du modèle de la TRIZ sont remplacés par deux conjonctions de PE. Ces conjonctions sont appelés concepts. De plus le paramètre PA de la TRIZ est remplacé par un ensemble de paramètres et les deux états du paramètre de la TRIZ sont remplacés par deux conjonctions partageant au moins une variable devant avoir des valeurs différentes pour atteindre les objectifs. Ces conjonctions sont également appelées concepts. Ce modèle de contradictions inclut celui de la TRIZ classique.

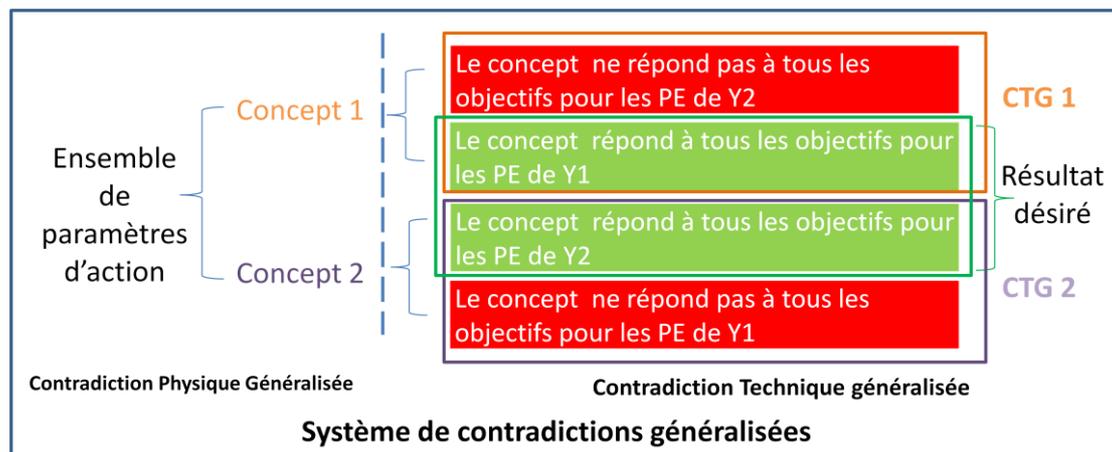


Figure 6–3 : Système de contradictions généralisées d'après (Rasovska et al., 2010).

Pour aborder la recherche des contradictions à partir des données, la relation entre le système de contradictions de la Figure 6–3 et les données d'expériences ou de simulation a été proposée (Lin, 2016). Cette relation est résumée dans la Figure 6–4 où le tableau représente les résultats expérimentaux d'un problème comportant 5

paramètres d'action (PA) notés  $x_1$  à  $x_5$  et 6 paramètres d'évaluation notés  $y_1$  à  $y_6$ . Les lignes  $e_1$  à  $e_9$  représentent les expériences pour diverses combinaisons de valeurs des PA (si les PA sont qualificatifs on proposera un codage, e.g. faible, moyen et fort devient 0,1, et 2). Les résultats d'une expérience sont codés de manière binaire pour un paramètre d'évaluation (PE) ; la valeur 1 pour un PE signifie que l'objectif est atteint pour ce paramètre d'évaluation tandis que la valeur 0 signifie que l'objectif n'est pas atteint pour ce PE. Les contradictions techniques généralisées CTG 1 et CTG 2 sont représentées par le conflit entre les concepts  $Y_1=y_1.y_3$  et  $Y_2=y_2.y_5.y_6$  auxquels nous n'arrivons pas à donner la valeur vraie simultanément en agissant sur les paramètres d'action. Le processus de binarisation des résultats de l'expérience des différentes publications utilisant ce principe, suggère d'utiliser la valeur des objectifs pour le choix des seuils définissant les valeurs 0 et 1 des PE. Cependant si les objectifs choisis sont trop ambitieux on peut se retrouver avec des colonnes entières de 0 pour un PE. Dans ce cas, il ne sera pas possible d'identifier de contradiction technique incluant ce PE à partir de l'analyse des données d'expérience qui suppose au moins une valeur 1 par colonne (Lin et al., 2013; Rasovska et al., 2010). Il serait bon, le cas échéant, de posséder au moins un cadre de départ pour le choix de ces seuils. Notons également que le modèle des contradictions techniques généralisées n'impose pas d'inclure tous les paramètres d'évaluation dans les concepts des contradictions techniques généralisées. De notre point de vue, cette vision peut être gênante en pratique car elle n'aborde pas l'analyse du problème de manière globale. Nous proposons dans le paragraphe (6/1.5. ) une nouvelle définition de la contradiction technique généralisée et une manière de l'identifier. Les concepts  $Y_1$  et  $Y_2$  des contradictions généralisées divisent l'ensemble des expériences en trois ensembles remarquables  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_0$ . L'ensemble  $E_0$  est l'ensemble pour lequel les expériences ne satisfont à aucun des deux concepts  $Y_1$  et  $Y_2$ . L'ensemble  $E_1$  est l'ensemble des expériences pour lesquelles  $Y_1=1$  ; alternativement  $E_2$  est l'ensemble des expériences pour lesquelles  $Y_2=1$ . Notons que si une expérience permettait d'avoir  $Y_1=1$  et  $Y_2=1$ , il n'y aurait pas de contradiction. Le concept 1 d'une contradiction physique généralisée

## CHAPITRE 6 : Identification des contradictions à partir des données

associée aux contradictions techniques généralisées CTG1 et CTG2 s'obtient en considérant les ensembles E1 d'une part, et E2+E0 d'autre part. Le concept 1 permet d'atteindre les performances pour Y1 mais pas pour Y2. Le concept 2 quant à lui s'obtient de manière duale en considérant les ensembles E2 d'une part, et E1+E0 d'autre part. Le concept 2 doit permettre d'atteindre les performances pour Y2 mais pas pour Y1. Le concept 1 doit être discriminant<sup>17</sup> par rapport aux ensembles E2+E0 alors que le concept 2 doit être discriminant par rapport à E1+E0. Dans l'exemple de la Figure 6–4, les concepts 1 et 2 les plus évidents et complet<sup>18</sup> associés à CTG1 et CTG2 sont :

$$\begin{aligned} \text{Concept 1} = & (x1=1).(x2=1).(x3=0).(x4=0).(x5=1) + (x1=1).(x2=0).(x3=1).(x4=0).(x5=0) \\ & + (x1=1).(x2=1).(x3=0).(x4=0).(x5=0) + (x1=1).(x2=0).(x3=1).(x4=0).(x5=1) + \\ & (x1=1).(x2=0).(x3=1).(x4=1).(x5=0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Concept 2} = & (x1=0).(x2=1).(x3=1).(x4=1).(x5=1) + (x1=0).(x2=1).(x3=0).(x4=1).(x5=2) \\ & + (x1=0).(x2=1).(x3=0).(x4=0).(x5=2) \end{aligned}$$

Les concepts  $(x1=1).(x2=1).(x3=0).(x4=0).(x5=1)$

et  $(x1=0).(x2=1).(x3=1).(x4=1).(x5=1)$  sont également des concepts 1 et 2 des contradictions physiques généralisées. Ainsi de nombreuses contradictions physiques généralisées peuvent être associées à deux contradictions techniques généralisées. Mais il est également possible de simplifier l'expression de ces concepts en y incluant le minimum de PA tout en gardant la propriété de discrimination. Ainsi les concepts  $(x1=1).(x3=1)$  et  $(x1=0).(x3=0)$  sont aussi des concepts 1 et 2 associées à CTG1 et CTG2 de l'exemple.

---

<sup>17</sup> La discrimination indique la capacité à caractériser un ensemble d'expériences d'un ensemble sans inclure d'expériences de l'ensemble complémentaire. Ainsi le concept  $x1=0$  est discriminant pour E2, mais  $x1=1$  n'est pas discriminant pour E1 car il inclut également e8 qui appartient à E0.

<sup>18</sup> La complétude d'un concept indique la proportion d'expériences d'un ensemble Ei incluses dans le concept. Ainsi le concept  $x1=0$  est complet pour l'ensemble E2 dans notre exemple alors que le concept  $x1=1$  est complet pour E1.

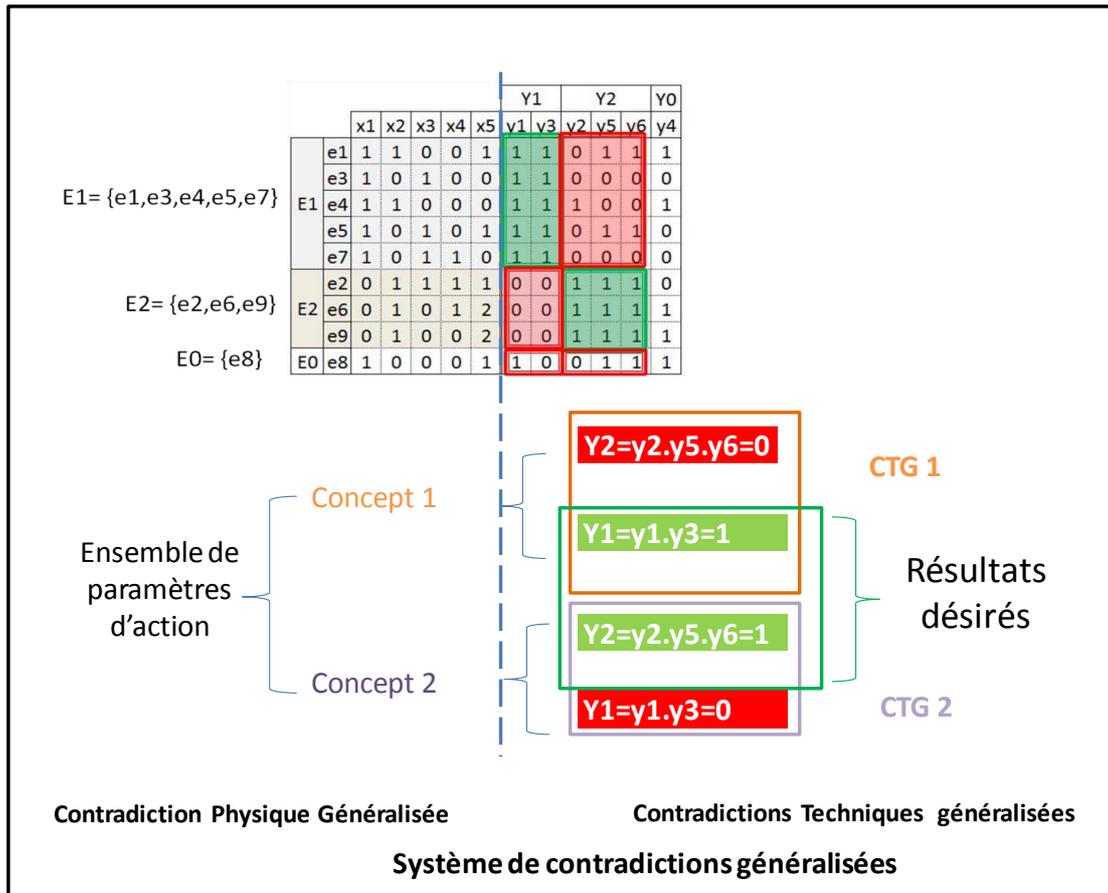


Figure 6–4 : Lien entre expériences binarisées et système de contradictions d'après (Lin, 2016).

#### 6/1.4. Identification des contradictions généralisées

Divers travaux proposent des méthodes informatisées pour identifier les contradictions généralisées. Elles partent toutes de l'analyse d'un tableau d'expérience comme celui de la Figure 6–4 et formulent le problème d'identification des contradictions comme des problèmes d'optimisation combinatoire. Parmi les méthodes concernant les CTG, certaines visent à identifier soit une ou plusieurs contradictions techniques généralisées (Rasovska et al., 2009) d'autres toutes les contradictions (Lin et al., 2013). Pour l'identification des CPG l'algorithme proposé dans (Lin et al., 2015) recherche toutes les contradictions qu'il résume à l'aide d'une double liste contenant des conjonctions possibles du concept 1 et celles du concept 2. La limite technique des algorithmes exhaustifs d'identification présentés dans (Lin et al., 2015) est le nombre de PE restreint à 13 pour les CTG et le nombre de PA du

même ordre de grandeur si l'on considère 3 niveaux de codage (ordre 3). L'intérêt de ces algorithmes est leur exhaustivité en matière d'identification des contradictions qui a permis d'étudier et de séparer les conditions dans lesquelles apparaissent les contradictions généralisées des conditions dans lesquelles on pouvait ne pas avoir de contradiction de la TRIZ classique tout en étant en présence de contradictions généralisées. Les expériences faites grâce à ces algorithmes permettent également d'expliquer certaines difficultés rencontrées par les praticiens lorsqu'ils analysent les relations entre les paramètres d'un système pour identifier des contradictions. Dans le cas de l'identification des contradictions physiques, (Lin, 2016) propose de contourner la limite du nombre de PA en identifiant au préalable les PA et leurs valeurs susceptibles de contribuer à une contradiction physique. En revanche aucune proposition méthodologique n'est faite pour simplifier l'identification des CTG lorsque l'on est en présence de nombreuses variables. Une limite pratique de l'emploi de ces méthodes est liée à leur avantage : en effet, intuitivement toutes les contradictions ou systèmes de contradictions ne sont pas pertinents ou intéressants à traiter ; la difficulté est alors de traiter cette masse d'information (les contradictions) pour extraire celles qui sont le plus intéressantes. La difficulté de cette extraction réside dans la définition de critères permettant de caractériser « une contradiction intéressante ». Nous essayerons de proposer des réponses pratiques sur ce point.

### 6/1.5. Lien entre la conception, l'optimisation de Pareto et les modèles de contradiction

Les publications (Ben Moussa et al., 2017; Dubois et al., 2017, 2015, 2011; Lin, 2016) ébauchent l'illustration de la relation entre les PA et PE d'un système, l'activité de conception et le modèle de contradiction de la TRIZ ou de la contradiction généralisée. Nous présentons ici ces liens qui constituent un support de réflexion lors des phases d'identification de contradiction à partir de données.

Lorsque l'on conçoit un système, qu'on cherche à l'optimiser ou à analyser ses performances on fait appel à un modèle. Dans notre cas nous supposons disposer d'un modèle expérimental ou simulé de notre système. Pour exprimer une contradiction de type TRIZ, il faut au minimum considérer deux paramètres d'évaluation et un paramètre d'action (Figure 6–5). Considérons donc un système décrit par la fonction liant un paramètre d'action PA et deux paramètres d'évaluation PE1 et PE2. Les performances peuvent alors être représentées dans un espace bidimensionnel appelé espace d'évaluation comme sur la Figure 6–6 où les points représentent des solutions. La zone notée sous-espace d'optimisation représente la zone du plan dans laquelle se trouvent les « performances » du système lorsqu'on fait varier les valeurs de PA. Cette zone est délimitée par une ligne qui contient le front de Pareto. Le front de Pareto caractérise l'ensemble des optimums de Pareto selon une relation d'ordre partielle appelée relation de dominance. Dans un cadre de minimisation comme dans l'exemple de la Figure 6–6, on dit qu'un point de coordonnées  $(y_1, y_2)$  est dominé lorsqu'il existe un autre point de coordonnées  $(y'_1, y'_2)$  tel que  $(y'_1 \leq y_1 \text{ et } y'_2 < y_2)$  ou bien si  $(y'_1 < y_1 \text{ et } y'_2 \leq y_2)$  ; autrement dit si l'on peut améliorer une performance sans en dégrader aucune autre. Les optimums de Pareto sont les points qui ne sont pas dominés. Les objectifs sont représentés par la zone « valeurs cibles ». Lorsque comme dans notre exemple la zone des valeurs cible ne recouvre pas l'espace d'optimisation, cela signifie que le modèle du système défini par nos PA et PE ne permettra pas de trouver la solution à notre problème. Nous définissons ainsi le concept de problème d'invention dans ce mémoire par opposition à un problème d'optimisation. Pour résoudre le problème d'invention, il faut faire évoluer le modèle sur lequel on raisonne de sorte à pouvoir faire coïncider l'espace cible et l'espace d'optimisation du nouveau système. Formellement, faire évoluer le modèle se traduit par l'ajout ou le retrait de variables PA dans le modèle ou par la modification des relations entre les PA et le PE.

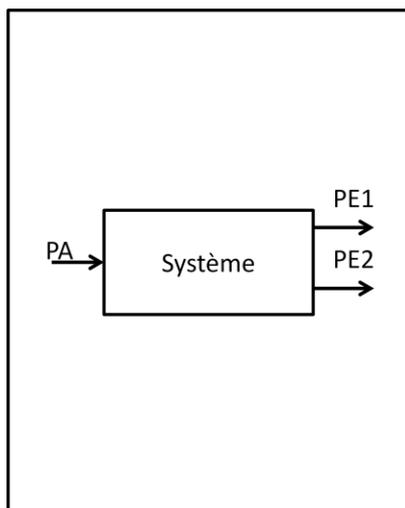


Figure 6-5 : Système PA, PE.

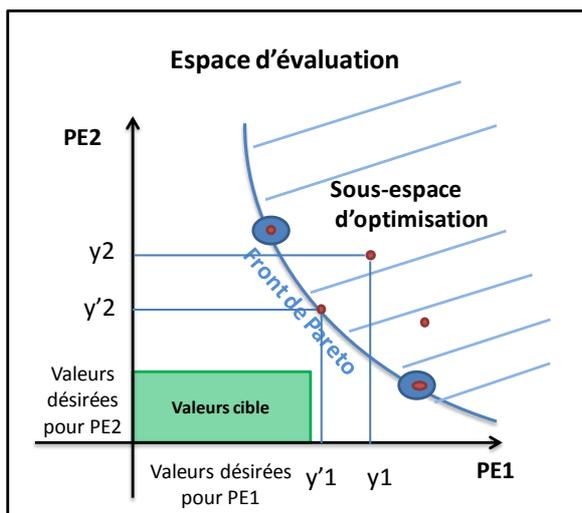


Figure 6-6 : Invention versus optimisation

Une autre caractéristique du front de Pareto lorsque l'on a deux PE est qu'il peut traduire une contradiction technique au sens de la TRIZ : les solutions permettent de satisfaire au moins une fois chaque critère. La partie droite de la Figure 6-7 illustre le lien entre les contradictions techniques CT1, CT2 et deux points du Pareto. Si l'on ne dispose de tels points sur le Pareto, on caractérisera la contradiction à partir du point cible dit « idéal » en optimisation à savoir le point dont les coordonnées sont les meilleures valeurs obtenues pour chaque paramètre d'évaluation.

L'hypothèse de la TRIZ est que cette contradiction est « causée » par un paramètre commun influençant les PE, ici un PA et, de plus, ce PA doit prendre des valeurs distinctes et opposées pour résoudre le problème comme illustré sur la partie gauche de la Figure 6-7. Le lien suggéré par la relation entre l'espace de décision et l'espace d'évaluation est que la contradiction physique traduit en quelque sorte le conflit de Pareto dans l'espace de décision-conception. L'intérêt de cette relation est de pouvoir proposer au concepteur une formulation nouvelle du problème dans l'espace de conception qui peut orienter la recherche de solutions de manière différente et/ou complémentaire aux orientations que fournirait le problème d'optimisation (Dubois et al., 2017) La Figure 6-8 illustre ces relations pour une contradiction physique généralisée.

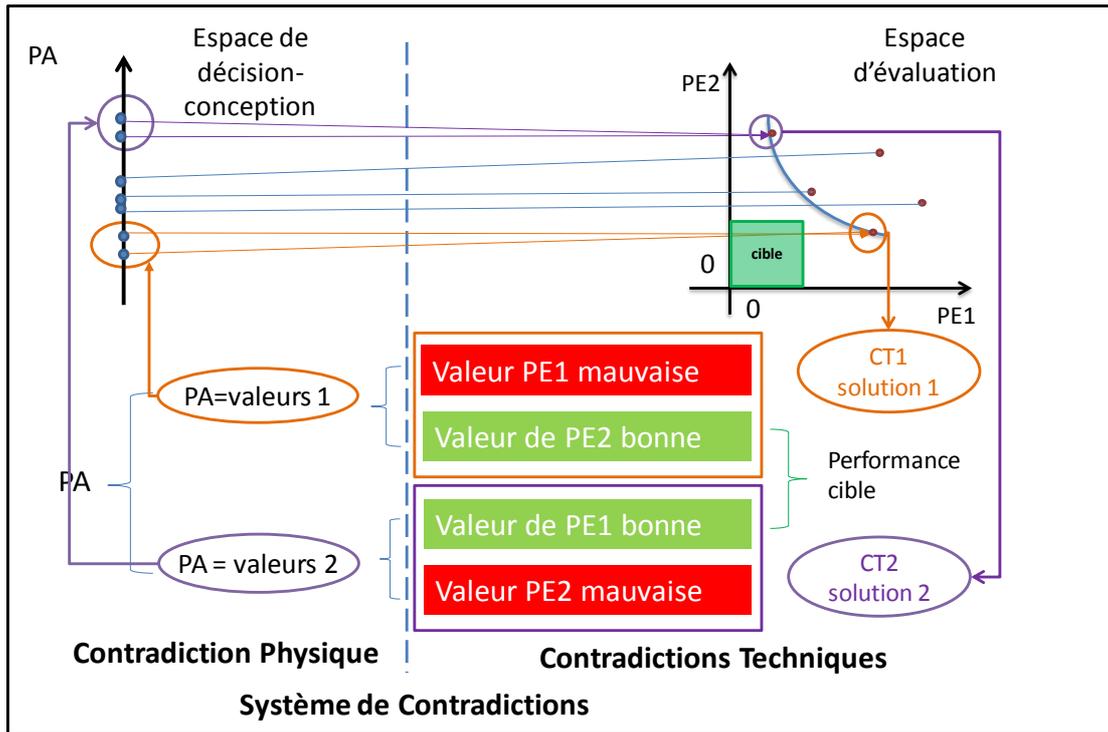


Figure 6–7 : Interprétation de la contradiction de la TRIZ classique en termes d'optimisation

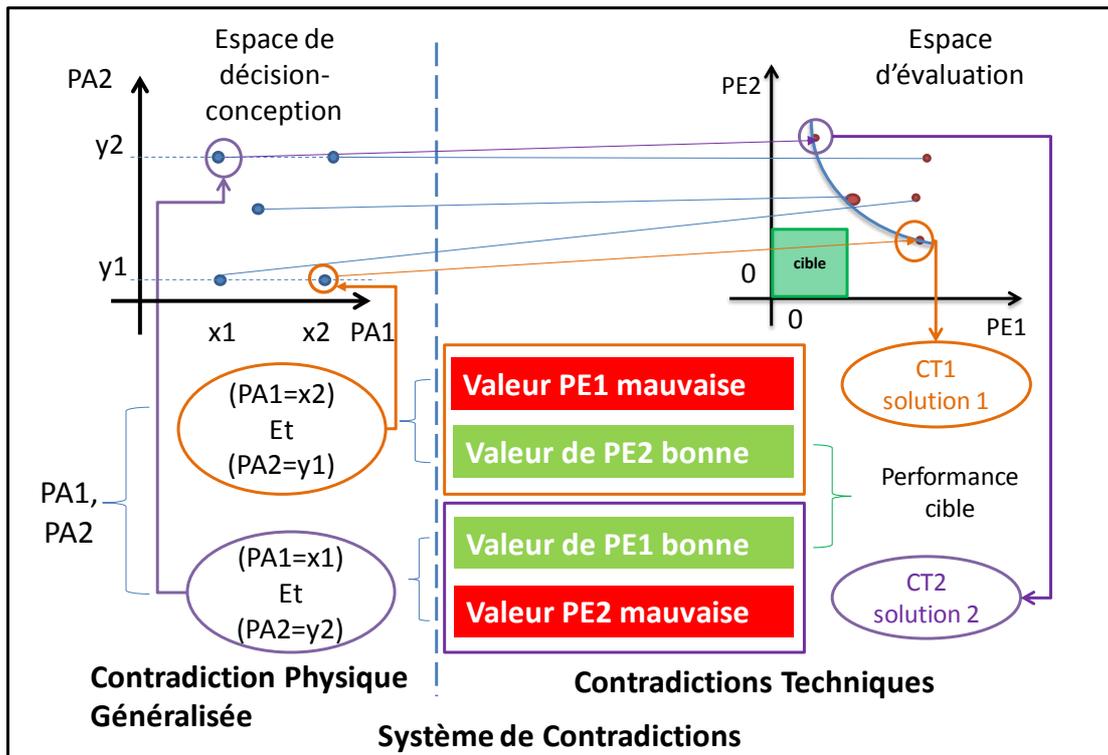


Figure 6–8 : Interprétation de la contradiction physique généralisée en termes d'optimisation

Cette section nous a permis d'introduire les relations entre les modèles de contradiction de la TRIZ et les modèles généralisés proposés dans la littérature. Dans les paragraphes suivants nous les précisons et proposons quelques méthodes alternatives simples d'identification des contradictions qui seront utilisées dans le cas d'étude développé dans le chapitre 7.

Dans ce chapitre nous nous focalisons sur l'aspect (l'apport) de l'identification des contradictions à partir de l'analyse des données ; l'exploitation et l'évaluation de cette approche dans le processus d'analyse et de résolution de problème seront traitées dans le chapitre 7 de ce mémoire.

### **6/2. Identification de la contradiction technique généralisée avec le concept de Pareto.**

Dans ce mémoire nous proposons une approche alternative aux méthodes cités dans la section précédente pour l'identification de contradictions techniques généralisées. Elle repose sur le concept d'optimum de Pareto des expériences dans le cas de 2 PE et sur l'optimum de Pareto de la matrice des expériences binarisées si l'on travaille sur un problème où il faut tenir compte de plus de 2 PE simultanément.

#### **6/2.1. Identification des CT classiques (entre 2 PE)**

Dans le cas de deux PE l'identification d'une contradiction technique à partir d'un plan d'expérience est assez immédiate avec le concept de Pareto. En effet, il suffit d'analyser le graphique croisant les performances PE1 et PE2 comme celui de la Figure 6–9 sur lequel on aura reporté au préalable le but et l'objectif. Le but est une solution idéale vers laquelle on veut tendre mais qu'on ne cherche pas forcément à atteindre alors que l'objectif définit un ensemble de performance où doit se trouver la solution qu'on cherche. Si l'objectif se trouve au-delà de la frontière de Pareto il y a

une contradiction technique entre les PEs. On voit bien sur le front de Pareto que lorsque PE1 atteint son objectif PE2 (CT1) ne l'atteint pas et inversement (CT2).

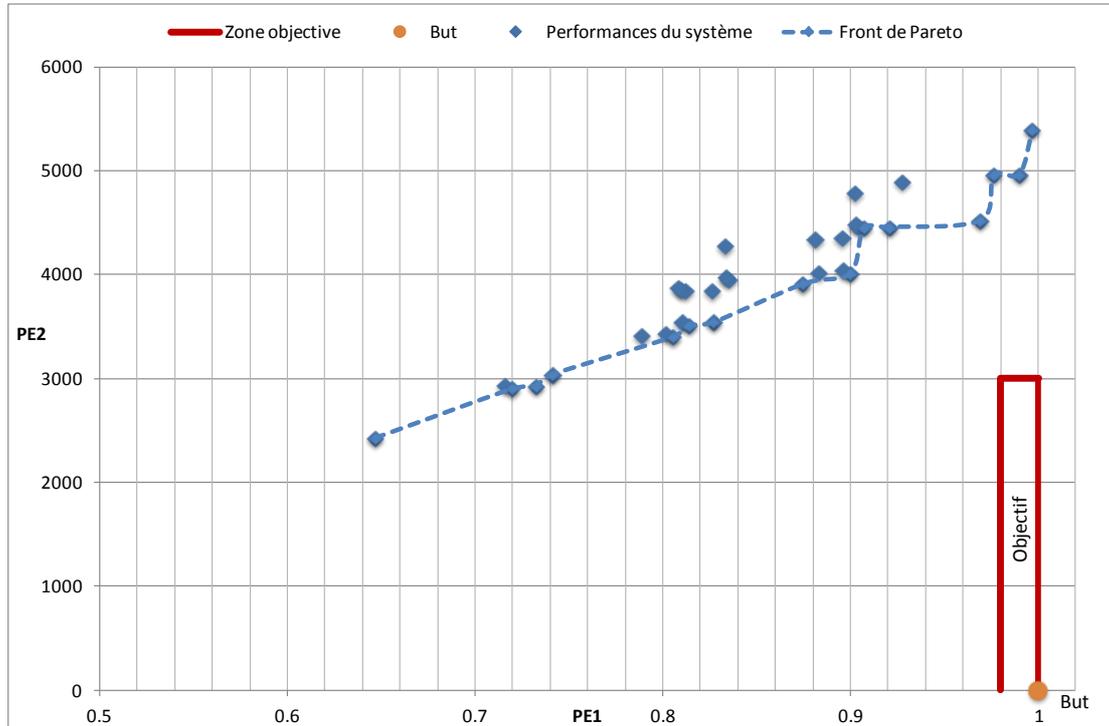


Figure 6–9 : Mise en évidence de la contradiction technique

Pour compléter cette paire de contradictions afin d'obtenir un système de contradictions, il faudra y adjoindre une contradiction physique. On verra plus loin que l'identification d'une contradiction physique associée à cette contradiction technique peut s'avérer moins immédiate.

## 6/2.2. Identification des CTG (2PE ou plus).

Lorsque l'on veut analyser simultanément plus de 2 paramètres il devient difficile d'utiliser la méthode précédente car il est difficile de représenter les optimums de Pareto dans un espace de dimension supérieur à 2. Nous proposons alors d'utiliser la démarche suivante :

1. Réaliser un plan d'expérience
2. **Binairiser le tableau des PE en fonction des performances attendues.**  
Fixer un seuil objectif pour chaque PE. On affectera la valeur 0 si l'objectif n'est pas atteint, et la valeur 1 s'il est atteint. On obtient alors un tableau tel que celui de la Figure 6–10a qui correspond au même plan d'expérience et même objectif que l'exemple de la Figure 6–4.
3. **Identifier le front de Pareto des expériences de la matrice binaire** (Figure 6–10b). Chaque ligne différente du front de Pareto définit une contradiction technique généralisée. Ainsi dans notre exemple il y a trois contradictions techniques généralisées qui correspondent aux expériences e1 pour CTG1, e4 pour CTG2 et aux deux expériences e6 et e9 pour CTG3. Chaque paire de CTG peut donner lieu à un système de contradictions généralisées comme défini dans les sections précédentes.

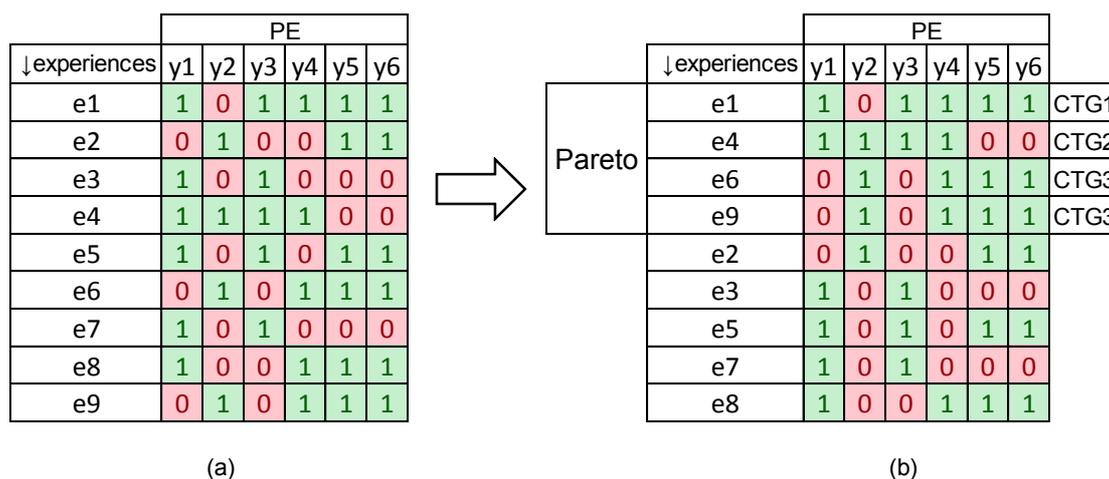


Figure 6–10 : Identification des contradictions techniques généralisées

Les contradictions proposées ci-dessus permettent de tenir compte simultanément et systématiquement de tous les paramètres d'évaluation ce qui n'est pas le cas des autres méthodes proposées dans la littérature jusqu'à présent.

On remarquera que dans le cas d'un problème à deux PE on retrouve les éléments de la contradiction technique de la TRIZ classique comme l'illustre la Figure 6–11 qui traite les mêmes données que l'exemple de la Figure 6–9.

		Objectifs				
		>0.98	<3000			
Pareto de la matrice binaire		PE1	PE2	PE1 binaire	PE2 binaire	
		0.99	4 962	1	0	CT1
	1.00	5 399	1	0		
	0.65	2 429	0	1	CT2	
	0.72	2 900	0	1		
	0.73	2 930	0	1		
	0.72	2 935	0	1		
	0.74	3 040	0	0		
	0.81	3 401	0	0		
	0.81	3 512	0	0		
	0.83	3 541	0	0		
	0.87	3 908	0	0		
	0.90	4 013	0	0		
	0.91	4 450	0	0		
	0.92	4 456	0	0		
	0.97	4 520	0	0		
	0.98	4 956	0	0		
	0.79	3 407	0	0		
	0.80	3 436	0	0		
	0.83	3 844	0	0		
	0.83	3 955	0	0		
	0.88	4 019	0	0		
	0.90	4 048	0	0		
	0.93	4 892	0	0		
	0.81	3 547	0	0		
	0.81	3 838	0	0		
	0.83	3 978	0	0		
	0.90	4 351	0	0		
	0.90	4 461	0	0		
	0.88	4 345	0	0		
	0.90	4 485	0	0		
	0.81	3 850	0	0		
	0.90	4 788	0	0		
	0.81	3 873	0	0		
	0.83	4 281	0	0		

Figure 6–11 : Données, matrice binaire, Pareto binaire et contradictions techniques du cas de la Figure 6–9

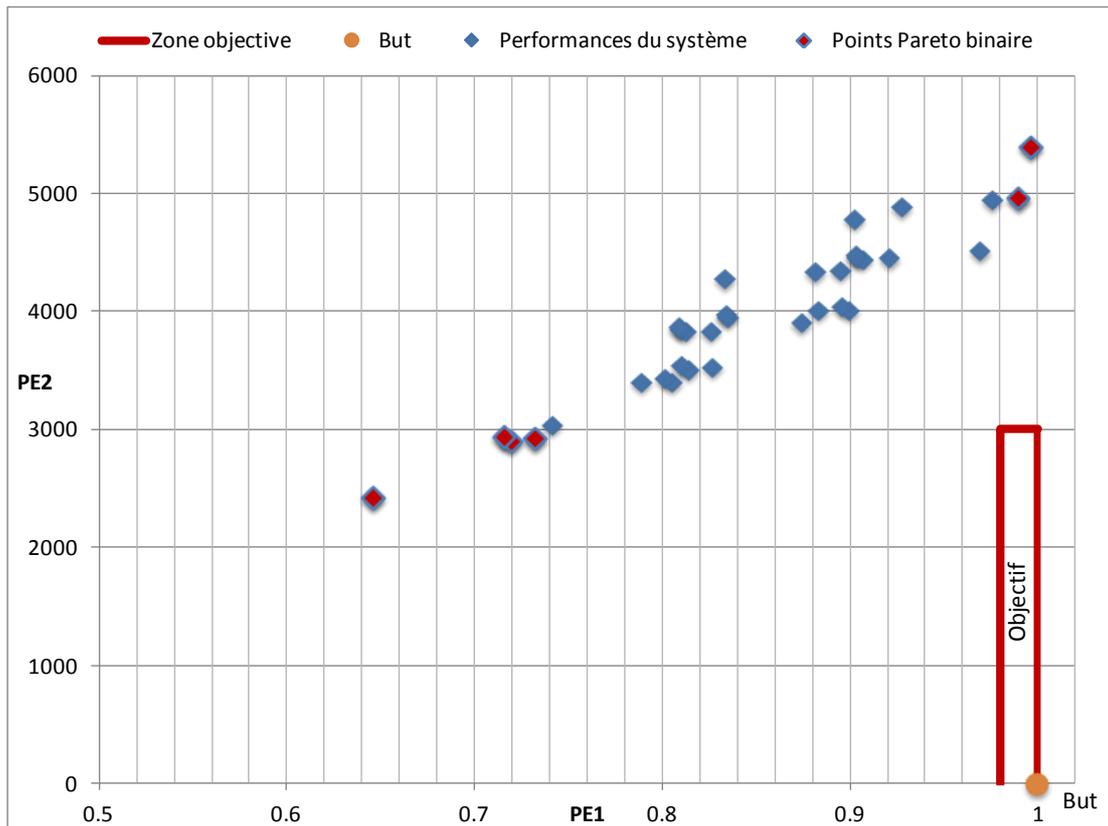


Figure 6–12 : Points du Pareto binaire servant à l'identification de la contradiction technique

Commentaire sur le choix du seuil objectif :

Pour pouvoir exploiter la méthode précédente et construire un système de contradictions généralisées, il faut que le front de Pareto binaire comporte au moins deux éléments (CTG). Dans l'exemple précédent (cf. Figure 6–11) si l'on avait choisi comme objectif  $PE2 < 2000$  tout en conservant l'objectif  $PE1 > 0.98$ , aucune expérience n'atteint l'objectif fixé pour PE2 et le Pareto de la matrice binaire se réduit à CT1. Pour contourner cette difficulté, il faut que les seuils choisis soient tels qu'au moins une expérience permette d'atteindre le seuil pour un PE donné. En pratique, on commence par réaliser le plan d'expérience, puis on analyse les résultats PE par PE. Si les meilleures valeurs de l'expérience permettent d'atteindre les attentes du projet, nous prenons comme seuil les valeurs objectives du projet. Sinon, si pour certains PE les valeurs sont en deçà des attentes du projet, nous choisissons comme seuil une valeur aux environs des meilleures valeurs atteintes par le PE dans

l'expérience. Pour l'identification de la contradiction technique, il suffirait d'un point, mais il peut être plus judicieux de baisser le seuil de sorte à disposer de quelques points pour trouver la contradiction physique généralisée par la suite. Notons que ce qui ressemble ici à une relaxation des contraintes objectives n'obère en rien la possibilité d'atteindre les objectifs du projet par la suite lors de la résolution des contradictions obtenues. En effet, nous cherchons ici à comprendre le conflit qui empêche d'atteindre l'objectif du projet et à l'identifier sous la forme de contradictions pour le traiter ensuite par une méthode de résolution de problème dont le point d'entrée est la contradiction.

## **6/3. Recherche de la contradiction physique généralisée**

### **6/3.1. Principe général de la méthode utilisée**

Une fois les contradictions techniques généralisées (CTG) identifiées on peut chercher à construire les systèmes de contradiction pour les paires de CTG. En fait, il s'agit de rechercher les concepts de PA qui expliquent ou qui sont les causes des conflits observés entre deux CTG. Pour cela nous utilisons la démarche générale en deux étapes qui consiste à réaliser une analyse discriminante sur divers sous-ensembles des expériences, suivi d'une analyse des résultats du plan d'expérience avec les outils classiques d'analyse des plans d'expérience à savoir les diagrammes des effets moyens et des interactions, le modèle linéaire généralisé et ses outils de validation. Nous ne développons pas ici la théorie des analyses de plan d'expérience (Goupy and Creighton, 2013), mais nous illustrons comment elle peut être utilisée pour l'identification d'un système de contradictions. L'analyse discriminante sert à poser des hypothèses sur la contradiction physique généralisée (CPG), l'application de techniques d'analyse du modèle linéaire généralisé permet de valider ou

d'invalider les CPG voire de poser de nouvelles interprétations de l'analyse discriminante.

L'analyse discriminante est réalisée par une approche SVM (Support Vector Machine) issue des méthodes d'apprentissage. Elle se distingue des méthodes d'analyse discriminante classiques en ce sens où elle peut traiter des relations PA PE non linéaires sans qu'on n'ait besoin de faire des hypothèses fortes sur cette relation. Cette méthode a déjà été proposée dans un contexte d'identification de CPG mais de manière différente (Lin, 2016). En effet, dans (Lin, 2016) on se sert de cette analyse pour réduire le nombre de paramètres afin de pouvoir utiliser l'algorithme développé dans (Lin et al., 2015) qui permet d'identifier toutes les CTG associés à ces paramètres. Comme nous l'avons déjà signalé dans l'état de l'art (§ 6/1.4. ), cet algorithme est limité par le nombre de PE et valeurs de PE qu'il peut traiter, et de plus il produit souvent beaucoup de CTG dont toutes ne semblent pas pertinentes. L'analyse et le tri de ces contradictions peut s'avérer long et fastidieux. De plus les règles de choix des variables à conserver proposé dans (Lin, 2016) pour utiliser l'algorithme n'est pas toujours satisfaisant. Notre hypothèse de travail dans ce mémoire est qu'il est possible, dans certains cas, de se passer du logiciel exhaustif d'identification des CPG et obtenir les CPG par analyse des résultats d'une analyse discriminante associée à une ANOVA (« ANalysis Of Variance »). De plus, nous pensons que l'analyse ANOVA devrait également permettre de faciliter le choix des variables pour l'utilisation de l'algorithme exhaustif. Une autre variante importante de notre approche par rapport à celle de (Lin, 2016) est que nous appliquons l'analyse discriminante à des CTG qui définissent des ensembles d'expériences différents. Cette différence peut avoir un impact sur l'efficacité de l'analyse discriminante.

En résumé la démarche que nous testons sur le cas d'étude du chapitre 7 est la suivante :

1. Pour chaque PE appliquer l'analyse discriminante sur les deux ensembles d'expériences définis par les valeurs binaires 1 et 0 du PE dans la matrice binaire (cf. illustration § 6/3.2.1. )
2. Appliquer l'analyse discriminante sur les deux ensembles définis par les CTG étudiées

3. Pour chacun des cas précédents émettre des hypothèses sur les contradictions et les confirmer ou les infirmer si nécessaire avec les outils de l'ANOVA (cf. illustration § 6/3.2.2. ).

Nous illustrons l'emploi de ces techniques dans la section suivante.

## 6/3.2. Exemple

Dans cette section nous illustrons l'emploi des différentes méthodes de la démarche d'identification des contradictions physiques décrite ci-dessus sur un exemple à 2 PE et 4 PA. Le but est de maximiser PE1 et de minimiser PE2. Les objectifs sont d'avoir PE1 supérieur à une valeur donnée et PE2 inférieur à une valeur donnée. Nous nous contentons ici d'introduire les techniques utilisées. L'ordonnement des méthodes dans un contexte de problème est montré dans l'application du chapitre 7.

### 6/3.2.1. Analyse discriminante à base de SVM [Etape 1]

Cette analyse s'applique sur des sous ensembles de la matrice des PA binarisée. Dans notre exemple qui comporte 320 expériences, les différentes solutions de la matrice binaire ainsi que les contradictions techniques sont données sur la Figure 6–13. Nous illustrons ici l'emploi de l'analyse discriminante SVM. Comme nous avons deux PE cette méthode est employée deux fois : une fois pour PE1 et une fois pour PE2. La question à laquelle on cherche à répondre est dans le cas de PE1 par exemple : quelles valeurs des différents PA permettent de discriminer les expériences qui permettent à PE1 d'atteindre l'objectif attendu de celles qui ne le permettent pas. Les réponses données par l'analyse discriminante SVM pour PE1 et PE2 sont données dans la Figure 6–13(b). Dans l'analyse SVM, les valeurs des résultats sont appelés « poids ».

L'interprétation du tableau de résultats se fait comme suit. Un poids positif est interprété comme contribuant à expliquer les valeurs 1 de la matrice binaire, inversement les poids négatifs expliquent les valeurs 0 de la matrice binaire. La valeur absolue du poids indique son importance : elle augmente avec la valeur absolue du poids. Les poids peuvent être comparés uniquement par colonne car

## CHAPITRE 6 : Identification des contradictions à partir des données

nous faisons ici deux analyses sur des ensembles différents, ceux définis par les performances de PE1 d'une part, et de PE2 d'autre part. La comparaison par ligne peut se faire en considérant le signe du poids. Lorsqu'on affecte chaque case d'une couleur correspondant au signe des poids on peut directement associer les contradictions techniques généralisées aux valeurs des PA. Ainsi pour PA1, les valeurs 1 à 6 caractérisent le fait de ne pas atteindre l'objectif pour PE1 mais d'atteindre l'objectif pour PE2, et les valeurs au-delà de 8 caractérisent le fait d'atteindre l'objectif pour PE1 et de ne pas atteindre l'objectif pour PE2.

Matrice binaire résumée			Poids de l'analyse discriminante SVM			
PE1	PE2		PA	PE1	PE2	
0	1	CT1	PA1=1	-2	12	CT1
1	0	CT2	PA1=2	-2	12	CT1
0	0		PA1=3	-2	12	CT1
			PA1=4	-2	12	CT1
			PA1=5	-2	7	CT1
			PA1=6	-2	1	CT1
			PA1=7	-2	-7	
			PA1=8	5	-14	CT2
			PA1=9	5	-18	CT2
			PA1=10	5	-17	CT2
			PA2=1	-4	5	CT1
			PA2=2	-4	-1	
			PA2=3	4	-2	CT2
			PA2=4	4	-3	CT2
			PA3=1	-3	2	CT1
			PA3=2	3	-2	CT2
			PA4=1	-4	8	CT1
			PA4=2	-4	2	CT1
			PA4=3	4	-3	CT2
			PA4=4	4	-6	CT2

(a)

(b)

Figure 6–13 : Résultats de l'analyse SVM

L'analyse SVM précédente ne permet pas, sans information supplémentaire, de décider si l'on est en présence par exemple de 4 contradictions physiques indépendantes ou si des PA sont couplés au sein de concepts d'une contradiction

physique généralisée. Ici grâce à notre connaissance du problème, nous suggérons l'indépendance des PA, soit des contradictions physiques classiques. De plus, nous aimerions savoir quel PA a le plus d'impact sur PE1 et PE2 dans les contradictions. Nous cherchons les réponses à ces questions avec des techniques de l'analyse de variance dans la section suivante.

### 6/3.2.2. Analyses classiques de plan d'expérience [Etape 3]

Pour comprendre l'importance des effets des PA sur les PE on réalise une analyse des effets moyens. Les résultats sont donnés sur les Figure 6–14 et Figure 6–15. Pour interpréter ces figures, il convient de rappeler que notre but est d'avoir PE1 le plus grand possible et le PE2 le plus petit possible. Or, on constate sur les figures que pour que PE1 soit grand il faut donner aux PA la valeur la plus grande possible, et inversement, pour que PE2 soit le plus petit possible, il faut donner aux PA la plus petite valeur. Ainsi, si on veut à la fois maximiser PE1 et minimiser PE2 il faut, à partir d'un point de fonctionnement, augmenter les PA pour satisfaire l'objectif sur PE1 et les diminuer pour satisfaire l'objectif sur PE2. Cette observation est cohérente avec les hypothèses de l'analyse discriminante. On observe également que le PA1 est celui qui de loin a la plus grande plage d'effet sur PE1 et PE2.

PA1	PE	
	Objectif : Maximiser PE1	Objectif : Minimiser PE2
PA1 grand	😊	😞
PA1 petit	😞	😊

Tableau 6-1 : Effets sur les PE avec l'exemple de PA1

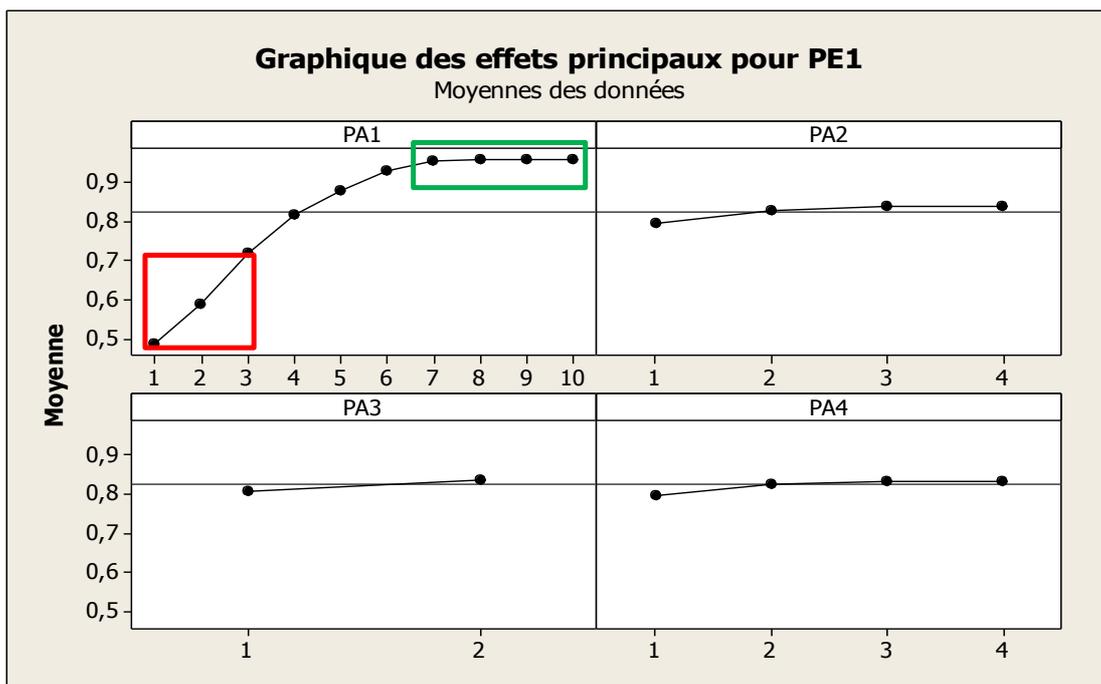


Figure 6-14 : Graphique des effets principaux pour PE1

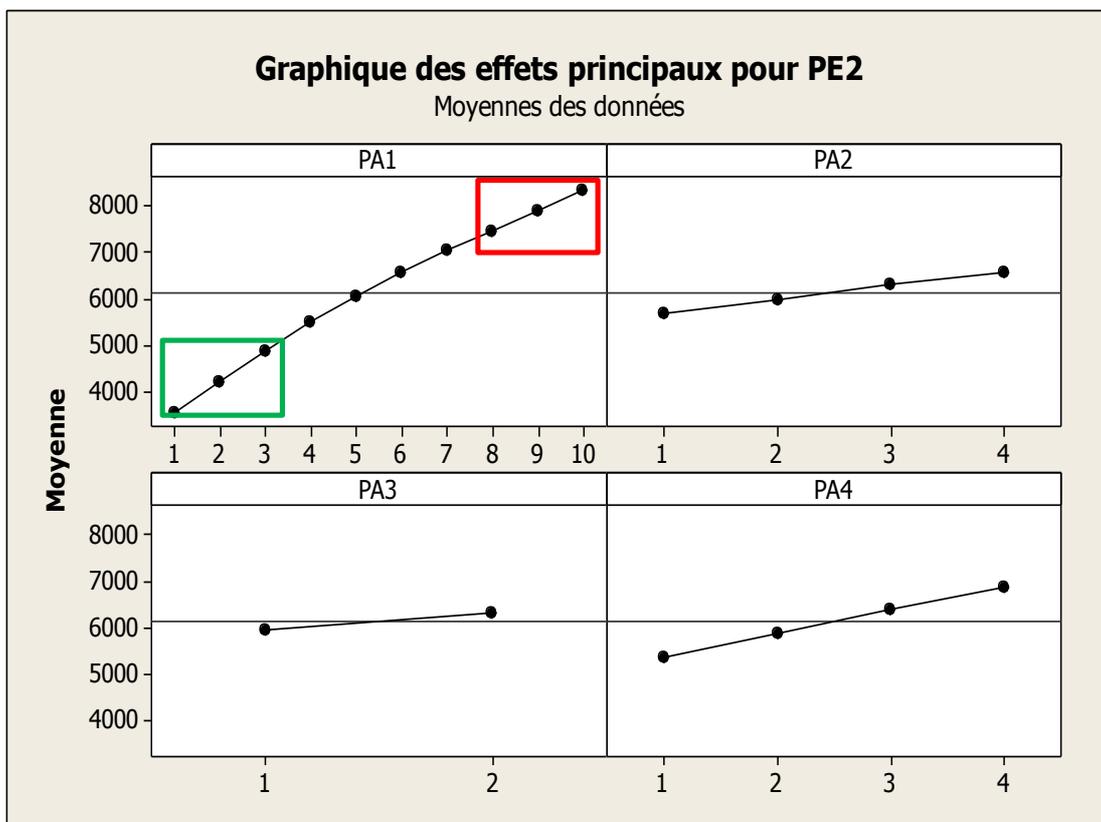


Figure 6-15 : Graphiques des effets principaux pour PE2

La question suivante qui se pose est de savoir si les influences faibles peuvent provoquer de manière conjuguée un effet important entre eux ou avec le PA de plus forte importance. Si une telle interaction était avérée, elle pourrait entraîner l'existence d'une contradiction physique généralisée qu'on ne peut pas discerner sur les graphes des effets principaux des Figure 6–14 et Figure 6–15; Nous proposons donc d'utiliser le graphe des interactions pour détecter l'existence potentielle de contradictions physiques généralisées avec deux PA. Les Figure 6–16 et Figure 6–17 donnent les résultats de l'analyse conjointe des effets d'interaction de chaque paire de variables (chaque ligne représente une valeur d'un PA : de bas en haut les PA sont rangés par ordre croissant). Ce diagramme s'interprète comme suit : lorsque pour deux valeurs successives les droites sont parallèles il n'y a pas d'interaction, sinon il peut y en avoir une. On constate sur les figures que sauf exception l'ensemble des droites est quasiment parallèle pour deux valeurs successives. Dans les cas où les droites ne sont pas parallèles, les interactions (différences de pente) sont faibles. Nous négligeons donc ces effets. Ainsi dans cet exemple nous considérons que les variables d'action n'ont pas d'interaction, nous n'identifions pas de contradiction généralisée qui apporterait plus d'information que celle que nous avons déjà.

En revanche l'inexistence de ces interactions, nous suggère que les effets des PA se superposent. Nous faisons donc l'hypothèse que nous avons affaire à 4 contradictions physiques vraies dans un contexte, une par PA. Pour  $PA_i$  ( $i=1,2,3,4$ ) le système de contradiction s'énoncerait ainsi : lorsqu'on fixe les trois des quatre  $PA_j$  ( $j \neq i$ ),  $PA_i$  doit être le plus grand possible pour se rapprocher du but fixé pour PE1 et doit être le plus petit possible pour se rapprocher du but fixé pour PE2.

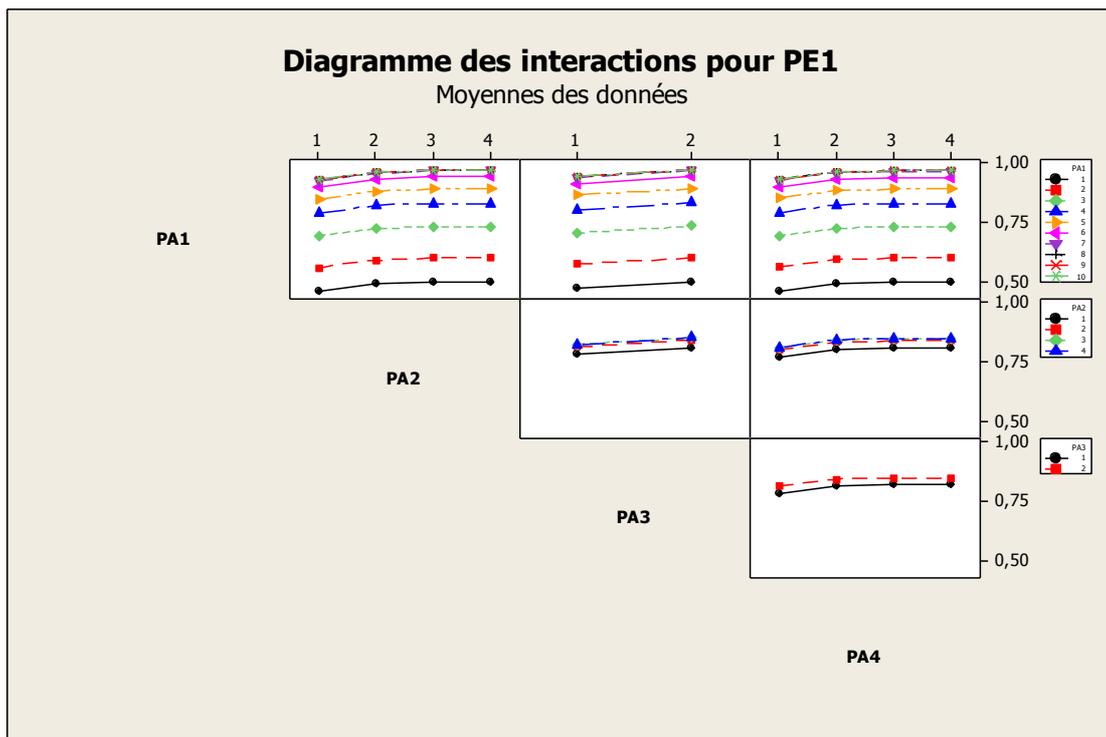


Figure 6–16 : Diagramme des interactions entre les PA sur PE1

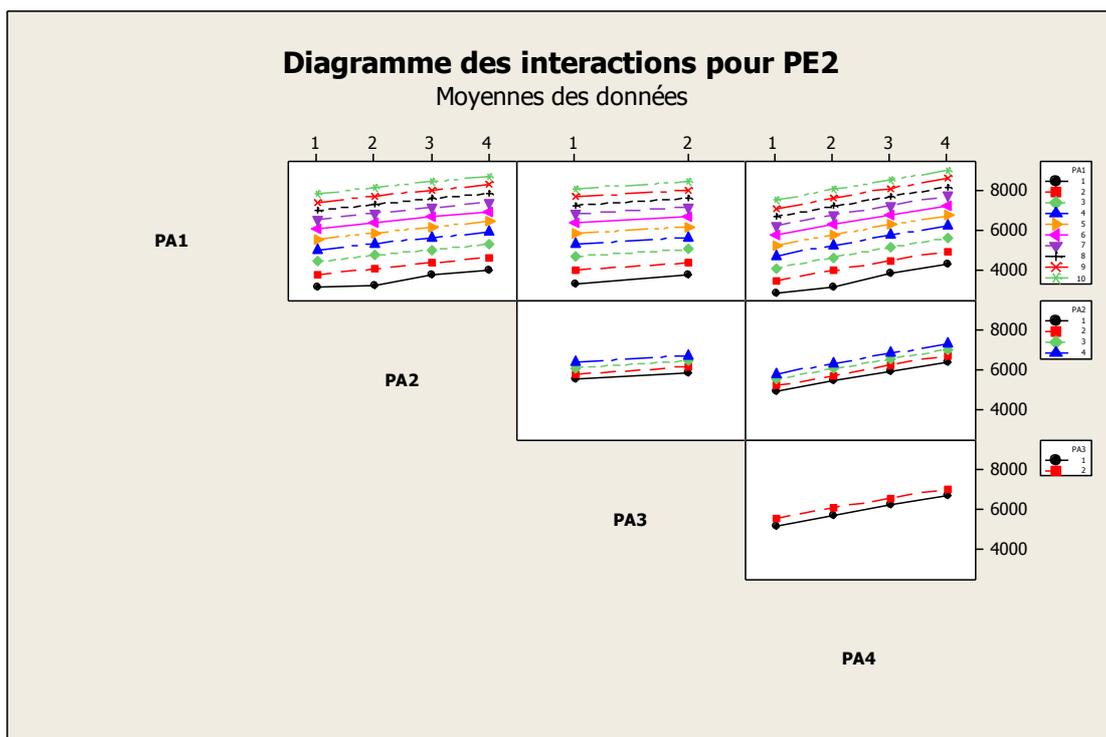


Figure 6–17 : Diagramme des interactions entre les PA pour PE2

Lorsque l'on identifie plusieurs contradictions, la question pratique qui se pose ensuite est souvent la question du choix et de la priorisation des contradictions pour

la résolution ; ce choix est posé en termes de ressources et de temps disponible pour résoudre les contradictions. Lorsque les contradictions techniques portent sur des paires d'objectifs différents (cas où l'on aurait plus de 2 objectifs), l'importance des objectifs peut permettre de les hiérarchiser comme dans (Cavallucci et al., 2011). Cependant dans le cas de notre exemple nous avons deux objectifs et toutes les contradictions physiques portent sur la même contradiction technique ; nous proposons de départager les systèmes de contradictions par l'impact des PA sur les PE. Dans notre exemple, le PA1 a le plus d'effet sur les deux PE, nous faisons l'hypothèse que résoudre la contradiction physique pour le PA1 aura un effet plus important sur les performances globales du système.

## **6/4. Conclusion du chapitre 6**

Le chapitre 6 nous a conduits à explorer le concept de contradiction. Comme exposé, celui-ci est beaucoup plus riche que la seule opposition entre deux dimensions.

Les techniques exposées et l'utilisation que nous proposons d'en faire doivent nous permettre d'avancer dans notre démarche de conception (présentée au chapitre 3).

En effet, à partir de l'étape h) Identification et structuration des problèmes, nous avons identifié que nous avons besoin d'outils d'identification et de construction des contradictions, outils dont nous disposons maintenant.

Dans le chapitre suivant, nous montrons comment déployer la fin de notre démarche, en particulier pour traiter un problème avec les méthodes présentées dans ce chapitre 6.

# CHAPITRE 7 GESTION DES VEHICULES DU SONNENHOF (II) : ANALYSE PAR LES CONTRADICTIONS

---

## **7/1. Cadrage général de l'application**

### 7/1.1. Motivations scientifiques

Rappelons que nous avons comme objectif d'expérimenter et d'analyser la méthode et les outils de gestion de planification énergétique proposés dans (Mirakyan, 2014; Mirakyan and De Guio, 2015b, 2014, 2013) à l'échelle d'une organisation (cf. chapitre 3). Nous avons également relevé dans ce travail une ébauche originale d'exploitation des outils d'OTSM TRIZ pour l'analyse de la phase I de structuration du problème de conception du système énergétique. La démarche est à notre avis assez générale et peut s'appliquer sur un domaine très large. Ainsi, excepté pour la « conformity checklist » (Mirakyan, 2014) (p154), nous pensons que le niveau de précision des méthodes et outils est entièrement réutilisable dans notre contexte. La démarche cependant a été pensée comme une démarche faisant uniquement appel à des experts et n'exploitant pas assez à notre sens l'information qui pourrait être apportée par des modèles numériques ou des expérimentations, soit dans la phase II, soit pour la définition du problème de conception dans la phase I. Dans le cas présenté ci-dessous nous ne disposons pas d'expertise sur les performances et le comportement du système de départ ou de l'évolution préconisée pour celui-ci. Ainsi ce cas permet d'explorer l'exploitation des données de modélisation, de simulation voire d'optimisation dans les phases I (formulation du problème) et la phase II (conception du nouveau système) de manière cohérente avec la démarche générale proposée dans (Mirakyan and De Guio, 2015a, 2014, 2013). Nous avons utilisé les

méthodes et outils présentés dans (Mirakyan, 2014) complétés de l'identification des contradictions à partir des données introduites précédemment dans le chapitre 6 de ce mémoire.

## 7/1.2. Données complémentaires sur le cas

Le cas est celui présenté dans le chapitre 5 et concerne une partie du parc des véhicules du Sonnenhof. Les différents véhicules possédés par le Sonnenhof permettent d'effectuer : la réalisation des travaux quotidiens des services techniques, le transport des résidents (activités, actes médicaux etc.), le ramassage scolaire des enfants en situation de handicap venant tous les jours au Sonnenhof et la réalisation de la fonction de service par les différents employés. On distingue 4 types de véhicules caractérisés par le nombre de places disponibles et la possibilité d'accueillir un fauteuil roulant que nous désignerons par 9P, 7P, 5P, 4P où le chiffre devant le P indique le nombre de places assises disponibles dans le véhicule (les véhicules 7P peuvent également accueillir 1 ou 2 fauteuils roulants et les 4P un fauteuil roulant). Au départ de l'étude, les véhicules et leur gestion étaient répartis sur différents établissements du site de Bischwiller. La direction du Sonnenhof qui souhaite réduire les coûts fait l'hypothèse d'une sous utilisation de ses véhicules. La seconde hypothèse était qu'une gestion mutualisée du parc (par opposition à la gestion indépendante par établissement) permettrait la réduction de la taille du parc qui elle-même induirait une réduction des coûts associés à la fonction transport réalisée avec ces véhicules. Notre mission première était d'évaluer ces hypothèses. De plus, il nous était demandé d'explorer la problématique de la réduction des émissions de GES associée à ces véhicules.

Au regard de la hiérarchisation des objectifs (chapitre 5 § 5/2. f), nous avons décidé d'aborder de manière séquentielle d'abord la question de la réduction des coûts associés à l'utilisation des véhicules puis celle de la diminution des émissions GES. Pour évaluer quantitativement le mode de gestion actuel et l'idée de gestion mutualisée, nous avons proposé de construire un modèle de simulation de l'utilisation des véhicules à partir d'un modèle de système à événements discrets car

## CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

la demande d'utilisation des véhicules revêt un caractère partiellement aléatoire. De plus nous faisons l'hypothèse que la simulation dynamique permettrait le cas échéant de faciliter la compréhension des solutions proposées lors de l'exposé des résultats aux parties prenantes, voire éventuellement d'obtenir des pistes d'affinement du modèle ou de solutions avec les parties prenantes. Les données recueillies pour construire le premier modèle sont un échantillon des utilisations passées sur une période d'un mois qui correspond à une période chargée dans l'année pour chaque établissement de gestion des véhicules. Nous avons fait l'hypothèse que comme le nombre de véhicules était assez important pour répondre à la quasi-totalité de la demande, et donc que l'utilisation représentait la demande. Pour compléter l'évaluation il est nécessaire d'évaluer les coûts. Plusieurs modèles de coûts ont été établis. La fonction coût se compose d'une somme de différentes catégories de coûts : les coûts fixes d'exploitation, les coûts variables d'exploitation et les coûts d'achat/investissement. Les coûts fixes d'exploitation comprennent les coûts de l'assurance et de l'entretien des véhicules possédés, les coûts variables d'exploitation comprennent les frais de carburants et les coûts d'achat/investissement comprennent les coûts d'achat des véhicules de la flotte possédée par l'organisation.

Les données utilisées pour les coûts proviennent d'informations recueillies auprès de du Sonnenhof (e.g. le nombre de km moyen parcouru par les véhicules) ou d'informations consolidées par des études externes (e.g. l'assurance ou l'entretien).

Dans la section suivante nous présentons les modèles du problème multi-objectifs et de simulation que nous avons utilisés.

### 7/1.3. Modèles initiaux de simulation et d'optimisation multi-objectives

Pour évaluer le mode de gestion initial et celui préconisé et les comparer il faut au préalable établir les critères d'évaluation d'une solution, ces critères permettant d'une part de comparer des solutions et d'autres part de trouver de nouvelles solutions améliorant la solution existante. Les paramètres d'évaluation explicites exprimés sont le coût et les émissions de GES. Il faut également un paramètre pour évaluer le service réalisé. Nous proposons le taux de satisfaction (TS) qui mesure la proportion entre le nombre de demandes d'utilisation de véhicules réalisées dans les temps impartis et le nombre total de demandes.

$$Taux_{satisfaction} = Nb_{demandes\ réalisées} / Nb_{total\ de\ demandes}$$

Ainsi un taux de satisfaction de 100% signifie que toutes les demandes sont traitées à temps. Cette mesure s'est avérée *a posteriori* pertinente, puisqu'elle représente en fait un critère d'évaluation important pour les usagers du parc qui sont également PP du problème. En effet, l'objectif numéro 1 (ou la crainte) des usagers était de s'assurer qu'une réduction du parc ne les priverait pas des ressources de transport nécessaires pour réaliser leurs activités. Le but est d'avoir un coût quasi nul, une émission de GES quasi-nulle, et un TS=1 c'est-à-dire que toutes les prestations de transport demandées soit réalisées en temps et en heure. En termes d'objectifs, nous fixons dans un premier temps un taux de satisfaction de 100% c'est-à-dire un taux proche du taux de satisfaction de la gestion actuelle, une réduction des coûts de 30% par rapport à la situation initiale et une réduction des émissions GES de 30% par rapport à la situation initiale. L'objectif de réduction des GES de 30% est supérieur à l'objectif de réduction à 2020. Pour pouvoir évaluer les solutions, il faut au préalable évaluer les PE de la situation initiale.

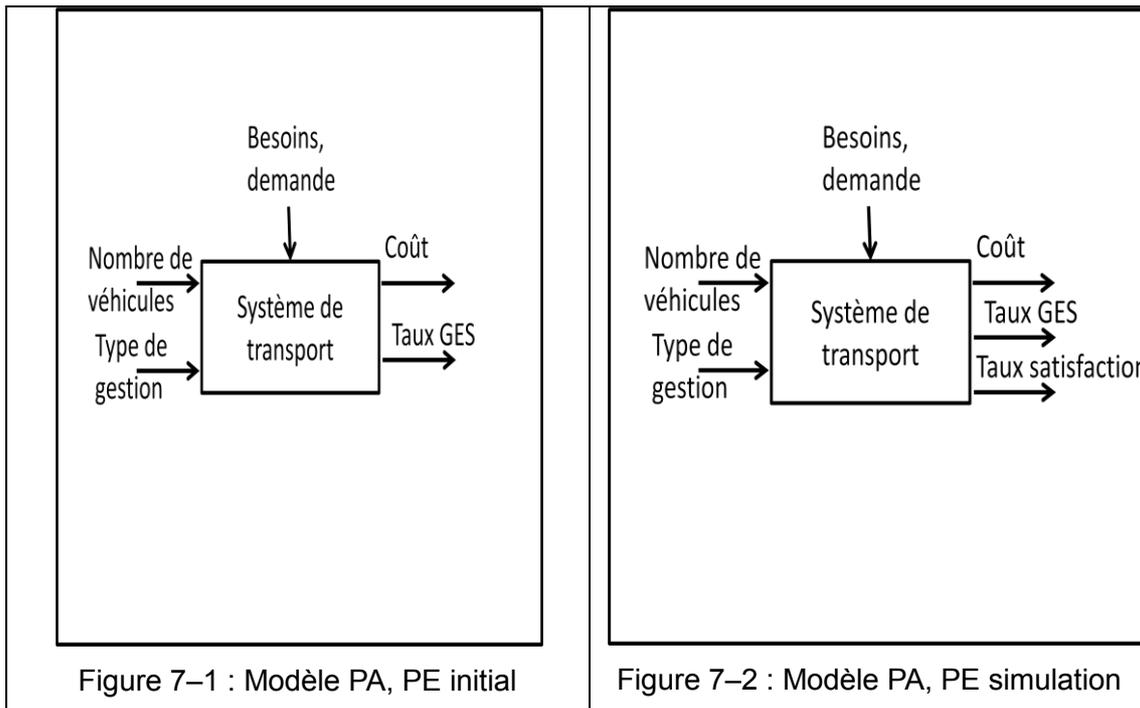


Figure 7-1 : Modèle PA, PE initial

Figure 7-2 : Modèle PA, PE simulation

L'évaluation du système initial est également réalisée par simulation. La demande étant réalisée par type de véhicules, un premier modèle de simulation est réalisé pour chaque type de véhicule. La simulation est réalisée sur le simulateur Witness. La demande est caractérisée par la date d'arrivée (jour-heure-min) de celle-ci, par le véhicule à utiliser et la durée d'utilisation du véhicule. Sur l'échantillon de données réelles testées, il y avait 315 demandes. On peut aussi imaginer que chaque demande représente un utilisateur qui arrive et qui veut emprunter un type de véhicule donné. Lorsqu'il se présente au guichet, si le type de véhicule demandé est disponible, il l'utilise sinon il repart et le service ne sera pas réalisé. Le véhicule est à nouveau disponible après utilisation (cf. conclusion du chapitre 5).

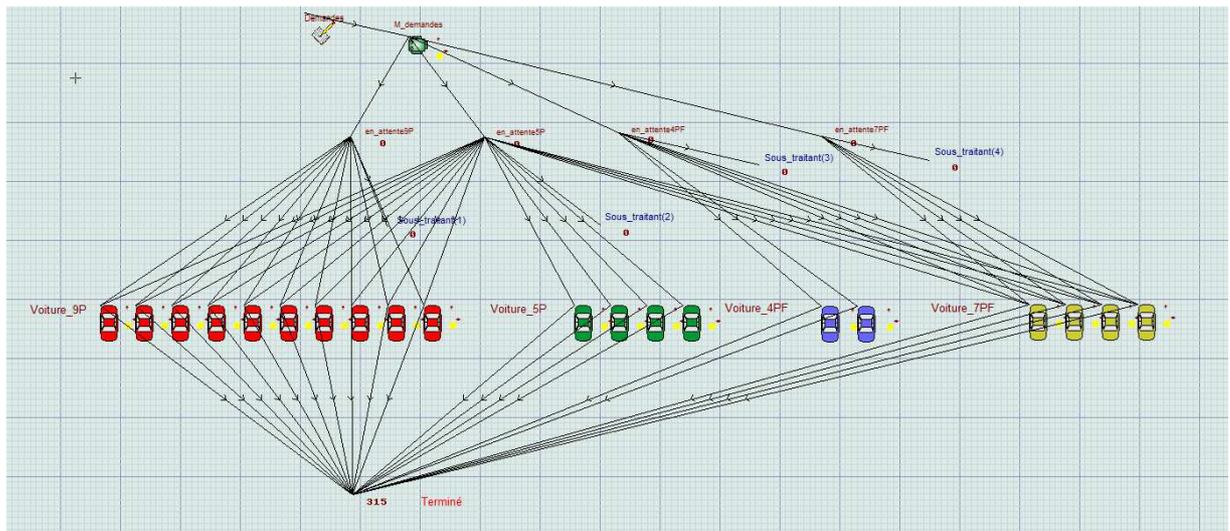


Figure 7-3 : Modélisation du système dans le logiciel de simulation Witness

Pour établir les premiers résultats, les modèles ont été testés sur l'échantillon de données réelles et sur des distributions similaires à celle de l'échantillon réel en termes de durée entre deux arrivées de demande et de durée d'utilisation des véhicules. Ces données ont permis de réfléchir et de valider des principes de solution et des tendances. Elles ont aussi permis d'échanger avec le Sonnenhof pour lancer le recueil de plus de données réelles et réaliser à terme une optimisation plus fine. L'objet du mémoire n'étant pas la simulation elle-même ni l'optimisation détaillée et pour ne pas alourdir l'exposé, nous ne précisons pas ici les dimensions statistiques des données et les résultats de la simulation concernant ce point (ils sont proches de ceux présentés ci-dessous). Les résultats et comparaisons exposés dans les sections suivantes concernent l'échantillon des données réelles.

L'étude a été menée progressivement afin d'apporter la compréhension progressive du système par l'ensemble des parties prenantes. Ce chapitre expose au plus proche la démarche comme elle a été réalisée permettant ainsi de mettre en évidence le fait que conduire la démarche de manière structurée aide à comprendre le problème, mais permet également de piloter les changements de modèles nécessaires à l'accroissement de la compréhension et au traitement du cas. La priorité numéro 1 concerne la réalisation de la fonction de service (demande des usagers), puis la réduction des coûts (demande des gestionnaires). Nous avons

## CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

commencé par traiter l'optimisation sur ces deux objectifs (PE) avant d'aborder l'optimisation avec trois PE en y ajoutant la réduction des GES. Nous restituons également les résultats dans cet ordre. Nous présentons, analysons et commentons plusieurs boucles successives de modélisation, simulation, optimisation, identification des contradictions, changement de modèle de la Figure 7-4. Nous commençons dans la section suivante par développer les résultats de l'optimisation du système initial puis identifions son système de contradictions avec les méthodes exposées au chapitre 5. Nous montrons dans quelle mesure la solution de mutualisation préconisée par le Sonnenhof est une réponse de principe au système de contradictions identifiées.

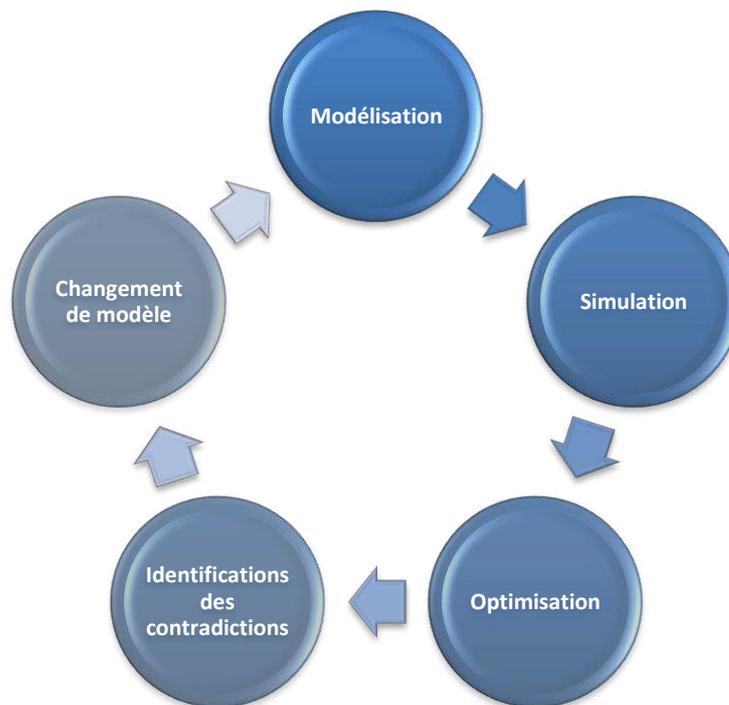


Figure 7-4 : Méthode d'analyse d'un cas par bouclages successifs

## 7/2. Déroulement de l'analyse de cas

### 7/2.1. Simulation et évaluation des performances du système initial

Cette partie permet de préciser les paramètres d'évaluation détaillés mesurés et d'établir si le système initial avec gestion par établissement peut encore être optimisé en agissant sur le seul PA identifié à l'origine à savoir le nombre de véhicules. La demande pour chaque établissement et la séquence d'utilisation de chaque type de véhicules affectés sur chaque établissement est simulée séparément. Les taux de satisfaction sont mesurés pour chaque type de véhicule et pour chaque établissement. Le taux de satisfaction global par type de véhicule est la moyenne des taux de satisfaction de chaque type de véhicule pour l'ensemble des établissements. Le taux de satisfaction total est la moyenne de tous les taux de satisfaction tout type de véhicules et tous établissements confondus. Une logique similaire est établie pour les coûts mais en présentant leur somme au lieu de leur moyenne (somme des coûts par établissement et type de véhicule, par type de véhicule pour l'ensemble du établissement, tous véhicules du établissement confondu).

La simulation a permis d'établir que pour chaque établissement géré séparément et pour chaque type de véhicule le taux de satisfaction était de 1 et que si l'on réduisait la flotte d'un seul véhicule dans n'importe quel établissement on réduisait le taux de satisfaction. Ainsi pour le mode de gestion initial, si l'objectif est de réaliser la fonction avec un TS de 1 la flotte actuelle est optimisée. Ceci tend à expliquer la crainte des usagers du mode de gestion actuel lorsque la direction propose de réduire le parc de véhicules. Il est donc clair que si l'on veut réduire les coûts sans dégrader le taux de satisfaction, il faudra faire évoluer le modèle du système initial. La Figure 7-5 ci-dessous résume les performances globales (TS versus coût) obtenues pour les combinaisons de véhicules 9 places (9P) dans les différents établissements. Sur la figure nous voyons apparaître l'ensemble de Pareto ; nous

## CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

voyons également que le l'objectif se trouve en dehors de la zone atteignable par le système. Cette représentation confirme, que compte tenu des objectifs, nous sommes en face de contradictions techniques entre le TS et le coût et qu'il faut changer notre modèle si l'on veut pouvoir espérer atteindre nos objectifs.

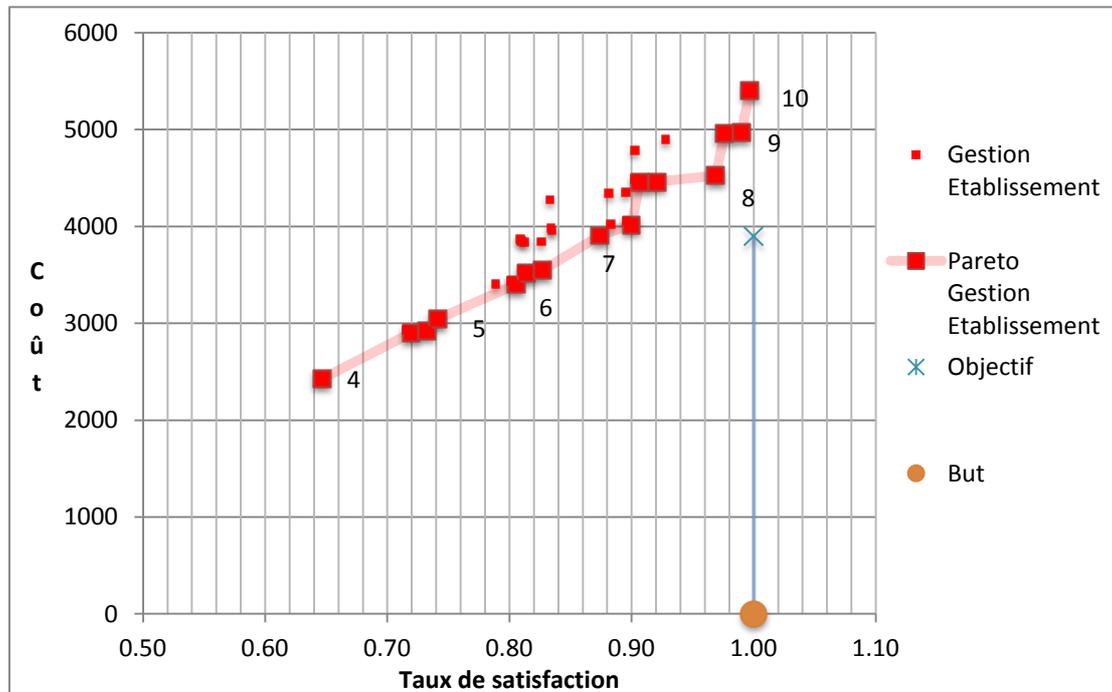


Figure 7-5 : Pareto TS Coût du système initial pour les véhicules 9P

Pour compléter le système de contradictions, la TRIZ préconise de rechercher les paramètres d'action qui sont susceptibles de constituer une contradiction physique. Comme dans l'état de notre modèle nous n'avons qu'une seule variable d'action qui varie nous commençons par vérifier si cette variable doit prendre des valeurs différentes pour atteindre les deux objectifs de coût et de satisfaction. Sur la Figure 7-6 les étiquettes des points du Pareto indiquent la valeur du nombre total de véhicules. On constate bien une contradiction physique pour le nombre de véhicules : lorsque le nombre de véhicules est faible (ici  $\leq 7$ ) le coût est faible et atteint l'objectif mais le taux de satisfaction n'est pas égal à 1. En revanche lorsque le nombre de véhicules est supérieur ou égal à 10 le taux de satisfaction est égal à 1 mais le coût est supérieur à l'objectif fixé. On peut résumer qualitativement la

situation en disant que pour atteindre les deux objectifs il faudrait que le nombre de véhicules soit simultanément grand et petit.

Lorsque l'on se place du point de vue de la conception, le problème du concepteur est de réaliser un nouveau système qui permet de résorber l'impact de cette contradiction. Dans le cas de l'étude, la proposition de gestion mutualisée est une solution proposée pour améliorer les performances. Avant de simuler et d'étudier cette proposition nous souhaitons vérifier si a priori cette solution s'oriente vers la résolution de la contradiction. L'analyse du système permet d'interpréter le PA nombre de véhicule par le nombre de véhicules potentiellement disponibles lors d'une demande. En résumé le nombre de véhicules doit être important lors de la demande effectuée par le demandeur, mais n'a pas besoin d'être important lorsqu'il n'y a pas de demande. La solution proposée pourrait bien vérifier cette propriété. En effet, la probabilité de la demande maximale sur l'ensemble des véhicules des différents établissements est certainement plus petite que la probabilité de la demande maximale sur un établissement donné (le maximum de la demande totale est inférieur à la somme des maximums de la demande de chaque établissement). Dans la section suivante nous évaluons cette proposition et posons les bases d'une nouvelle amélioration.

## 7/2.2. Apport de la gestion mutualisée par rapport à la gestion d'établissement au TS et au Cout (9P)

### 7/2.2.1. Apports de la solution

La Figure 7-6 compare sur les paramètres coût total et taux de satisfaction la situation de départ avec la solution « système mutualisé ». On peut observer que l'ensemble de Pareto de la solution mutualisée se rapproche de l'objectif (trait bleu) et du but.

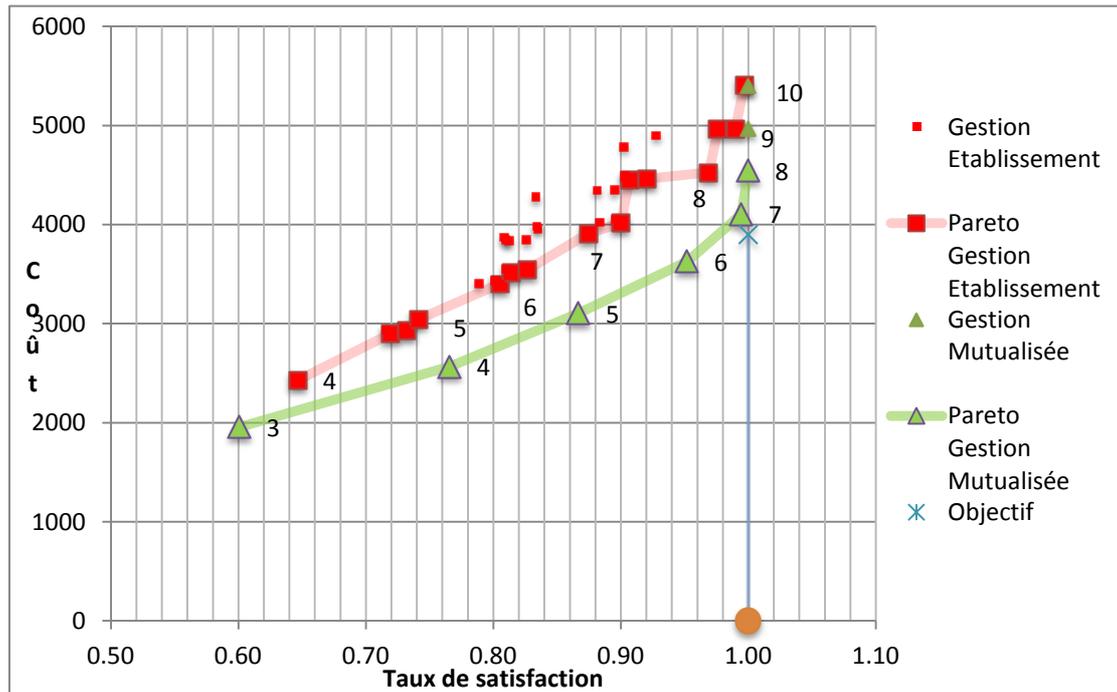


Figure 7-6 : Comparaison des solutions gestion par établissement et gestion mutualisée

A ce stade des modèles les parcs de véhicule 9P, 7P, 5P, 4P sont gérés séparément. L'application de la solution de mutualisation sur chaque type de véhicules donne les mêmes types de gains qui s'additionnent pour le coût sans dégrader le TS de chacun des parcs. Cependant le nombre de véhicules étant moins important pour les autres types de véhicules les gains sont également moins importants que pour le parc des véhicules 9P. Pour améliorer cette solution nous proposons, dans le paragraphe suivant, d'identifier les contradictions du nouveau modèle de notre système.

### 7/2.2.2. Contradictions de la solution mutualisée (9P)

L'application de la solution de gestion mutualisée revient dans notre modèle de données à rajouter un paramètre «gestion par établissement ou mutualisée ». Lorsque l'on étudie la solution gestion mutualisée, on constate que le système de contradictions initial, identifié pour la gestion par établissement, reste avéré dans le cas de la gestion mutualisée.

	Gestion Etablissement/ Mutualisée 0/1	9P	TS	Coût		Gestion Etablissement/ Mutualisée 0/1	9P	TS	Coût
1	0	4	0.65	2429	22	0	8	0.97	4525
2	0	5	0.74	3046	23	0	8	0.90	4467
3	0	5	0.72	2935	24	0	8	0.90	4490
4	0	5	0.72	2900	25	0	8	0.92	4461
5	0	5	0.73	2930	26	0	8	0.90	4351
6	0	6	0.81	3553	27	0	8	0.91	4456
7	0	6	0.81	3518	28	0	8	0.88	4345
8	0	6	0.83	3547	29	0	8	0.83	4281
9	0	6	0.79	3407	30	0	9	0.99	4968
10	0	6	0.80	3436	31	0	9	0.98	4962
11	0	6	0.81	3401	32	0	9	0.93	4898
12	0	7	0.88	4025	33	0	9	0.90	4788
13	0	7	0.90	4054	34	0	10	1.00	5405
14	0	7	0.90	4019	35	1	3	0.60	1957
15	0	7	0.87	3908	36	1	4	0.77	2568
16	0	7	0.83	3960	37	1	5	0.87	3104
17	0	7	0.81	3850	38	1	6	0.95	3628
18	0	7	0.83	3984	39	1	7	0.99	4106
19	0	7	0.81	3873	40	1	8	1.00	4543
20	0	7	0.83	3844	41	1	9	1.00	4974
21	0	7	0.81	3838	42	1	10	1.00	5405

Tableau 7-1 : Performances TS, Coût en fonction des PA 9P et Gestion (parc 9P) :

aucune solution n'atteint tous les objectifs (TS=1 ; Coût<3900)

PA	Poids sur les performances	
	TS	Cout
Gestion Etablissement	-1.2	-0.2
Gestion Mutualisée	1.2	0.2
9P=3	-1	1
9P=4	-1	2
9P=5	-1	2
9P=6	-1	2
9P=7	-1	-2
9P=8	1	-2
9P=9	1	-2
9P=10	3	-2

Figure 7-7 : Poids des valeurs des variables par rapport à l'objectif (Méthode SVM)

## CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

Pour savoir si le paramètre de gestion introduit ou non une contradiction supplémentaire nous proposons d'étudier de manière groupée l'ensemble des solutions avec les deux PA (gestion, 9P). Le Tableau 7-1 montre le tableau de données analysé pour le parc des véhicules 9P. A noter qu'il y a plusieurs solutions de coût et de taux de satisfaction pour une même paire de PA : par exemple pour la paire de PA gestion établissement=0 et 9P=6 il existe plusieurs combinaisons de six véhicules 9P (selon les véhicules choisis dans un établissement pour l'expérience parmi le total des dix véhicules 9P) et l'utilisation de chaque véhicule est différente. A *contrario*, il existe une seule combinaison pour les PA gestion mutualisée et 9P=6 car les véhicules sont indépendants des établissements. La Figure 7-7 donne les poids des variables et des valeurs issues de l'approche discriminante SVM où les poids positifs indiquent que la valeur de la variable PA contribue à l'objectif. Elle confirme la contradiction physique entre les faibles valeurs du nombre de véhicules et les fortes valeurs. De plus, elle montre que la gestion mutualisée influence positivement (dans le sens de l'objectif) les deux paramètres de performance par rapport à la gestion séparée par établissement ; le paramètre « type de gestion » n'apporte donc pas de contradiction physique supplémentaire. De même la Figure 7-8 , qui donne l'effet moyen de la mutualisation sur le TS et le coût, montre que la mutualisation a en moyenne tendance à diminuer le coût et à augmenter le TS, ce qui va bien dans le sens de nos objectifs et corrobore les résultats obtenus avec l'analyse SVM. Dès lors se pose la question : comment améliorer le nouveau système ? Des éléments de réponse à cette question sont donnés dans le paragraphe suivant.

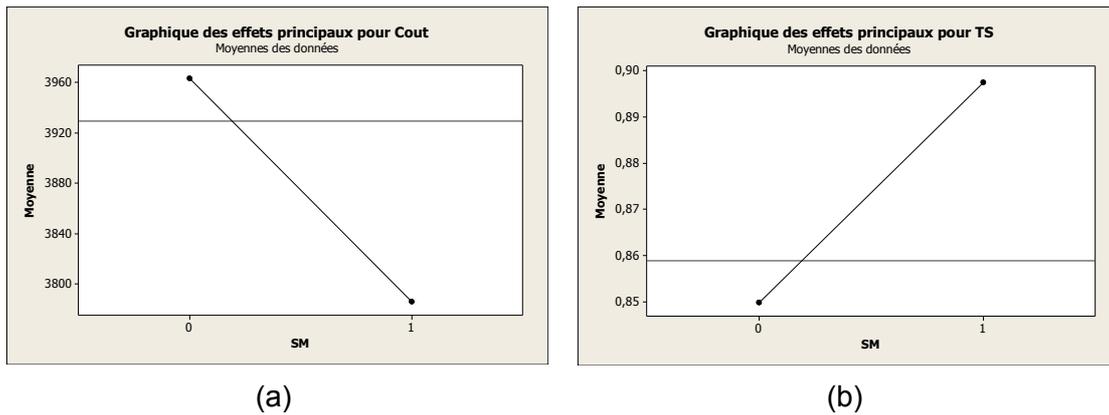


Figure 7-8 : Comparaison des effets de la mutualisation sur le coût(a) et le TS(b)

### 7/2.2.3. Changements de modèle pour aller au-delà de la mutualisation

Comme nous venons de le voir la mutualisation améliore les performances du système de transport mais ne permet pas d'atteindre l'objectif fixé initialement. Pour espérer y arriver il faut réaliser un changement de modèle. Le système de contradiction sur le nouveau système est le même que sur le précédent. Pour rechercher des pistes de changement de modèle sur cette contradiction nous avons appliqué des outils de la TRIZ et avons trouvé trois nouveaux concepts qui semblent potentiellement traiter cette contradiction : la sous-traitance ; le sur-classement et une marge sur les instants de début d'une demande par rapport à l'horaire souhaité. Sans entrer dans le détail du processus de recherche de ces propositions, nous présentons pourquoi nous pensons *a priori* que ces solutions traitent la contradiction physique sur le nombre de véhicules. Il faut trouver des transformations qui comme la mutualisation permettent à l'utilisateur de disposer lors de sa demande d'une offre de véhicules disponibles la plus grande possible alors qu'il n'a pas besoin de véhicule lorsqu'il ne les utilise pas.

La sous-traitance partielle permet de répondre à ce critère : si on fait l'hypothèse que sur l'ensemble des agences de sous-traitance il y a toujours un véhicule de disponible on peut posséder moins de véhicules, voire aucun, tout en ayant un taux de satisfaction égal à 1.

Dans la solution de mutualisation présentée ci-dessus nous avons groupé les véhicules d'un même type pour offrir à un moment donné le choix le plus grand

## CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

possible sans pour autant augmenter la flotte de véhicules. On peut continuer sur cette voie en remarquant qu'il n'est pas nécessaire d'offrir à l'utilisateur un véhicule d'un seul type, mais qu'il peut utiliser éventuellement un autre type de véhicule : ainsi une demande sur les véhicules 5P peut être satisfaite par un véhicule 9P. En relaxant les contraintes sur le type de véhicule nous offrons pour un parc de taille fixé un choix potentiellement plus grand à l'utilisateur.

Enfin dans le modèle ci-dessus comme dans celui de la situation initiale, nous avons supposé qu'il fallait répondre instantanément à la demande. Cette contrainte n'est pas justifiée pour toutes les activités et l'on pourrait planifier ou accepter de répondre à la demande dans une plage de départ qui dépend de l'activité à réaliser. Dans ce cas on offre sur cette plage, un choix de véhicules potentiellement plus important que si l'on considère la disponibilité instantanée d'un véhicule.

Remarquons que les changements de modèle « sous-traitance » et « marge de départ » peuvent se traiter pour chaque type de véhicule séparément, mais il n'en est pas de même du sur-classement. Dans les sections suivantes nous traitons successivement les apports et les limites de ces solutions appliqués à la solution mutualisée.

### 7/2.2.4. Remarques complémentaires

Cette première analyse a permis d'objectiver la piste de solution à laquelle le Sonnenhof avait pensé. L'analyse faite a permis de montrer que cette solution allait dans le sens du but, mais qu'elle ne permettrait (objectivement) pas de résoudre complètement le problème posé.

Cette analyse, en particulier grâce à la formulation des contradictions, a permis de positionner de nouvelles solutions comme des concepts de solutions potentielles : la sous-traitance, le sur-classement et la marge de début. Notons que parmi ces pistes d'amélioration, la sous-traitance était déjà apparue dans le brainstorming initial du Sonnenhof (cf. chapitre 5/1). Cependant cette piste d'externalisation n'avait pas été analysée ni évaluée dans le cadre du conflit coût/service. L'analyse des

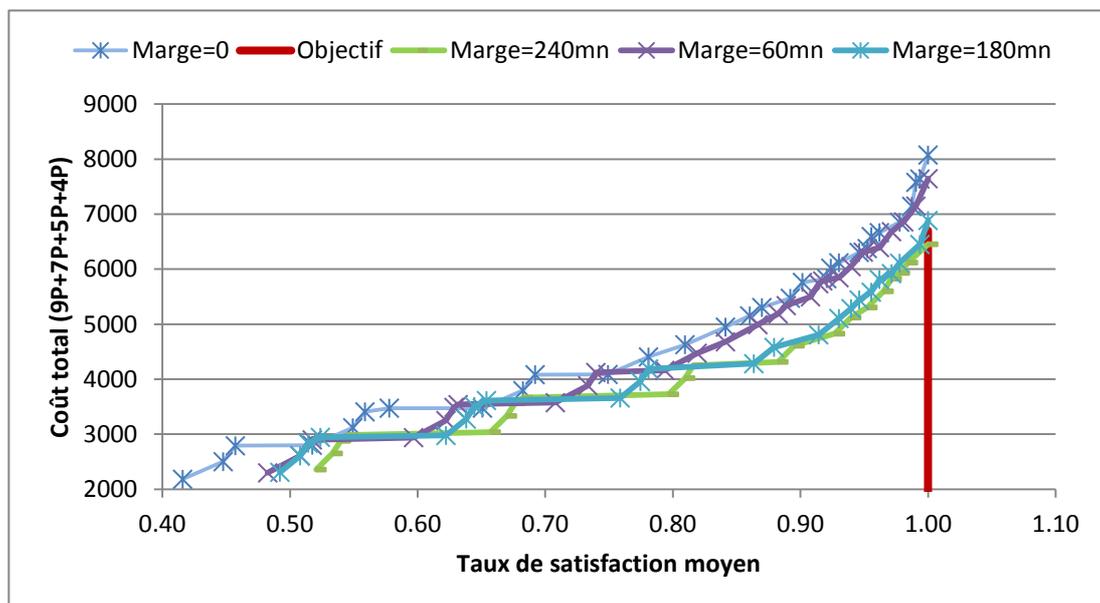
contradictions conforte le potentiel de cette piste dans la mesure où elle cohérente avec un principe de résolution de la contradiction physique du problème. Cependant comme ce nouveau paramètre « sous-traitance » semble influencer à la fois le paramètre coût et le paramètre TS il faudra au même titre que les autres propositions les simuler l'évaluer.

### 7/2.3. Apport de la plage de réalisation au TS et au Coût

#### 7/2.3.1. Apports de la solution

##### a) Plage fixe à l'échelle du parc

Dans cette partie nous nous proposons d'analyser les performances globales à l'échelle du parc avec une plage de début de réalisation de l'activité identique pour chaque type de véhicule. Un plan d'expérience a été réalisé sur la solution mutualisée en faisant varier la plage de début de réalisation de l'activité. Les valeurs du plan pour cette plage sont (0h, 0,5h, 1h, 2h, 3h, 4h) Le nombre de véhicules de chaque type est également variable. Cela représente 1920 expériences simulées. Les objectifs à atteindre sont : le coût doit être <6700 et le taux de satisfaction=1. Les résultats sont donnés sur les figures ci-dessous. La Figure 7-9 montre l'évolution des courbes de Pareto en fonction de la nouvelle variable « plage de départ » et le Tableau 7-2 en précise les points.



## CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

Figure 7–9 : Evolution du front de Pareto avec la marge (Coût Total et TS moyen) pour l'ensemble du parc.

Marge=0		Marge=30mn		Marge=60mn		Marge=120 mn		Marge=180mn		Marge=240mn	
Taux de satisfaction	Coût Total										
0.42	2181	0.46	2252	0.48	2297	0.45	2246	0.49	2307	0.52	2357
0.45	2501	0.49	2568	0.51	2608	0.48	2561	0.51	2605	0.53	2651
0.46	2790	0.49	2801	0.51	2846	0.49	2846	0.51	2836	0.54	2879
0.52	2798	0.50	2857	0.52	2897	0.50	2903	0.52	2942	0.55	2984
0.55	3118	0.56	2870	0.60	2938	0.58	2910	0.62	2977	0.66	3038
0.56	3407	0.59	3185	0.62	3249	0.61	3225	0.64	3274	0.67	3332
0.58	3473	0.59	3418	0.63	3487	0.62	3510	0.64	3505	0.68	3561
0.65	3474	0.60	3474	0.63	3538	0.63	3567	0.65	3612	0.68	3665
0.68	3794	0.66	3493	0.71	3573	0.71	3574	0.76	3658	0.80	3726
0.69	4083	0.69	3808	0.73	3884	0.74	3889	0.77	3956	0.81	4019
0.75	4085	0.70	4041	0.74	4121	0.74	4174	0.78	4187	0.82	4248
0.78	4405	0.70	4097	0.79	4161	0.83	4226	0.86	4281	0.88	4314
0.81	4627	0.77	4110	0.82	4472	0.86	4541	0.88	4579	0.90	4607
0.84	4947	0.79	4425	0.84	4679	0.87	4733	0.91	4805	0.93	4827
0.86	5151	0.83	4652	0.87	4990	0.88	4883	0.93	5103	0.94	5120
0.87	5302	0.85	4967	0.88	5186	0.90	5048	0.94	5283	0.95	5304
0.89	5471	0.88	5176	0.89	5337	0.91	5233	0.95	5441	0.97	5598
0.90	5760	0.90	5491	0.91	5497	0.92	5390	0.96	5581	0.97	5826
0.92	5826	0.91	5724	0.91	5735	0.94	5549	0.96	5812	0.98	5931
0.92	6019	0.91	5780	0.92	5786	0.94	5834	0.97	5919	0.98	6120
0.93	6115	0.93	5838	0.93	5844	0.96	5891	0.98	6110	1.00	6453
0.95	6304	0.94	6040	0.94	6046	0.97	6091	0.99	6448		
0.95	6375	0.95	6310	0.95	6310	0.97	6375	1.00	6884		
0.96	6593	0.96	6386	0.96	6392	0.98	6433				
0.96	6664	0.97	6675	0.97	6681	0.99	6718				
0.98	6852	0.98	6858	0.98	6858	1.00	7160				
0.99	7141	0.99	7147	0.99	7147						
0.99	7578			1.000	7643						
0.99	7638										
1.00	8074										

Tableau 7-2 : Evolution du front de Pareto avec la marge en mn (Coût Total et TS moyen) pour l'ensemble du parc ; les cases en vert sont celles ayant atteint l'objectif.

On remarquera qu'on arrive à atteindre les objectifs fixés pour une marge de 240mn et que des solutions très proches de l'objectif sont déjà présentes à la marge 120mn. On notera également que les 3 derniers résultats des marges 30mn et 60mn sont identiques.

D'autre part l'analyse des effets principaux (cf. Figure 7–10 et Figure 7–11) montre que le paramètre Nombre de véhicules 9P (la flotte 9P) est le facteur le plus influent sur le TS et le coût, suivi du facteur marge pour le TS.

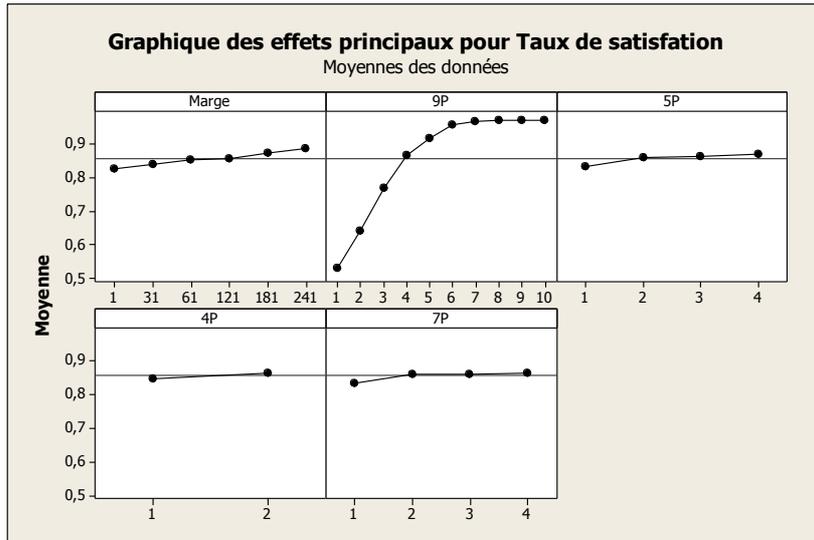


Figure 7–10 : Effets principaux sur TS de la marge et des nombres de véhicules

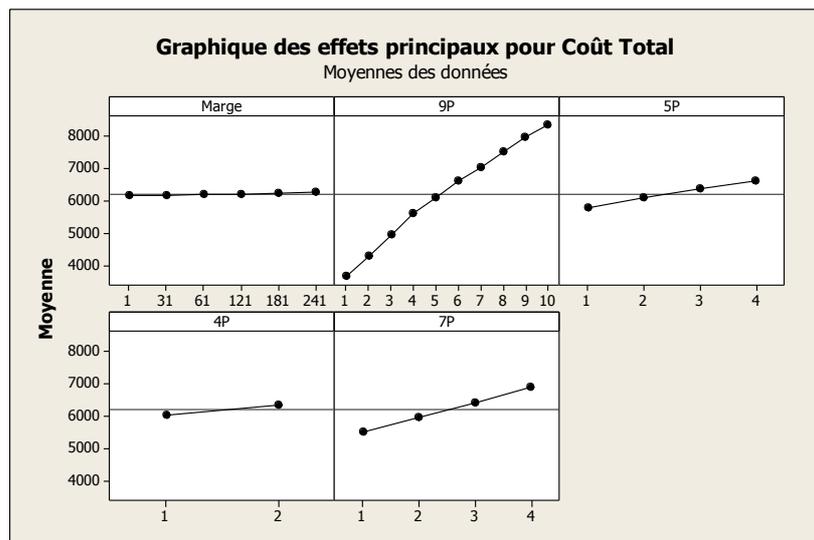


Figure 7–11 : Effets principaux sur le coût de la marge et des nombres de véhicules

b) Plage fixe différente pour chaque type de véhicule

Dans la solution précédente nous avons changé le modèle en dynamisant une variable initiale du système, à savoir la marge. On peut amplifier cette possibilité de dynamisation en appliquant éventuellement une marge différente par type de véhicule, car les demandes par type de véhicules sont indépendantes. Selon le type d'activité, on peut être intéressé par une solution ayant la marge la plus faible

possible (la marge est alors perçue comme un retard ou une contrainte dans le problème).

L'étude des données des véhicules 9P a été réalisée et les résultats obtenus sont similaires aux résultats globaux : il faut une marge de 240mn pour atteindre tous les objectifs de réduction des véhicules 9P.

### 7/2.3.2. Limites des solutions (contradiction des solutions)

Dans la section précédente nous avons déterminé les éléments de performance de la solution et montré qu'elle pouvait répondre aux objectifs. Pour connaître les limites du système et les nouvelles contradictions, il faut choisir un nouvel objectif dont l'atteinte représente un défi plus important. Pour des raisons de cohérence, cet objectif doit se rapprocher du but. Pour pouvoir identifier un système de contradictions de type TRIZ à partir des données, on ne peut pas prendre n'importe quelle valeur pour l'objectif ; en effet il faut disposer de deux contradictions techniques CT1 et CT2. Pour illustrer ce propos, prenons comme objectif plus contraignant un  $TS=1$  et un  $Coût < 6000$ . Sur le Tableau 7-3b on observe les deux contradictions techniques CT1 et CT2 décrites par les lignes 1 à 19 et 21 respectivement. En revanche lorsqu'on prend comme objectif le but ( $TS=1$  et  $Coût = 0$ , Tableau 7-3a) la liste des éléments du Pareto issus de l'expérimentation n'indique pas immédiatement les contradictions CT1 et CT2 mais n'indique que CT2. Cette observation soulève des questions méthodologiques qui sont discutées dans le paragraphe 7/2.3.3. Pour l'heure, le Tableau 7-3b et la Figure 7-9 indiquent l'existence de contradictions techniques entre le coût et le taux de satisfaction. De plus l'analyse des effets semble indiquer que les nombres de véhicules notamment celui du parc de véhicules 9P ont des effets contradictoires sur les objectifs. Pour ce qui est de la marge il semblerait qu'elle améliore le TS sans augmenter le coût. L'analyse de la variance semble confirmer l'absence d'effet de la marge sur le coût (cf. Figure 7-12) et l'existence d'un effet sur le TS (cf. Figure 7-13). Nous interprétons cette analyse en concluant que le paramètre Marge améliore les performances du TS sans dégrader les performances de coût et ne contribue donc

pas à une contradiction physique associée au Pareto TS, Coût, donc aux contradictions techniques CT1 et CT2. La marge n'apporte pas de contradiction supplémentaire. Les contradictions du système avec marge sont les mêmes que celles du système sans marge. Comme nous ne voulons pas dans nos contraintes de marge supérieure à 240, il faut chercher d'autres paramètres d'action ayant une influence positive sur l'un des paramètres TS ou Coût sans dégrader l'autre.

Marge=240mn			Objectif (TS=1, Coût<6000)		
Objectif (TS=1, Coût=0)			Objectif (TS=1, Coût<6000)		
	Taux de satisfaction	Coût Total	Taux de satisfaction	Coût Total	
1	0.52	2357	0.52	2357	CT1
2	0.53	2651	0.53	2651	
3	0.54	2879	0.54	2879	
4	0.55	2984	0.55	2984	
5	0.66	3038	0.66	3038	
6	0.67	3332	0.67	3332	
7	0.68	3561	0.68	3561	
8	0.68	3665	0.68	3665	
9	0.80	3726	0.80	3726	
10	0.81	4019	0.81	4019	
11	0.82	4248	0.82	4248	
12	0.88	4314	0.88	4314	
13	0.90	4607	0.90	4607	
14	0.93	4827	0.93	4827	
15	0.94	5120	0.94	5120	
16	0.95	5304	0.95	5304	
17	0.97	5598	0.97	5598	
18	0.97	5826	0.97	5826	
19	0.98	5931	0.98	5931	
20	0.98	6120	0.98	6120	CT2
21	1.00	6453	1.00	6453	

Tableau 7-3 : Pareto et paire de contradictions techniques en fonction de l'objectif

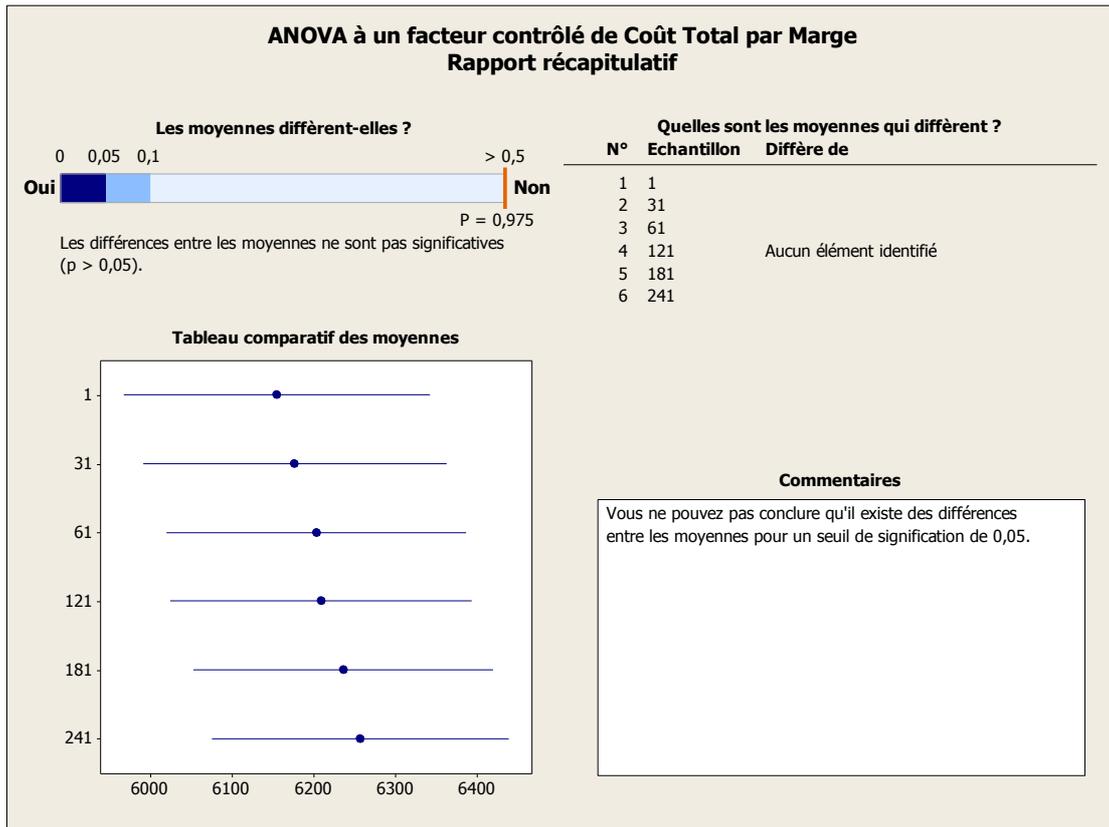


Figure 7–12 : Analyse de la variance de la marge sur le coût.

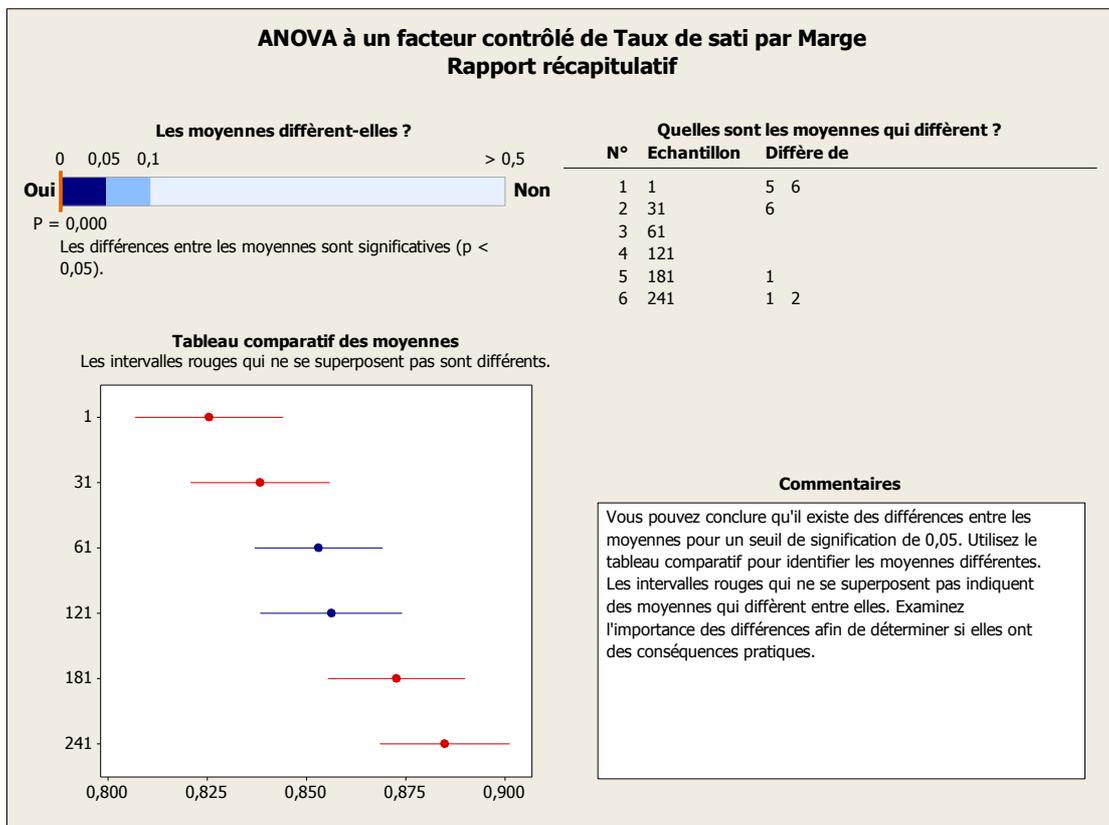


Figure 7–13 : Analyse de la variance du TS pour la marge départ

A titre de comparaison la Figure 7–14, qui donne les poids des valeurs des variables obtenus par la méthode SVM pour l'objectif TS=1 et Cout<6000, indique que les véhicules 9P (à partir de sept véhicules) ont l'influence la plus forte sur le TS suivis de la marge 240mn et des grandes valeurs pour les autres types de véhicules. De manière générale les valeurs de la marge discriminent beaucoup moins les coûts que les nombres de véhicules. Cette observation conforte l'idée que la marge n'apporte pas de contradiction nouvelle.

PA	Poids sur TS	Poids sur coût
Marge=0	-7.4	0.9
Marge=30	-4.0	0.6
Marge=60	0.0	1.6
Marge=120	0.7	-0.7
Marge=180	4.4	-1.2
Marge=240	6.4	-1.3

9P=1	-7.9	30.6
9P=2	-7.9	30.6
9P=3	-7.9	29.4
9P=4	-7.9	13.6
9P=5	-7.9	1.2
9P=6	-2.8	-14.0
9P=7	8.4	-21.4
9P=8	11.0	-23.3
9P=9	11.1	-23.3
9P=10	11.8	-23.3

PA	Poids sur TS	Poids sur coût
5P=1	-8.3	9.3
5P=2	-1.6	4.3
5P=3	4.8	-3.8
5P=4	5.1	-9.8

4P=1	-6.1	2.6
4P=2	6.1	-2.6

7P=1	-5.2	12.9
7P=2	-2.6	5.1
7P=3	3.9	-4.4
7P=4	3.9	-13.7

Figure 7–14 : Poids des variables obtenu avec la démarche SVM pour l'objectif (TS=1, Coût<6000)

### 7/2.3.3. Remarques complémentaires

En terme de pilotage de projet cette solution est intéressante car elle a permis d'analyser clairement un phénomène bien connu : des pics de demande (ici de véhicules) apparaissent à certains moments, la flotte est insuffisante ; or à d'autres moments la demande est faible, voire nulle. On voit d'ailleurs se développer dans les services confrontés à ce type de situation des graphiques représentant les périodes d'affluences afin, non seulement d'informer les usagers – clients, mais bien de les

## CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

sensibiliser au fait que s'ils décalaient leur usage de service dans le temps ils ne seraient pas confrontés aux pics et aux files d'attente. Il s'agit de la même logique ici du point de vue managérial, le concept de solution pourrait se traduire par l'engagement d'un gestionnaire de flotte à fournir un véhicule dans les 30, 120... minutes suivant la demande. L'analyse proposée ici permet de donner de l'information sur la capacité de cette solution à atteindre les objectifs fixés d'une part et d'autre part sur l'incidence de la durée de la marge de réalisation sur la valeur des paramètres d'évaluation en fonction toujours du nombre de véhicules.

Pour aller plus loin dans l'analyse de cette solution, il serait nécessaire de passer par une étape de collecte d'information à un niveau plus fin, en particulier, savoir quels horaires de début de déplacement peuvent être modifiés ou pas.

Avec des données supplémentaires, il serait possible de caractériser la demande (le type de déplacement - e.g. sortie au cinéma, sortie médicale) et de considérer une marge acceptable pour chaque type selon le besoin (marge à définir avec l'organisation) et donc de construire une modèle « multi-marges » (l'analyse précédente convient d'une marge unique pour toutes les demandes).

Nous avons exploré la situation où la marge était positive (le véhicule est utilisé dans les x minutes qui suivent le moment du besoin effectif). Nous pourrions, en plus, explorer la situation où la marge est négative (le véhicule est utilisé x minutes avant le besoin, ce qui suppose démarche de planification du besoin). En croisant avec le type de déplacement nous pourrions avoir des pistes de solutions nouvelles.

Il pourrait même être possible de panacher les deux (marges positives et négatives), voire d'inclure le modèle « multi-marges » précédent, en fonction des types de déplacement.

Par exemple, nous pourrions imaginer qu'il est envisageable de partir 10 minutes plus tôt que prévu pour se rendre à un rendez-vous médical, et qu'une sortie puisse être décalée de 15 minutes. La mise en œuvre d'une véritable politique d'utilisation de la flotte pourrait même inciter les usagers à programmer les demandes de véhicules en tenant compte de la disponibilité des véhicules ; en faisant bien

évidemment l'hypothèse que la flotte et le mode de gestion associé ont été dimensionnés pour répondre de manière aussi fine que possible compte tenu des besoins.

## 7/2.4. Apport de la sous-traitance au TS et au Coût

### 7/2.4.1. Apport sur les performances

L'analyse de l'apport de la sous-traitance nous amène à revoir notre paramètre d'évaluation « coût ». En effet, au coût déjà comptabilisé, nous devons intégrer un coût d'externalisation qui comprend les coûts de location / leasing des véhicules.

La Figure 7–15 compare les fronts de Pareto du système de gestion mutualisée et du système auquel on rajoute la possibilité de sous-traiter certaines commandes. On constate qu'ils sont similaires sauf pour la valeur TS=1 où la solution de sous-traitance permet de diminuer les coûts. La solution avec sous-traitance domine tous les points du Pareto sans sous-traitance dont le coût est supérieur à 6163. On voit aussi sur la figure qu'on arrive à atteindre l'objectif. De plus comme le montre le Tableau 7-4, la solution avec sous-traitance permet d'atteindre l'objectif avec plus d'une trentaine de points.

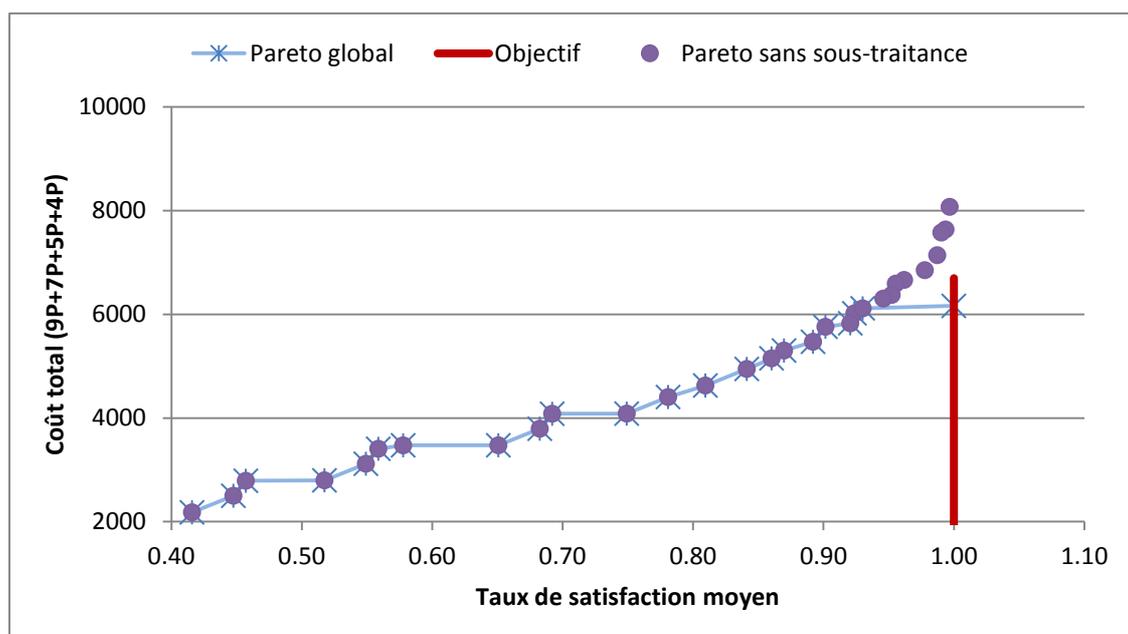


Figure 7–15 : Comparaison des Pareto avec et sans sous-traitance

CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

Pareto global		Pareto sans sous-traitance		Solutions répondant à l'objectif		
Taux de satisfaction	Coût Total	Taux de satisfaction	Coût Total	Taux de satisfaction	Coût Total	
0.42	2181	0.42	2181	1.00	6163	1
0.45	2501	0.45	2501	1.00	6173	2
0.46	2790	0.46	2790	1.00	6249	3
0.52	2798	0.52	2798	1.00	6315	4
0.55	3118	0.55	3118	1.00	6317	5
0.56	3407	0.58	3473	1.00	6324	6
0.58	3473	0.56	3407	1.00	6326	7
0.65	3474	0.65	3474	1.00	6375	8
0.68	3794	0.68	3794	1.00	6385	9
0.69	4083	0.69	4083	1.00	6400	10
0.75	4085	0.75	4085	1.00	6403	11
0.78	4405	0.78	4405	1.00	6419	12
0.81	4627	0.81	4627	1.00	6461	13
0.84	4947	0.84	4947	1.00	6468	14
0.86	5151	0.87	5302	1.00	6478	15
0.87	5302	0.86	5151	1.00	6502	16
0.89	5471	0.89	5471	1.00	6527	17
0.90	5760	0.92	6019	1.00	6529	18
0.92	5826	0.92	5826	1.00	6537	19
0.92	6019	0.90	5760	1.00	6539	20
0.93	6115	0.93	6115	1.00	6553	21
1.00	6163	1.00	8074	1.00	6554	22
		0.99	7638	1.00	6563	23
		0.99	7578	1.00	6571	24
		0.99	7141	1.00	6573	25
		0.98	6852	1.00	6613	26
		0.96	6664	1.00	6615	27
		0.96	6593	1.00	6632	28
		0.95	6375	1.00	6639	29
		0.95	6304	1.00	6654	30
				1.00	6656	31
				1.00	6681	32
				1.00	6691	33

Tableau 7-4 : Apport de la sous-traitance

#### 7/2.4.2. Contradictions du nouveau système

La Figure 7–16 récapitule les poids des variables par rapport à l'objectif, obtenus par la méthode d'analyse discriminante SVM. On identifie l'importance de la sous-traitance et la contradiction physique sous-jacente par rapport à ce paramètre : la sous-traitance partielle résout le TS mais à tendance à augmenter le coût. On rajoute une contradiction liée au paramètre sous-traitance. La valeur de poids 0 pour toutes les variables de nombre de véhicules sur le TS indique que ces variables d'action ne permettent pas de discriminer les cas où le TS atteint l'objectif et ceux où il ne l'atteint pas ; ainsi ces paramètres ne participeront pas à une contradiction. De plus l'analyse des effets montre qu'ils n'ont pas d'effet. Ainsi, sur ce système les contradictions physiques impliquant les PA « nombre de véhicules » disparaissent puisqu'on sait arriver systématiquement à  $TS=1$ . Remarquons cependant que nous avons fait l'hypothèse forte que la sous-traitance permettait pour les demandes sous-traitées de répondre positivement au taux de satisfaction. Pour que cette hypothèse soit réaliste il faut adjoindre une gestion anticipée des déplacements.

Si l'on décide de travailler partiellement avec une sous-traitance, notre problème revient à un problème d'optimisation monovariable.

CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

PA	Poids sur TS	Poids sur coût
ST=NON	-10	10
ST=Partielle	10	-10
9P=1	0	3
9P=2	0	3
9P=3	0	6
9P=4	0	10
9P=5	0	7
9P=6	0	4
9P=7	0	-4
9P=8	0	-10
9P=9	0	-10
9P=10	0	-10
5P=1	0	5
5P=2	0	2
5P=3	0	-3
5P=4	0	-4
4P=1	0	1
4P=2	0	-1
7P=1	0	6
7P=2	0	3
7P=3	0	-4
7P=4	0	-5

Figure 7–16 : Poids obtenus par la méthode SVM pour le système mutualisé avec sous-traitance

Si l'on veut continuer le processus d'amélioration plusieurs options s'offrent à nous :

- Travailler sur la compréhension de la situation de sous-traitance et détailler les facteurs qui influencent le coût.
- Détailler les facteurs de non sous-traitance qui influencent le coût et aborder le problème d'optimisation monocritère.
- Détailler l'objectif coût en plusieurs sous-éléments qui le constituent. Ainsi on peut transformer le problème mono-objectif (cout global) en problème multi-objectifs (composantes du coût). Sur ce problème on peut chercher à identifier le Pareto et les systèmes de contradiction.

### 7/2.4.3. Remarques complémentaires

L'analyse du concept de solution sous-traitance a permis d'explorer différentes pistes : de la situation où l'on réduit la flotte au maximum en externalisant complètement ce type de transports à celle où l'on a recours à des solutions hybrides dans lesquelles les transports qui ne peuvent être réalisés avec la flotte dont nous disposons, sont externalisés.

Nous avons ainsi pu analyser la variation du coût en fonction de ces différentes solutions. Comme évoqué plus haut, une telle solution induirait que le modèle de gestion soit adapté, car il nécessiterait la connaissance d'un ensemble de fournisseurs à même de répondre au besoin de véhicule, ainsi qu'une véritable gestion interne qui serait organisée pour recevoir les demandes de véhicules et de s'assurer que des véhicules extérieurs soient disponibles. Cela nécessiterait également que les demandes parviennent suffisamment tôt pour que ce traitement ait lieu.

## **7/2.5. Apport du surclassement à la mutualisation au TS et au Coût**

### 7/2.5.1. Apports de la solution

La Figure 7–17 compare les Pareto de la solution mutualisée seule et celle obtenue lorsque l'on utilise la possibilité de surclassement. L'influence n'est pas systématique, parfois l'amélioration concerne le Coût, parfois le TS parfois les deux. La Figure 7–18 qui précise sur les points du Pareto global mutualisé avec surclassement ceux qui font appel ou non au surclassement. On constate bien l'importance du surclassement surtout à partir de  $TS=0.9$  où les solutions sans surclassement sont absentes, ce qui signifie que dans cette zone les solutions du Pareto avec surclassement dominant systématiquement celles du Pareto sans surclassement.

CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

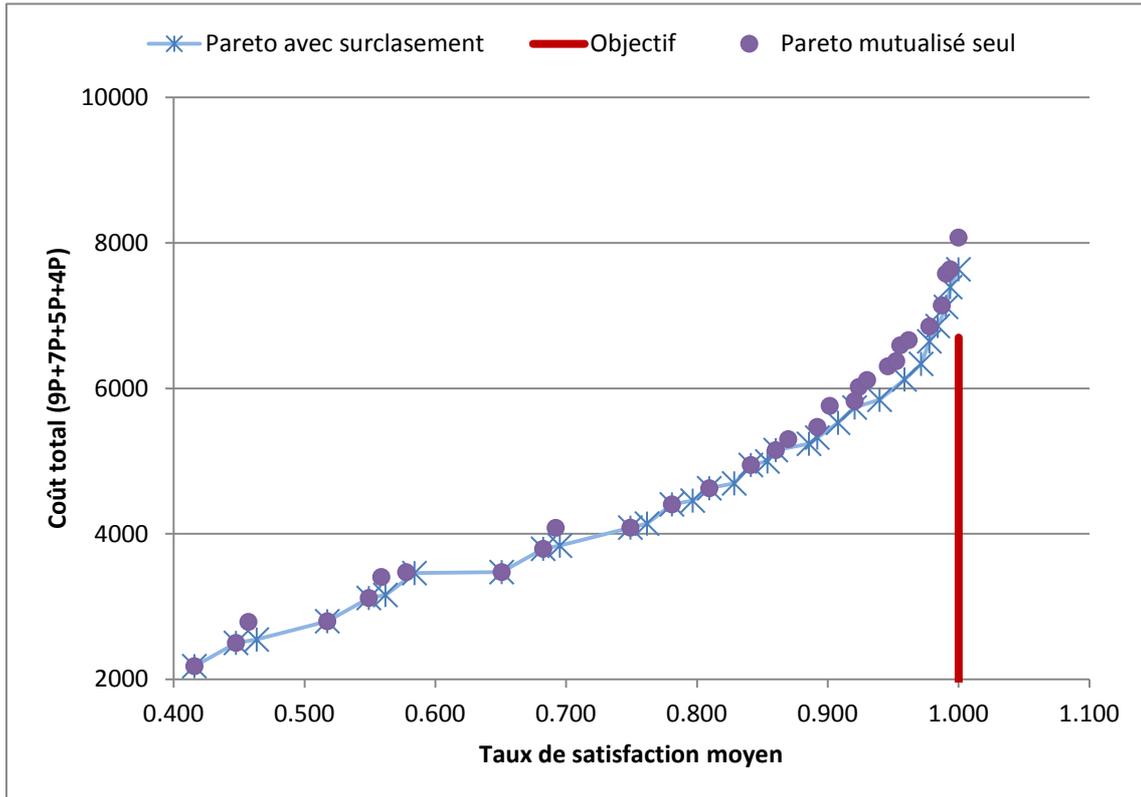


Figure 7-17 : Apport du surclassement sur le TS et le Coût

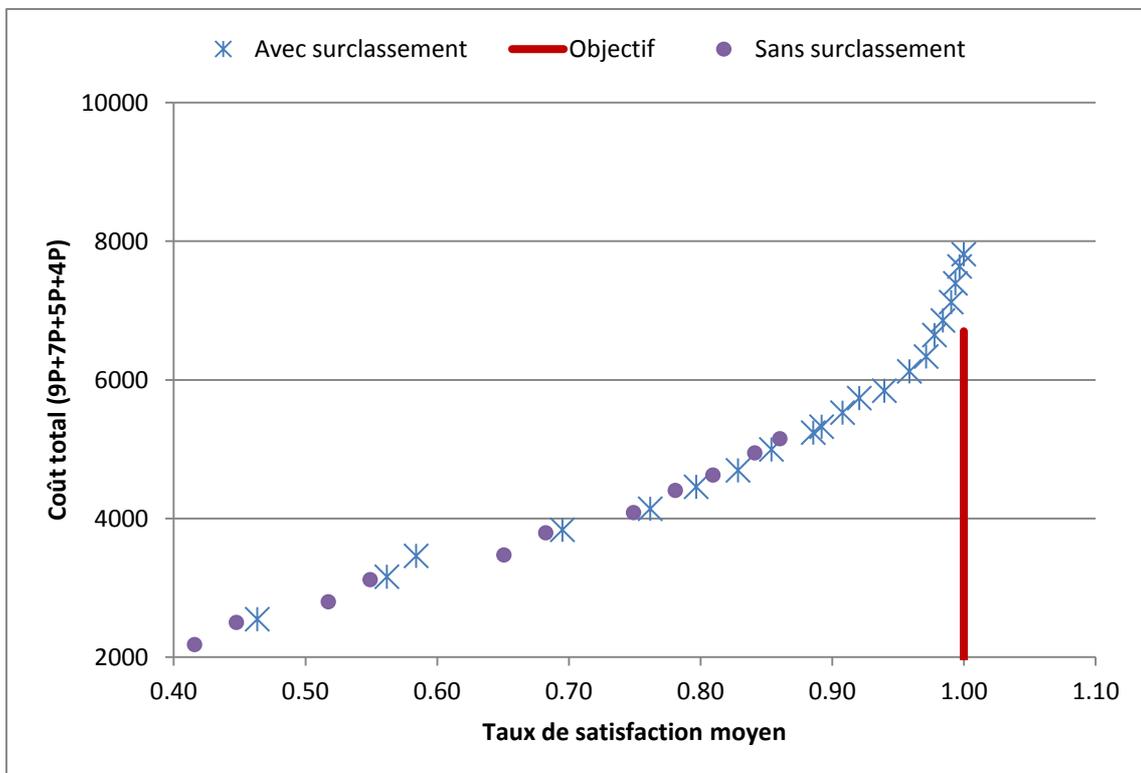


Figure 7-18 : Composants du Pareto global Mutualisé + surclassement

### 7/2.5.2. Contradictions des solutions

Pour traiter cette question nous proposons d'analyser le Pareto global obtenu dans la section précédente (cf. Figure 7–18). Les Figure 7–19 et Figure 7–20 ci-dessous donnent les effets principaux sur le TS du Pareto (TS, Coût) de la Figure 7–18. Ces figures montrent que le surclassement a un effet global positif sur le TS et sur le Coût. Il ne semble pas y avoir de contradiction supplémentaire venant du surclassement seul.

En revanche on observe pour les véhicules 5P que le passage de 1 à 2 véhicules diminue le coût mais augmente le TS. Un nouveau système de contradiction semble apparaitre puisque jusqu'à présent la contradiction s'énonçait plutôt : lorsque le nombre de véhicule augmente, le TS augmente mais le coût se détériore. En fait lorsque l'on analyse les résultats, on constate que cette « contradiction formelle de type TRIZ classique » n'est pas à considérer comme une contradiction. En effet le phénomène observé n'est pas lié au seul changement de 5P, mais il s'explique essentiellement par le changement conjoint de la valeur des véhicules 9P : ainsi dans ces situations l'on augmente bien la part du coût total par l'augmentation du nombre de 5P, mais on diminue d'une quantité plus importante le coût total en diminuant le nombre de 9P ! Nous ne validons pas cette contradiction. Par ailleurs l'analyse SVM (Figure 7–22) montre que les variables qui sont les plus importantes pour expliquer les contradictions sont les variables 9P et 7P.

CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

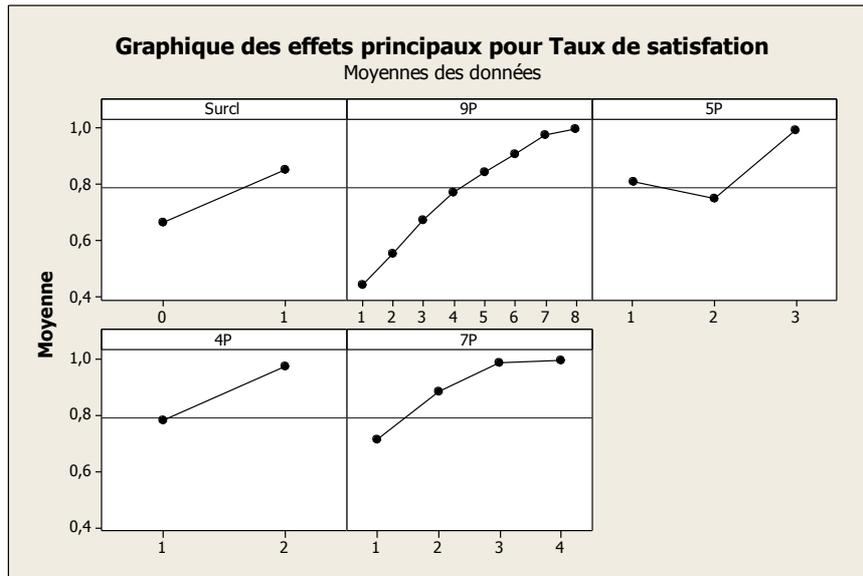


Figure 7-19 : Effets principaux sur le TS du Pareto (TS, Coût) gestion mutualisée avec surclassement

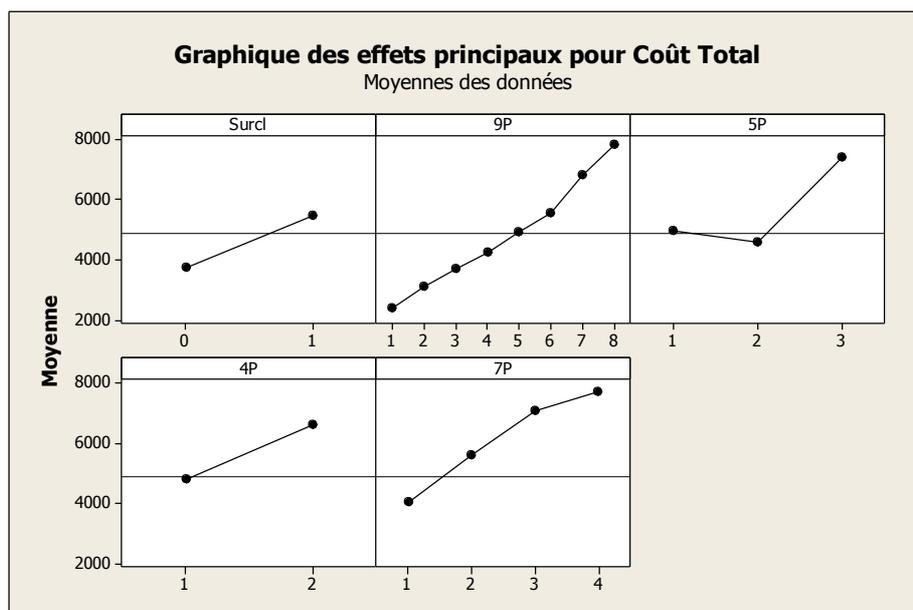


Figure 7-20 : Effets principaux sur le Coût du Pareto (TS, Coût) gestion mutualisée avec surclassement.

Sur-classement	9P	5P	4P	7P	Taux de satisfaction	Coût Total
0	1	1	1	1	0.416	2181
0	1	2	1	1	0.448	2501
1	1	2	1	1	0.463	2546
0	2	1	1	1	0.517	2798
0	2	2	1	1	0.549	3118
1	2	2	1	1	0.562	3159
1	2	1	1	2	0.584	3460
0	3	1	1	1	0.651	3474
0	3	2	1	1	0.683	3794
1	3	2	1	1	0.695	3836
0	4	1	1	1	0.749	4085
1	4	1	1	1	0.762	4141
0	4	2	1	1	0.781	4405
1	4	2	1	1	0.797	4457
0	5	1	1	1	0.810	4627
1	5	1	1	1	0.829	4694
0	5	2	1	1	0.841	4947
1	5	2	1	1	0.854	4995
0	6	1	1	1	0.860	5151
1	6	1	1	1	0.886	5239
1	5	1	1	2	0.892	5324
1	6	2	1	1	0.908	5527
1	7	1	1	1	0.921	5737
1	6	1	1	2	0.940	5843
1	6	2	1	2	0.959	6123
1	7	1	1	2	0.971	6337
1	7	1	2	2	0.978	6646
1	7	1	1	3	0.984	6858
1	7	2	1	3	0.990	7121
1	7	3	1	3	0.994	7393
1	7	2	1	4	1.000	7637

Figure 7–21 : Table des PA, PE du Pareto (TS,Coût) dans le cas du surclassement

PA	Poids sur TS	Poids sur coût
Surcl	0.3	-0.6
9P	4.2	-7.3
5P	0.0	-1.5
4P	0.0	0.6
7P	11.9	-5.4

Surclassement=0\_1 sur Pareto TS Cout

PA	Poids sur TS	Poids sur coût
Surcl=0	-0.7	0.5
Surcl=1	0.7	-0.5

9P=1	-0.2	0.6
9P=2	-0.3	0.6
9P=3	-0.2	0.6
9P=4	-0.3	0.6
9P=5	-0.3	0.6
9P=6	-0.3	1.1
9P=7	0.6	-1.3
9P=8	1.0	-2.6

5P=1	-0.1	0.7
5P=2	0.1	0.1
5P=3	-0.1	-0.7

4P=1	0.1	-0.4
4P=2	-0.1	0.4

7P=1	-1.4	5.8
7P=2	-0.4	5.3
7P=3	-0.2	-5.6
7P=4	2.0	-5.6

Figure 7–22 : Poids des variables sur les objectifs obtenus par la méthode SVM. (TS=1 ; Coût<6700)

### 7/2.5.3. Remarques complémentaires

L'identification potentielle d'une contradiction non pertinente avec l'analyse des effets principaux peut s'expliquer et des conséquences méthodologiques peuvent en être tirées. Le phénomène observé (la contradiction non pertinente) était déjà présent dans les autres solutions même dans la solution initiale mutualisée mais n'avait pas été identifiée par les outils d'analyse des effets car nous avons toujours analysé l'ensemble des données du plan d'expérience pour analyser les effets. Ainsi l'effet moyen des autres variables était fixe et l'on pouvait observer l'effet global de la variable 5P seule car il n'y avait pas d'interaction entre les variables nombre de véhicules.

Cet exemple montre qu'il faut être prudent sur l'interprétation des contradictions à partir des données et surtout bien préciser le contexte dans lequel elle est énoncée. Cet exemple montre aussi que l'objectif global n'était peut être pas formulé au mieux pour l'analyse du problème. Si l'objectif coût global est bien clair, l'analyse des contradictions aurait pu se faire en transformant l'objectif global de coût en différents sous objectifs de coût pour chaque type de véhicules.

Du point de vue du cas d'étude, cette analyse apporte encore des éléments complémentaires et conforte la nécessité d'adapter une organisation propre dédiée à la gestion de la flotte.

## **7/2.6. Apport conjoint des trois principes au TS et Coût**

### **7/2.6.1. Apport des solutions**

La Figure 7–23 montre l'apport sur les performances de l'utilisation des 3 principes. Le Tableau 7-5 complète cette information en donnant également les valeurs des paramètres d'action qui causent ces performances. Du point de vue des performances on constate bien que les principes de solution proposés améliorent la solution mutualisée. De plus toutes les solutions du Pareto répondent au critère de coût. Pour ce qui est des PA on constate que la solution qui répond aux critères est une solution sans surclassement, sans marge mais avec appel partiel à la sous-traitance. Remarquons également que c'est la seule solution du Pareto qui fasse appel à la sous-traitance. Le nombre de véhicules de cette solution est relativement faible, puisqu'il divise respectivement par 2, 3, 2 et 3 le parc des 9P, 5P, 4P et 7P de la solution mutualisée.

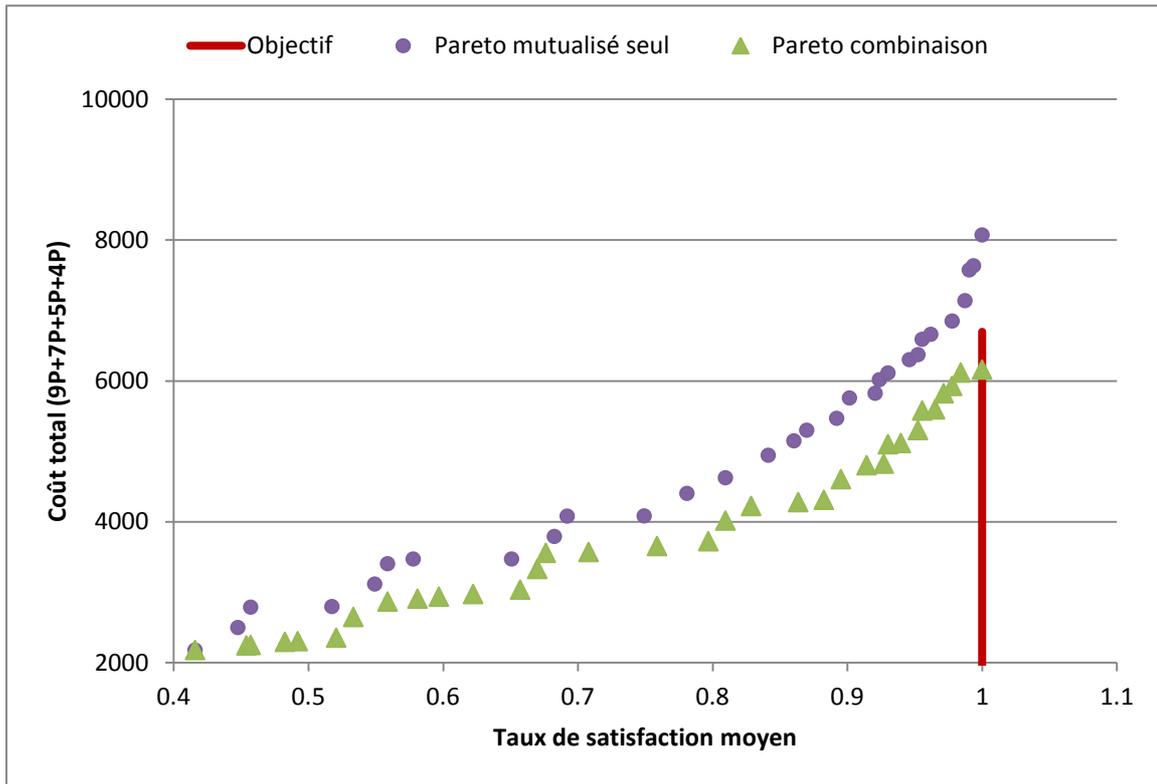


Figure 7-23 : Comparaison du Pareto (TS, Coût) mutualisée versus utilisation des 3 principes de résolution de la contradiction.

CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

Gestion Mixte=avec sous-traitance	Surclassement 0= pas de surclassement	Marge (mn)	9P	5P	4P	7P	Taux de satisfaction	Coût Total
Sans st	0	0	1	1	1	1	0.42	2181
Sans st	0	120	1	1	1	1	0.45	2246
Sans st	0	30	1	1	1	1	0.46	2252
Sans st	0	60	1	1	1	1	0.48	2297
Sans st	0	180	1	1	1	1	0.49	2307
Sans st	0	240	1	1	1	1	0.52	2357
Sans st	0	240	1	2	1	1	0.53	2651
Sans st	0	30	2	1	1	1	0.56	2870
Sans st	0	120	2	1	1	1	0.58	2910
Sans st	0	60	1	1	2	2	0.60	2938
Sans st	0	180	2	1	1	1	0.62	2977
Sans st	0	240	2	1	1	1	0.66	3038
Sans st	0	240	2	2	1	1	0.67	3332
Sans st	0	240	2	1	1	2	0.68	3561
Sans st	0	60	2	3	2	2	0.71	3573
Sans st	0	180	3	1	1	1	0.76	3658
Sans st	0	240	3	1	1	1	0.80	3726
Sans st	0	240	3	2	1	1	0.81	4019
Sans st	0	120	4	1	1	1	0.83	4226
Sans st	0	180	4	1	1	1	0.86	4281
Sans st	0	240	4	1	1	1	0.88	4314
Sans st	0	240	4	2	1	1	0.90	4607
Sans st	0	180	5	1	1	1	0.91	4805
Sans st	0	240	5	1	1	1	0.93	4827
Sans st	0	180	5	2	1	1	0.93	5103
Sans st	0	240	5	2	1	1	0.94	5120
Sans st	0	240	6	1	1	1	0.95	5304
Sans st	0	180	6	2	1	1	0.96	5581
Sans st	0	240	6	2	1	1	0.97	5598
Sans st	0	240	6	1	1	2	0.97	5826
Sans st	0	240	6	2	2	1	0.98	5931
Sans st	0	240	6	2	1	2	0.98	6120
Mixte	0	0	4	1	1	1	1.00	6163

Tableau 7-5 : Solutions du Pareto avec l'utilisation des 3 principes

7/2.6.2. Contradiction des solutions

Les solutions ont permis d'atteindre l'objectif, il n'y a pas de contradiction par rapport à l'objectif initial. Notre commentaire porte ici sur l'interprétation de la résolution des contradictions physiques initiales portant sur le nombre de véhicules par ces principes de solution. Pour les véhicules 9P, 5P, 4P et 7P, la contradiction portait sur le fait que le nombre de véhicules devait être grand et petit, ou du moins à deux extrémités d'un intervalle pour atteindre l'objectif. Ainsi pour les véhicules 9P, les deux extrêmes de la solution sans mutualisation étaient 1 et 10, pour la solution mutualisée l'écart s'est réduit entre 1 et 8, puis pour la combinaison entre 1 et 4.

Pour les autres véhicules les deux extrêmes entre les solutions étaient 1 et n au départ et dans la solution finale cet intervalle s'est réduit à 1 et 1 c'est-à-dire qu'on a résolu la contradiction physique puisqu'il n'y a plus besoin de 2 valeurs pour résoudre le problème.

### 7/2.6.3. Remarques complémentaires

Du point de vue du changement de la gestion de la flotte, nous constatons que la solution vers laquelle tendent nos simulations est finalement un concept de solution relativement simple : la mutualisation de la flotte avec un recours partiel à la sous-traitance.

Comme énoncé plus haut, il serait intéressant, dans la prochaine étape, d'investiguer la faisabilité d'une telle solution dans le contexte en particulier géographique du Sonnenhof (y-a-t-il suffisamment de fournisseurs à proximité et sont-ils suffisamment réactifs ?)

L'analyse de ces différents concepts de solutions permet de mettre en avant une dimension relativement récurrente dans les analyses utilisant TRIZ ou OTSM-TRIZ : celle du nécessaire changement de modèle. En effet, le principe de la résolution de la contradiction revient à positionner, ou tout du moins à analyser le système d'un point de vue dans lequel la contradiction n'existe plus ou n'est plus problématique. Toutefois peu, voire aucun outil, ne permet de piloter ce changement de modèle.

L'exemple que nous venons de déployer nous permet de défendre que nous disposons là, *a minima*, de ressources voire d'outils permettant d'être acteur de ce changement de modèle.

La dernière étape celle, dans laquelle nous avons combiné l'ensemble des solutions potentielles, nous a même permis de stabiliser le regard que nous portons sur le système : des multiples vues (ou modèle de système) que nous avons générées qu'elle est celle la plus pertinente pour notre analyse ?

Une remarque complémentaire porte sur la description que l'on peut faire de l'activité « résoudre la contradiction ». Dans les faits, nous modifions la représentation de notre compréhension du problème afin de trouver des situations (*i.e.* des concepts

de solutions) telles qu'il n'y ait pas de situation contradictoire. Dans notre cas (en simplifiant quelque peu le propos afin de favoriser la pédagogie de l'exemple), nous avons au départ formulé que le Sonnenhof souhaitait disposer d'un nombre important de véhicules afin d'avoir un taux de satisfaction de 1 et en même temps de disposer de peu de véhicules afin de diminuer les coûts. Le concept de solution auquel nous aboutissons n'est plus une contradiction au niveau des CT : le taux de satisfaction est de 1 et le coût inférieur au coût objectif, mais plus non plus au niveau des CP : le nombre de véhicules dont doit disposer le Sonnenhof est de 7 (cf. Tableau 7-5). Par contre, nous avons intégré un deuxième paramètre d'action : la quantité de véhicules auxquels le Sonnenhof peut faire appel à l'extérieur de la structure. Ainsi, suite aux différents changements de modèles, la formulation de départ a évolué pour mettre en évidence que la relative méconnaissance du système ou tout du moins l'incapacité au moins partielle à formuler finement le problème, était un frein à la génération de solutions. Dans les faits, le Sonnenhof n'a pas besoin de posséder beaucoup de véhicules. Il a besoin d'avoir accès à beaucoup de véhicules de transport au moment où il en a besoin.

Une fois le changement de formulation fait, il paraît trivial. Mais au commencement de l'analyse il ne l'est pas sinon nous n'aurions pas de contradiction à formuler.

D'où l'intérêt qu'il y a à disposer des démarches de pilotage du changement de modèle.

### **7/2.7. Analyse du problème avec les 3 objectifs TS, Coût et GES**

Durant l'étude, nous avons mené en parallèle et séparément l'analyse avec tous les objectifs en traitant le parc des véhicules 9P seul et l'ensemble du parc 9P, 5P, 4P 7P. Nous présentons ici l'analyse globale.

Nous distinguons deux mesures différentes de performance du GES, celle que nous appelons dans les tableaux « GES1&2 » qui concerne les émissions du scope 1&2 du BEGES, et les émissions notées « GES Total » qui rajoutent les émissions du scope 3 du BEGES.

D'un point de vue méthodologique, comme nous avons 4 variables d'évaluation, il devient difficile d'exprimer les performances dans un graphique représentant l'espace des performances. Nous avons donc dans cette partie, utilisé les outils de la démarche présentée au § 6/3. Nous commençons par l'analyse de la solution mutualisée que nous améliorons à partir de l'analyse des contradictions.

### 7/2.7.1. Analyse de la solution mutualisée

La matrice des solutions performances binarisée, pour la solution mutualisée, est résumée sur la Figure 7–24. *A priori* comme nous avons 4 paramètres d'évaluation de performances PE, on aura au plus  $2^4 = 16$  performances binaires différentes. Nous constatons sur la Figure 7–24 qu'il n'y en en fait que 4. Si l'on prend le Pareto de cet ensemble il ne reste plus que les deux premières lignes qui constituent des contradictions techniques généralisées. Ces contradictions opposent chacune le taux de satisfaction (TS) avec les trois autres paramètres. Ces contradictions s'interprètent facilement. En effet pour CT1 lorsque le TS=1 le coût et les GES ne répondent pas à l'objectif par construction de l'objectif, puisqu'on s'est fixé de réaliser un TS=1 et d'améliorer de 30% les autres performances.

Performances binarisées en fonction de l'objectif					
Pareto binaire =0	Taux de satisfaction	Coût Total	GES 1&2	GES Total	
0	0	1	1	1	CT2
0	1	0	0	0	CT1
1	0	1	0	0	
1	0	0	0	0	

Figure 7–24 : Solutions binarisées en fonction de l'objectif (1=atteint)

CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

A ce stade de l'analyse nous n'avons qu'un seul type de paramètre d'action à savoir le nombre de véhicules 9P, 4P, 7P, 5P. L'analyse SVM permet de préciser les valeurs liées à la contradiction physique. Les résultats sont qualitativement similaires à ceux obtenus sur l'analyse TS/Coût. Pour cette raison nous avons dans un premier temps étudié les solutions proposées lors de l'étude sur le deux PE : TS et Coût.

Mutualisation seule sur toutes les données				
PA	Poids sur TS	Poids sur coût	Poids sur GES 1&2	Poids sur GES Total
9P=1	-3	15	15	12
9P=2	-3	15	15	12
9P=3	-3	15	-3	-3
9P=4	-3	14	-4	-3
9P=5	-3	8	-4	-3
9P=6	-3	0	-4	-3
9P=7	2	-9	-4	-3
9P=8	4	-16	-4	-3
9P=9	4	-20	-4	-3
9P=10	4	-22	-4	-3
5P=1	-3	7	0	1
5P=2	-3	1	0	0
5P=3	3	-2	0	0
5P=4	3	-6	0	0
4P=1	-3	4	0	0
4P=2	3	-4	0	0
7P=1	-5	10	1	0
7P=2	1	3	0	0
7P=3	2	-3	0	0
7P=4	2	-9	0	0

Figure 7–25 : Analyse SVM de la solution mutualisée.

### 7/2.7.2. Analyse de la solution avec sous-traitance

La démarche reste la même que pour la section précédente. Tout d'abord la matrice des performances regroupant les solutions mutualisées et les solutions faisant appel à la sous-traitance est calculée. On y observe cette fois 7 solutions binaires différentes sur les 16 possibles. Il ne reste que deux contradictions techniques qui ont évolué par rapport à celles de la Figure 7–24 (mutualisation seule). En effet, la contradiction notée CT2 est identique dans les deux cas, mais la contradiction CT1 a évolué. On voit que la sous-traitance permet de résoudre le conflit initial du TS avec

le coût et le GES 1&2 mais pas avec le GES total. Notons que cette contradiction technique entre le TS et le GES reste avéré pour les autres propositions de solution (surclassement et marge). L'ajout du paramètre Marge règle le conflit TS/Coût mais pas le conflit TS/GES.

Pareto binaire =0	Performances binarisées en fonction de l'objectif				
	Taux de satisfaction	Coût Total	GES 1&2	GES Total	
0	0	1	1	1	CT2
0	1	1	1	0	CT1
1	1	1	0	0	
1	1	0	1	0	
1	0	1	0	0	
1	1	0	0	0	
1	0	0	0	0	

Figure 7–26 : Performances binarisées et contradictions techniques lorsque l'on fait appel à la sous-traitance

Pour tenter de comprendre cette contradiction nous avons réalisé l'analyse SVM de l'ensemble des solutions (Figure 7–27) puis de celles faisant appel à la sous-traitance seulement (Figure 7–28). La Figure 7–27 montre que la sous-traitance influence positivement le TS mais a une influence négative sur le coût et le GES total, mais n'a quasiment pas d'influence sur le GES1&2. Le poids de sous-traitance sur le GES est cohérent avec ce qu'on connaît du système. En effet, comme il faut réaliser la même demande que l'on sous-traite ou non, les émissions de GES totales seront identiques dans les deux cas (à type de véhicule constant) ; en revanche les émissions GES1&2 seront plus faibles puisque les émissions des véhicules du sous-traitant (externe) seront comptabilisées dans le scope 3. On peut, dès lors, comprendre pourquoi la sous-traitance arrive à baisser suffisamment le coût et le GES1&2 par rapport à la solution sans sous-traitance pour atteindre les objectifs fixés, sans pour autant diminuer le GES total. Cette contradiction technique est contextuelle et liée à la sous-traitance, c'est pourquoi nous avons réalisé l'analyse

## CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

SVM des solutions autorisant l'appel à la sous-traitance pour rechercher les contradictions physiques associées (Figure 7-28). L'influence sur le TS et le Coût ont déjà été commentés dans le paragraphe 7/2.4.2. Nous nous focalisons ici sur l'influence des PA sur le GES total. On observe qu'à l'instar du TS, les PA de notre modèle n'ont plus d'influence sur le GES total. L'observation des données le confirme, puisque la valeur du GES total est, comme nous l'avons évoqué précédemment dans cette section, constante dès lors que toute la fonction est réalisée c'est-à-dire que toutes les demandes sont satisfaites ( $TS=1$ ). La conclusion de cette analyse SVM est que les paramètres d'action dont nous disposons dans notre modèle ne permettent pas d'expliquer la contradiction d'objectifs observée car ils n'influencent pas dans notre contexte le GES total ; il faut donc rechercher au moins un nouveau paramètre d'action qui influence le PE GES total. Nous avons choisi parmi les paramètres standards le type de motorisation comme nouveau facteur. L'étude est développée dans la section suivante.

sous-traitance versus non sous-traitance sur Tout					Sous-traitance seule (ST=1) sur toutes les données				
PA	Poids sur TS	Poids sur coût	Poids sur GES 1&2	Poids sur GES Total	PA	Poids sur TS	Poids sur coût	Poids sur GES 1&2	Poids sur GES Total
ST=0	-10	10	0	9	9P=1	0	-7	12	0
ST=1	10	-10	0	-9	9P=2	0	-7	12	0
					9P=3	0	0	-3	0
9P=1	0	3	16	15	9P=4	0	12	-3	0
9P=2	0	3	16	15	9P=5	0	12	-3	0
9P=3	0	6	-4	-3	9P=6	0	11	-3	0
9P=4	0	10	-4	-4	9P=7	0	0	-3	0
9P=5	0	7	-4	-4	9P=8	0	-7	-3	0
9P=6	0	4	-4	-4	9P=9	0	-7	-3	0
9P=7	0	-4	-4	-4	9P=10	0	-7	-3	0
9P=8	0	-10	-4	-4					
9P=9	0	-10	-4	-4	5P=1	0	9	1	0
9P=10	0	-10	-4	-4	5P=2	0	7	0	0
					5P=3	0	-7	0	0
5P=1	0	5	1	0	5P=4	0	-10	0	0
5P=2	0	2	0	0					
5P=3	0	-3	0	0	4P=1	0	1	0	0
5P=4	0	-4	0	0	4P=2	0	-1	0	0
4P=1	0	1	0	0	7P=1	0	11	0	0
4P=2	0	-1	0	0	7P=2	0	5	0	0
					7P=3	0	-8	0	0
7P=1	0	6	0	1	7P=4	0	-8	0	0
7P=2	0	3	0	0					
7P=3	0	-4	0	0					
7P=4	0	-5	0	0					

Figure 7–27 : Analyse SVM de la sous-traitance et mutualisée

Figure 7–28 : Analyse SVM des solutions faisant appel à la sous-traitance

### 7/2.7.3. Apport du type de motorisation

Pour réaliser l'étude nous avons choisi de pouvoir changer la motorisation des véhicules du parc ou ceux sous-traités. Nous avons étudié les scénarios suivants : la possibilité d'un parc diesel, d'un parc diesel avec une sous-traitance électrique, d'un parc électrique, et d'un parc électrique avec des sous-traitances électriques.

La Figure 7–29 montre l'apport des véhicules électriques à la solution mutualisée. Les objectifs pour le GES sont atteints, mais la contradiction initiale entre le TS et le Coût demeure. Comme le montre la Figure 7–30, l'utilisation de la sous-traitance permet de résoudre la contradiction TS/Coût sans dégrader l'apport du véhicule électrique sur le GES. Notons que l'on peut arriver au même résultat en utilisant la marge ou en combinant marge, sous-traitance et surclassement. Toutes les contradictions liées aux objectifs initiaux sont traitées. L'analyse détaillée des

CHAPITRE 7 Gestion des véhicules du Sonnenhof (II) : analyse par les contradictions

performances des solutions, montre qu'on peut atteindre les objectifs de service et de coût tout en réduisant les émissions totales d'un facteur 20 environ<sup>19</sup>. L'objectif 2050 en termes d'émissions GES pour cette source peut être atteint largement en maintenant le taux de satisfaction actuel et en réduisant les coûts.

Pareto binaire =0	Performances binairisées en fonction de l'objectif				
	Taux de satisfaction	Coût Total	GES 1&2	GES Total	
0	0	1	1	1	CT2
0	1	0	1	1	CT1
1	0	0	1	1	
1	0	1	0	0	
1	1	0	0	0	
1	0	0	0	0	

Figure 7–29 : Résumé des solutions mutualisées lorsque l'on peut utiliser des véhicules électriques.

Pareto binaire=0	Performances binairisées en fonction de l'objectif			
	Taux de satisfaction	Coût Total	GES 1&2	GES Total
0	1	1	1	1
1	0	1	1	1
1	1	0	1	1
1	0	0	1	1
1	1	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	0	1	0	0
1	1	0	0	0
1	0	0	0	0

Figure 7–30 : Résumé des familles de solutions lorsque l'on peut sous-traiter et utiliser des véhicules électriques.

<sup>19</sup> A noter que ces résultats sont atteints avec des véhicules électriques en France. Les résultats seraient beaucoup moins favorables avec des véhicules électriques en Allemagne car le contenu carbone du mix électrique en Allemagne est plus important (environ 400g CO2eq/kWh contre 70g CO2eq/kWh).

#### 7/2.7.4. Remarques complémentaires

Durant les analyses précédentes, une question a émergé : la diminution des émissions de GES. Au départ, le montant des émissions totales est toujours le même quel que soit le concept de solution simulé puisque les GES sont calculés sur le nombre de kilomètres réalisés et non sur le nombre de véhicules et qu'aucun PA n'agissait sur la modification directe des émissions de GES. En continuant l'analyse avec le groupe de projet, des réactions ont permis d'affiner notre analyse d'une part des PE et d'autre part des PA.

Pour les PE, cet échange nous a conduits à nous rendre compte qu'il y avait en fait deux PE (GES 1+2 et GES total). Le GES total ne variait pas du moment que l'on traitait l'ensemble des demandes par les mêmes types de véhicules. Par contre, le recours à la sous-traitance ou la prise en compte des GES émis pour la fabrication des véhicules impactent le scope 3 (report du scope 1 et 2 sur le scope 3 pour la sous-traitance, augmentation du scope 3 pour la production de véhicules). Pour les PA, cet échange nous a permis de poser noir sur blanc que nous tenions effectivement déjà compte d'un PA supplémentaire, mais qui n'était pas exposé clairement : le PA du type de motorisation. Faire varier ce PA va avoir une influence directe sur les émissions de GES et fera varier le GES total (changer le type de motorisation, ou plus largement de technologie ou même simplement améliorer la performance des technologies actuelles permet d'agir directement sur les composantes des GES : données d'activités et facteurs d'émission) et le GES 1 et 2 suivant les cas (modification des véhicules du parc ou des sous-traitant).

### **7/3. Conclusion du chapitre 7**

Dans ce chapitre, nous avons conduit l'analyse de la gestion du parc de véhicules du Sonnenhof. Nous avons, pas à pas, montré de quelle manière l'analyse des données de simulation permettait d'une part, d'explicitier les différentes dimensions du problème en identifiant les contradictions avérées dans notre situation, et, d'autre part, en faisant pas à pas émerger des caractéristiques du concept de solution.

Ainsi, dans ce chapitre, nous avons montré que nous pouvions contribuer aux étapes h) Identification et structuration des problèmes et i) Elaboration des concepts de solution avec les outils que nous proposons. Nous constatons également au travers de cette expérimentation que ces deux étapes ne sont pas forcément séquentielles. En effet, c'est l'analyse conjointe des contradictions et des concepts de solution qui permettent d'avancer dans le traitement de la situation.



## Conclusion de la Partie 2

A la fin de la Partie 1, nous avons laissé en suspens certains verrous listés dans le § 3/2. du chapitre 3 auxquels nous n'avions pas pu apporter de réponses. Les travaux menés dans la partie 2 et déployés dans l'expérimentation présentée au chapitre 5 (pour l'expérimentation de la démarche présentée dans la Partie 1) et au chapitre 7 (pour le déploiement des contributions spécifiques à la Partie 2), nous conduisent aux conclusions suivantes :

- Nous confirmons que la démarche développée dans le chapitre 3 s'applique également à une situation problématique plus circonscrite.
- Les verrous en particuliers des familles 1 sur la collecte d'information et 3 sur la prise en compte des PP sont également levés.

Pour ce qui est des verrous de la famille 2 sur la structuration des problèmes :

- L'analyse et donc l'explication du système sur lequel nous travaillons est possible et pertinente.
- Nous avons pu articuler les dimensions liées au problème et des questions liées au développement de l'activité relevant des choix stratégiques de l'organisation (notion de retard, recours à l'extérieur, investissement dans de nouveaux types de véhicules...).
- Nous avons pu expérimenter et constater la valeur ajoutée de l'utilisation dialectique des contradictions et des contradictions généralisées dans la structuration des problèmes en nous appuyant sur la hiérarchisation des objectifs préalablement établie.



---

## CHAPITRE 8 . SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

---

### **8/1. Synthèse de la thèse**

Le point de départ de ce travail de recherche était l'articulation des récentes problématiques environnementales auxquelles la planète est confrontée avec des problématiques plus opérationnelles que peut avoir une organisation.

Nous sommes partis du constat que si les cadres légaux existent au niveau international, national ou local, des outils de cadrage à l'échelle des organisations existaient également (outils normatifs par exemple). Ces points ayant été développés dans le premier chapitre, nous en avons conclu que, s'il était clair pour une organisation de « ce qu'il y avait à faire », le « comment le faire » l'était beaucoup moins.

Ceci nous a conduits au deuxième chapitre de notre mémoire, dans lequel nous avons abordé les problématiques de conception. Ce champ, largement développé aujourd'hui, nous a permis de structurer trois dimensions importantes pour notre recherche : celle de la prise en compte de la structuration des problèmes, celle de la prise en compte de l'incertitude et celle de la prise en compte des parties prenantes (PP).

Ces deux premiers chapitres nous ont permis de positionner notre travail de recherche par rapport à des travaux antérieurs menés sur l'IEPCT au sein du laboratoire (Mirakyan, 2014). Dans le chapitre 3, nous avons ainsi pu nous positionner par rapport à l'IEPCT et conclure que par rapport aux déficits méthodologiques pointés aux chapitres 1 et 2, notre propre contribution se situait dans la phase I de préparation et d'orientation de l'IEPCT insuffisamment développée et non conçue pour une analyse à l'échelle d'une organisation.

Nous avons ainsi, d'une part listé les verrous auxquels nous voulions répondre, et d'autre part présenté une démarche globale permettant de réaliser de manière plus

performante la phase I. La démarche emprunte le cadre général de l'IEPCT pour les villes et territoires et est adaptée en intégrant les outils du Bilan Carbone® pour les organisations. Les verrous identifiés au chapitre 3 relevaient de trois familles : la collecte d'informations, la structuration des problèmes et la prise en compte des parties prenantes.

Comme nous l'avons identifié dans notre état de l'art du chapitre 2, puis vérifié quand nous avons déployé notre démarche sur une situation réelle, nous avons fait émerger une seconde problématique et donc un nouveau verrou encapsulé dans le verrou de la famille 2 de structuration des problèmes : celui de l'identification des contradictions.

Compte tenu des travaux antérieurs menés au sein du laboratoire (Lin, 2016), nous avons fait le choix d'investiguer la problématique de l'identification des contradictions à partir des données. Ainsi dans le chapitre 6, nous avons présenté de manière détaillée les concepts de contradiction technique, physique et système de contradictions pour en montrer d'abord la compréhension restrictive mais communément utilisée. Nous avons ainsi présenté largement le concept de contradiction généralisée, et plus particulièrement de contradiction technique généralisée (CTG) et de contradiction physique généralisée (CPG). Puis nous avons présenté les moyens que nous proposons d'utiliser pour identifier les CTG entre 2 paramètres d'évaluation, entre plus de 2 paramètres d'évaluation, et pour identifier les CPG. La partie applicative de cette recherche a été menée avec la Fondation Protestante du Sonnenhof située à Bischwiller (67, Bas-Rhin), structure d'accueil de personnes en situation de handicap. Le Sonnenhof était confronté à une problématique d'évolution de son schéma énergétique et de questionnement de ses émissions GES.

Ainsi, l'application de nos contributions s'est faite en deux temps. Dans un premier temps (chapitre 4), nous avons déployé notre démarche telle que présentée au chapitre 3 sur la question générale de la planification énergétique de l'organisation. Nous avons avec succès déployé les premières étapes permettant de cadrer et de structurer la question de manière intelligible pour l'organisation. Toutefois, compte

tenu du calendrier à la fois du Sonnenhof pour mener certaines études et de la thèse elle-même, nous avons fait le choix de travailler dans un second temps sur une problématique, celle de la gestion de la flotte de véhicules, pour laquelle nous disposions de données à analyser. Cela nous a permis non seulement de tester l'entièreté de notre démarche, mais également de déployer l'approche d'identification des contradictions à partir des données (chapitre 7).

Ces travaux nous ont permis de conclure dans la partie 1 et dans la partie 2, que au regard des deux expérimentations menées, les démarches que nous avons proposé (respectivement aux chapitres 3 et 6), nous permettaient de lever l'ensemble des verrous identifiés.

## **8/2. Discussion et perspectives**

### **8/2.1. Discussion sur la démarche globale**

La démarche globale que nous proposons s'articule autour de 8 étapes :

- a) Identification du périmètre de l'étude
- b) Identification des PP
- c) Identification du système
- d) Elaboration de la politique
- e) Identification et structuration des objectifs
- f) Hiérarchisation des objectifs
- g) Identification des barrières
- h) Identification et structuration des problèmes
- i) Elaboration des concepts de solution

Dans le cadre de cette thèse, cette démarche a été déployée deux fois : partiellement sur la problématique de la planification énergétique du Sonnenhof et complètement sur celle de la gestion de la flotte de véhicules. Le bémol à apporter à ces expérimentations est qu'elles n'ont pas pu être conduites complètement en situation réelle, et ce pour trois raisons principales :

- Tout d'abord un décalage de rythme entre celui de la recherche et celui du Sonnenhof, la plupart du temps désynchronisé (sur certaines problématiques notre temps de recherche est plus lent que le rythme du Sonnenhof ; sur d'autres, c'est l'inverse)
- Nos contributions sont des contributions méthodologiques. Il nous a donc fallu faire des allers-retours sur des données stables, non évolutives. Nous avons donc fait le choix de nous déconnecter du rythme de projet du Sonnenhof.
- La problématique à laquelle nous nous sommes attelés s'est révélée très complexe au regard de la situation spécifique du Sonnenhof. Il est aujourd'hui difficile d'articuler complètement nos travaux avec une telle masse de données, par ailleurs très hétérogène. Cette remarque explique pourquoi l'étude du Bilan Carbone® par exemple n'est pas encore obligatoire pour le scope 3. De plus pour pouvoir se projeter sur un horizon plus lointain comme celui de la feuille de route européenne (2050), il faudrait pouvoir compléter la démarche par des outils de recueil d'information concernant les technologies disponibles dans le futur, i.e. les hypothèses faites pour établir la feuille de route.

Nous avons donc pour ainsi dire conduit nos expérimentations en éprouvette, en laboratoire, tout en nous donnant les moyens de travailler sur une problématique réelle avec des données extraites de la situation effective du Sonnenhof. La perspective majeure de nos travaux est donc de déployer complètement notre démarche.

Cette expérimentation en situation réelle nous conduira sans aucun doute à formaliser de nouvelles contributions attendues en matière d'outils de capitalisation de données hétérogènes et en termes de gestion dynamique et collaborative d'outils de formalisation (type Multi-Ecrans, causal map ou means-ends objective network par exemple).

Nous pouvons aussi noter deux autres contributions et perspectives intéressantes de ces travaux.

La première concerne l'articulation de l'analyse du contexte (étapes a) à g) de notre démarche) avec la stratégie de l'organisation. Nous avons commencé à le faire, en

particulier au travers des étapes de d) à f). Toutefois, elle n'est pas encore assez formalisée. La difficulté est que certains liens sont ténus au moment où on les met en exergue. Les outils dont nous disposons aujourd'hui ne nous permettent pas de faire varier l'intensité de ce lien dans nos analyses.

La seconde perspective porte sur la prise en compte des PP. Nous avons intégré, à l'instar de nombre de méthodes une étape d'identification des PP (étape b). Identifier les PP n'est pas excessivement compliqué à faire si on se contente d'en faire une liste. La faire le plus tôt possible permet de vérifier la cohérence entre les PP impliquées et celles auxquelles le chef de projet a pensé au commencement du projet. Mais cette identification ne suffit pas. La mobilisation de la typologie de (Mitchell et al., 1997) nous a permis d'aller plus loin. Tout d'abord, la question des attributs associés à chaque PP permet véritablement de poser clairement le rôle de chacun dans le projet. De ce fait en accompagnant cette première étape par la question de l'évolution des attributs ou par la construction de coalition, nous parvenons à mieux intégrer les PP et leurs avis et besoins au projet. Toutefois, une perspective serait d'aller encore plus loin en réussissant à mieux dynamiser cette analyse et en l'associant systématiquement à toutes les étapes de la démarche.

### 8/2.2. Perspectives concernant l'identification des contradictions

L'étude présentée au chapitre 7 avait pour finalité d'explorer des moyens d'analyse de données et d'identification de contradiction à partir des données compatibles avec les méthodes de résolution de problème à partir de contradiction. L'énorme majorité des études, et c'est également le cas de la méthode empruntée à l'IEPCT, proposent d'identifier les contradictions sur la base de questionnement d'expert. Cependant, il n'est pas toujours aisé de disposer d'expert. De plus lorsqu'un système est complexe et que l'on doit faire appel à des démarches inventives pour résoudre un problème, la connaissance experte est souvent insuffisante et il devient difficile d'inférer sur l'information disponible. Lorsque l'on traite des systèmes où l'on peut obtenir de l'information à partir de simulation, on peut tenter d'identifier les éléments de

performance et lier aux contradictions le point d'entrée des méthodes de résolution de problème. La démarche proposée par (Mirakyan, 2014) ne propose pas l'utilisation de ces approches car il n'y avait pas encore d'outils disponibles. Plus tard, (Lin, 2016) propose des algorithmes génériques testés sur des cas d'école pertinents mais pas dans un contexte de projet industriel. Nous nous sommes également demandé dans le chapitre 6 dans quelle mesure certains outils exploités dans le domaine des plans d'expérience pouvaient également être employés pour orienter les changements de modèle permettant d'aller au delà des solutions optimales du système de départ. Dans cette thèse nous avons pu traiter un problème en utilisant ces approches dans un contexte de projet.

Après avoir analysé la situation, les objectifs qui nous ont été fixé étaient : l'amélioration des coûts et des émissions de GES du transport réalisé par le parc de véhicule. Compte tenu du caractère aléatoire du service, nous avons effectué une étude de simulation des flux du système initial et de la solution proposée par le Sonnenhof en vue de la valider et de l'optimiser.

Après l'étude des flux et l'optimisation des coûts, nous avons commencé à traiter les résultats de la simulation pour identifier les contradictions et proposer de nouvelles solutions plus performantes. Pour l'étude des performances (Taux de satisfaction et Coût), nous avons identifié les contradictions techniques à l'aide de la représentation du front de Pareto dans le plan de variables de performance. Les premières contradictions physiques ont été visibles sur les données et sur les graphes des effets. Après avoir identifié les contradictions physiques, trois propositions de changement de modèle ont été testées, chacune apportant des améliorations par rapport à la solution de départ. L'identification des contradictions des modèles obtenus avec diverses méthodes appelle des commentaires.

Globalement tant que l'on travaille sur deux PE, l'identification de la contradiction technique est immédiate avec les graphiques de performance. Pour l'étude des contradictions techniques à plus de deux PE, la représentation binaire des performances que nous avons colorée et la recherche du Pareto des données binaires s'est avéré extrêmement puissant et simple d'utilisation (réalisable sur un

tableur avec des macros). Dans notre étude nous n'avons pas rencontré de Pareto binaire à plus de deux lignes.

Pour l'identification des contradictions physiques, la technique de discrimination des paramètres à l'aide de l'algorithme à base d'apprentissage SVM s'est avérée très utile. L'analyse du Pareto binaire et du tableau SVM permet souvent d'identifier des contradictions physiques rapidement. Il faut cependant faire remarquer que l'analyse SVM a également des limites en termes d'interprétation : on ne dispose pas de mesure pour décider quels sont les termes qui n'ont pas d'influence quand toutes les valeurs sont petites. De même, on ne sait pas mesurer si l'échantillon dont on dispose a une taille suffisante pour conclure statiquement sur les résultats. En effet, l'étude de (Lin, 2016) a montré l'influence que peut avoir un échantillon trop faible dans les résultats. Ces questions sont les mêmes pour l'analyse des plans d'expérience mais on dispose d'outils et de connaissances générales de la statistique pour être conscient quand le problème existe. Ainsi, l'utilisation des outils d'analyse des plans d'expérience et de l'ANOVA avec ceux de l'analyse discriminante s'est avérée utile pour compléter la compréhension des analyses discriminantes et valider les conclusions.

Un autre point intéressant, autant pour la démarche SVM que pour l'analyse des effets, est qu'ils peuvent indiquer si l'on dispose bien de PA permettant d'analyser le modèle avec le principe des contradictions.

Durant l'étude nous avons pris le parti d'utiliser une approche d'analyse de données : à partir des données, des hypothèses de contradiction sont émises et leur interprétation a été faite ensuite. Certains résultats étonnant au départ ont toujours trouvé une interprétation pertinente. La démarche a permis de mieux connaître le système. De même, les solutions proposées ont été simulées car nous faisons l'hypothèse qu'elles répondaient à un principe de résolution de la contradiction posée.

Ensuite, l'étude a permis d'illustrer la notion de contradiction sous contexte. Cette notion très importante n'est pas développée explicitement dans les méthodes de recherche de contradiction. Lorsque l'on interroge des experts, ces éléments sont

difficiles à faire émerger or ils peuvent être déterminants dans la compréhension d'un problème.

Notons pour conclure ce point que les outils d'analyse sont d'une grande aide, ils orientent la réflexion, mais ne remplacent pas la démarche qualitative de résolution de problème. Ils permettent de donner des réponses claires et valides aux questions posées dans les différentes étapes de résolution du problème. Nous n'aurions pas pu fournir ces informations sans l'utilisation des outils de simulation pour l'étude des performances et des outils d'interprétation de ces résultats en termes de contradiction.

Cette approche est à tester dans l'avenir sur d'autres sources d'émission de GES et sur des systèmes plus complexes. Nous voyons ainsi émerger plusieurs perspectives intéressantes. Pour commencer il serait intéressant, maintenant que nous avons déployé entièrement notre démarche sur le secteur des transports avec des véhicules appartenant au Sonnenhof, de voir comment la démarche peut être adaptable aux autres secteurs. Les émissions du secteur des transports appartenant au Sonnenhof correspondent à environ 5% des émissions totales. Cependant on a vu à la fin de l'étude de cas du chapitre 7 que nous arrivions à proposer un concept de solution répondant aux critères multi-objectifs (coût-GES-service) en diminuant les émissions de ce poste de plus de 90%, ce qui n'est pas négligeable. L'idée maintenant serait de revenir sur le secteur le plus important pour le Sonnenhof, le secteur du bâtiment. Nous développons cette idée dans le paragraphe suivant.

Tout d'abord, le Sonnenhof (ou une organisation en sens général de terme) doit réaliser correctement son BEGES et disposer d'informations assez précises pour ne pas devoir à faire des hypothèses trop importantes sur les données. Pour le secteur du bâtiment, il est donc indispensable d'avoir une connaissance précise du patrimoine, notamment pour les organisations disposant de nombreux établissements. Le Sonnenhof n'a pas une connaissance précise de l'état et de la composition de ses bâtiments, les audits énergétiques en cours devraient permettre de réaliser un véritable état des lieux enfin d'établir le bilan global des

consommations, de connaître les caractéristiques des équipements, de l'enveloppe des bâtiments, les conditions d'exploitation des équipements et le comportement des personnels.

Ces données supplémentaires vont permettre d'enrichir la collecte des informations nécessaires à notre démarche. De plus, il va falloir ajouter dans le projet la consultation des PP déjà identifiées précédemment pour définir les objectifs à atteindre.

Pour continuer, nous pourrons procéder comme pour les véhicules, i.e. réaliser une simulation de notre modèle avec un logiciel équivalent à Witness, du moins pour les résultats qu'il doit produire, les logiciels de simulation dynamique comme Pleiades-Comfie (simulation thermique dynamique des bâtiments) répondent à ces caractéristiques. Le choix du logiciel dépendra aussi de l'analyse préliminaire et des objectifs fondamentaux à atteindre via des cibles définies (ce sont les PE qui serviront à évaluer la pertinence d'un concept de solution). Pour le secteur du bâtiment, notre base de réflexion sur les véhicules est adaptable, les PE du coût, des émissions de GES, et des fonctions liées aux usagers sont des critères qui pourront servir de base dans les études de planification énergétique. D'autres critères sont pertinents, comme bien sûr la performance énergétique (en kWh/m<sup>2</sup>/an), les réductions d'énergie (en kWh) ou le confort des usagers (°C). Selon les objectifs d'autres PE pourront être suivis comme l'éclairage naturel (avec le facteur de lumière jour (FLJ) exprimé en %) ou encore la conception architecturale (avec la compacité en m<sup>2</sup>.m<sup>-3</sup>). Une fois la simulation effectuée nous pourrons utiliser notre méthode d'identification des contradictions à partir des données dans le but d'identifier et de structurer les problèmes pour ensuite proposer des concepts de solutions. Cette logique multi-objectifs est parfaitement intégrable aux démarches en cours concernant les logiques BIM (Building Information Modeling).

Enfin comme la méthode préconisée est relativement générale son application ne semble pas limitée à la planification énergétique des organisations. On doit pouvoir l'appliquer à la démarche de Mirakyan et à l'IEPCT à l'échelle des villes et territoire

et à d'autres problèmes. Ainsi, si notre démarche a beaucoup emprunté à l'IEPCT, elle devrait également en retour permettre d'améliorer cette dernière.

# Bibliographie

- Ademe, 2012. Information CO2 des prestations de transport - Application de l'article L. 1431-3 de code des transports - Guide méthodologique.
- ADEME, 2010. Bilan Carbone ® Guide Méthodologique - Version 6.1 - objectifs et principes de comptabilisation.
- Ademe, 2009. Construire et mettre en oeuvre un Plan Climat Energie Territorial.
- ADEME, n.d. Site Bilans GES [WWW Document]. URL <http://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/contenu/index/page/art75/siGras/0> (accessed 7.18.17).
- Aguirre, F., Sallak, M., Schon, W., 2013. Incertitudes aléatoires et épistémiques, comment les distinguer et les manipuler dans les études de fiabilité ?, in: QUALITA2013.
- Ahmed, S., Elsholkami, M., Elkamel, A., Du, J., Ydstie, E.B., Douglas, P.L., 2015. New technology integration approach for energy planning with carbon emission considerations. *Energy Convers. Manag.* 95, 170–180. doi:10.1016/j.enconman.2015.02.029
- Altshuller, G.S., 1999. The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity. Technical Innovation Center, Inc.
- Altshuller, G.S., 1989. ARIZ 85C : Algorithm of inventive problem solving, in: Rules of a Game Without Rules. Karelia, Petrozavodsk, pp. 11–50.
- Altshuller, G.S., 1985. ARIZ 85A : Analysis of the initial situation, in: Altshuller, G.S., Zlotin, B., Philatov, V. (Eds.), Profession: To Search For New. Kartya Moldovenyaske Publishing House, Kishinev. pp. 181–182.
- Altshuller, G.S., 1984. Creativity As an Exact Science : The Theory of the Solution of Inventive Problems. Gordon and Breach Science Publishers.
- Altshuller, G.S., Shulya, L., 1997. 40 Principles: Triz Keys to Technical Innovation, Technical. ed.
- Ansoff, H.I., 1965. Corporate strategy: an analytic approach to business policy for growth and expansion. McGraw-Hill.
- Ascough, J.C., Maier, H.R., Ravalico, J.K., Strudley, M.W., 2008. Future research challenges for incorporation of uncertainty in environmental and ecological decision-making. *Ecol. Model.* 219, 383–399.
- Association Bilan Carbone, 2015. Système de management GES - Référentiel pour la mise en place d'un SM-GES V2.
- Association Bilan Carbone, 2013. Gestion de l'incertitude dans les tableurs du Bilan Carbone ® - Note explicative.
- Baas, L., 2007. To make zero emissions technologies and strategies become a reality, the lessons learned of cleaner production dissemination have to be known. *J. Clean. Prod., Approaching zero emissions* 15, 1205–1216.

- Backlund, S., Thollander, P., Palm, J., Ottosson, M., 2012. Extending the energy efficiency gap. *Energy Policy, Renewable Energy in China* 51, 392–396. doi:10.1016/j.enpol.2012.08.042
- Banville, C., Landry, M., Martel, J.-M., Boulaire, C., 1998. A stakeholder approach to MCDA. *Syst. Res. Behav. Sci.* 15, 15–32. doi:10.1002/(SICI)1099-1743(199801/02)15:1<15::AID-SRES179>3.0.CO;2-B
- Barragan Ferrer, J.M., 2013. Méthode de formulation et de résolution de problèmes d'écoconception inventive : application au génie des procédés (phd).
- Belleval, C., Deniaud, I., Lerch, C., 2010. Modèle de conception à base de réseau de contradictions. Le cas de la conception des microsatellites au CNES. Presented at the MOSIM'10, MOSIM'10, Hammamet - Tunisie.
- Belleval, C., Lerch, C., 2010. L'innovation envisagée comme un processus de résolution de contradictions techniques, organisationnelles et cognitives (Working Papers of BETA). Bureau d'Economie Théorique et Appliquée, UDS, Strasbourg, Working Papers of BETA, Strasbourg.
- Belton, V., Stewart, T., 2010. Problem Structuring and Multiple Criteria Decision Analysis. SpringerLink 209–239. doi:10.1007/978-1-4419-5904-1\_8
- Belton, V., Stewart, T., 2002. Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach. Springer US.
- Ben Moussa, F.Z., Rasovska, I., Dubois, S., De Guio, R., Ben Moussa, R., 2017. Reviewing the use of the theory of inventive problem solving (TRIZ) in green supply chain problems. *J. Clean. Prod.* 142, 2677–2692. doi:10.1016/j.jclepro.2016.11.008
- Bryson, J.M., Ackermann, F., Eden, C., Finn, C.B., 2004. Visible Thinking: Unlocking Causal Mapping for Practical Business Results. John Wiley & Sons.
- BSI, DEFRA, Carbon Trust, 2011. PAS 2050 - Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.
- Burgard, L., Dubois, S., De Guio, R., Rasovska, I., 2011. Sequential experimentation to perform the Analysis of Initial Situation, in: TRIZ Future 2011.
- Campbell, C., 2012. Guide pratique de mise en oeuvre de l'ISO 50001 - Des informations utiles, pour une préparation optimale en vue de votre certification. LRQA.
- Carbon Trust, 2011. Energy management comprehensive guide.pdf.
- Carey, J.M., Burgman, M.A., 2008. Linguistic uncertainty in qualitative risk analysis and how to minimize it. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1128, 13–17.
- Carroll, A.B., Näsi, J., 1997. Understanding stakeholder thinking: Themes from a Finnish conference. *Bus. Ethics Eur. Rev.* 6, 46–51.
- Cascini, G., Rissone, P., Rotini, F., Russo, D., 2011. Systematic design through the integration of TRIZ and optimization tools. *Procedia Eng.* 9, 674–679. doi:10.1016/j.proeng.2011.03.154
- Catrinu, M., 2006. Decision Aid for Planning Local Energy Systems : Application of Multi-Criteria Decision Analysis (Thèse de doctorat). Norwegian University of Science and Technology.

- Cavallucci, D., 2014. Designing the Inventive Way in the Innovation Era, in: An Anthology of Theories and Models of Design. Amaresh Chakrabarti Lucienne T. M. Blessing, pp. 237–262.
- Cavallucci, D., Eltzer, T., 2007. Parameter network as a means for driving problem solving process. *Int. J. Comput. Appl. Technol.* 30, 125–136. doi:http://dx.doi.org/10.1504/IJCAT.2007.015703
- Cavallucci, D., Khomenko, N., 2007. From TRIZ to OTSM-TRIZ: addressing complexity challenges in inventive design. *Int. J. Prod. Dev.* 4, 4. doi:10.1504/IJPD.2007.011530
- Cavallucci, D., Rousselot, F., Zanni, C., 2011. On contradiction clouds. *Procedia Eng., Proceeding of the ETRIA World TRIZ Future Conference 2008* 9, 368–378. doi:10.1016/j.proeng.2011.03.126
- Cavallucci, D., Rousselot, F., Zanni, C., 2010. Initial situation analysis through problem graph. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol., Competitive Design: CIRP Design Conference, Cranfield, United Kingdom* 2, 310–317. doi:10.1016/j.cirpj.2010.07.004
- Chambon, T., Choulier, D., Fougères, A.-J., Weite, P.-A., 2009. Instrumentation de l'utilisation d'un outil méthodologique: application aux "9 écrans" de la méthode TRIZ. AIP Primeca 2010, Apr 2009, La Plagne, France.
- Chandler, A.D., 1962. *Strategy and structure: chapters in the history of the industrial enterprise.* Cambridge: M.I.T. Press.
- Checkland, P., 2001. Soft Systems Methodology, in: *Rational Analysis for a Problematic World Revisited - Problem Structuring Methods for Complexity, Uncertainty and Conflict.* Rosenhead & Mingers, pp. 61–89.
- Clarkson, M.B.E., 1995. A Stakeholder Framework for Analyzing and Evaluating Corporate Social Performance. *Acad. Manage. Rev.* 20, 92. doi:10.2307/258888
- Coelho, D., Antunes, C.H., Martins, A.G., 2010. Using SSM for structuring decision support in urban energy planning. *Ukie Technol. Ir Ekon. Vystym.* 16, 641–653. doi:10.3846/tede.2010.39
- Colyvan, M., 2008. Is Probability the Only Coherent Approach to Uncertainty? *Risk Anal.* 28, 645–652.
- Cortes Robles, G., 2006. *Management de l'innovation technologique et des connaissances : synergie entre la théorie TRIZ et le Raisonnement à Partir de Cas. Application en génie des procédés et systèmes industriels.*
- Cross, N., 2008. *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design* (4th ed.). John Wiley & Sons, Chichester.
- Donaldson, T., Preston, L.E., 1995. The Stakeholder Theory of the Corporation: Concepts, Evidence, and Implications. *Acad. Manage. Rev.* 20, 65–91.
- Dörr, M., Wahren, S., Bauernhansl, T., 2013. Methodology for Energy Efficiency on Process Level. *Procedia CIRP, Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013* 7, 652–657. doi:10.1016/j.procir.2013.06.048
- Douguet, J.-M., Sluijs, J.P. van der, O'Connor, M., Pereira, Â.G., Corral Quintana, S., Ravetz, J.R., 2006. Assurance Qualité de la Connaissance dans un

- processus délibératif élargi. De NUSAP aux Outils Kerbabel™ d'aide à la Délibération. Centre d'Economie et d'Ethique pour l'Environnement et le Développement.
- Dubois, D., 2010. Representation, propagation, and decision issues in risk analysis under incomplete probabilistic information. *Risk Anal. Off. Publ. Soc. Risk Anal.* 30, 361–368.
- Dubois, S., 2004. Contribution à la formulation des problèmes en conception de systèmes techniques. Etude basée sur la TRIZ (Thèse de doctorat). INSA de Strasbourg.
- Dubois, S., De Guio, R., Lin, L., Rasovska, I., 2015. From Simulation To Invention, Beyond The Pareto-Frontier, in: ICED 2015 International Conference on Engineering Design. Milan, Italie.
- Dubois, S., De Guio, R., Rasovska, I., 2011. Different ways to identify generalized system of contradictions, a strategic meaning. *Procedia Eng., Proceeding of the ETRIA World TRIZ Future Conference 9*, 119–125. doi:10.1016/j.proeng.2011.03.105
- Dubois, S., De Guio, R., Rasovska, I., Ben Moussa, F.Z., 2017. From simulation till inventive problem resolution, a global method, in: ICED 2017 21st International Conference on Engineering Design. Vancouver, Canada.
- Dubois, S., Eltzer, T., De Guio, R., 2009. A dialectical based model coherent with inventive and optimization problems. *Comput. Ind., Computer Aided Innovation* 60, 575–583.
- Eden, C., 2004. Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems. *Eur. J. Oper. Res.* 159, 673–686. doi:10.1016/S0377-2217(03)00431-4
- Eden, C., 1988. Cognitive mapping. *Eur. J. Oper. Res.* 36, 1–13. doi:10.1016/0377-2217(88)90002-1
- Eltzer, T., De Guio, R., 2007. Constraint based modelling as a mean to link dialectical thinking and corporate data. Application to the Design of Experiments. *SpringerLink* 145–155. doi:10.1007/978-0-387-75456-7\_15
- European Commission, 2011. Feuille de route vers une économie compétitive à faible intensité de carbone à l'horizon 2050.
- FIPS Publication 183, 1993. Integration Definition for Fonction modeling (IDEF0).
- Freeman, R.E., 2010. *Strategic Management: A Stakeholder Approach*. Cambridge University Press.
- Gartiser, N., Dubois, S., 2005. Du problème à son processus de résolution: entre positivisme et constructivisme. Application à la conception de systèmes techniques., in: *XIVième Conférence Internationale de Management Stratégique (AIMS)*. p. ISSN–1815.
- Gartiser, N., Kucharavy, D., Lutz, P., 2002. Le Processus Convergent de la TRIZ : Une démarche Economiquement Efficace de Solutions de Conception. Colloque IPI, Grenoble, FRANCE, 28-30 Janvier.
- GIEC, 2014a. Changements climatiques 2014 - Rapport de synthèse - Résumé à l'intention des décideurs (No. AR5 SYR).

- GIEC, 2014b. Changements climatiques 2014 - L'atténuation du changement climatique - Résumé à l'intention des décideurs et résumé technique (No. AR5 WG3).
- GIEC, 2013. Climate Change 2013 - The Physical Science Basis (No. AR5 WG1).
- GIEC, 2000a. Quantification des incertitudes en pratique.
- GIEC, 2000b. Base conceptuelle pour l'analyse des incertitudes.
- Gopalakrishnan, B., Ramamoorthy, K., Crowe, E., Chaudhari, S., Latif, H., 2014. A structured approach for facilitating the implementation of ISO 50001 standard in the manufacturing sector. *Sustain. Energy Technol. Assess.* 7, 154–165. doi:10.1016/j.seta.2014.04.006
- Gordić, D., Babić, M., Jovičić, N., Šušteršič, V., Končalović, D., Jelić, D., 2010. Development of energy management system – Case study of Serbian car manufacturer. *Energy Convers. Manag.* 51, 2783–2790. doi:10.1016/j.enconman.2010.06.014
- Goupy, J., Creighton, L., 2013. Introduction aux plans d'expériences 5e éd.: Toutes les techniques nécessaires à la conduite d'une étude. Dunod.
- Greenhouse Gas Protocol, 2011. Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard.
- Greenhouse Gas Protocol, 2004. A Corporate Accounting and Reporting - Revisited Edition.
- Gustafsson, S., Ivner, J., Palm, J., 2015. Management and stakeholder participation in local strategic energy planning – Examples from Sweden. *J. Clean. Prod., Special Volume: Support your future today! Turn environmental challenges into opportunities.* 98, 205–212. doi:10.1016/j.jclepro.2014.08.014
- Hatchuel, A., Weil, B., Le Masson, P., 2002. La théorie CK: Fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception. Presented at the Sciences de la conception, Sciences de la conception, Lyon.
- Janssen, P.H., van der Sluijs, J.P., Petersen, A.C., Risbey, J.S., 2005. A guidance for assessing and communicating uncertainties. Netherlands Environmental Assessment Agency, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven.
- Jonassen, D.H., 1997. Instructional design models for well-structured and Ill-structured problem-solving learning outcomes. *Educ. Technol. Res. Dev.* 45, 65–94. doi:10.1007/BF02299613
- Jovanović, B., Filipović, J., 2016. ISO 50001 standard-based energy management maturity model – proposal and validation in industry. *J. Clean. Prod.* 112, 2744–2755. doi:10.1016/j.jclepro.2015.10.023
- Keeney, R.L., 1996. Value-focused thinking: Identifying decision opportunities and creating alternatives. *Eur. J. Oper. Res.* 92, 537–549. doi:10.1016/0377-2217(96)00004-5
- Keeney, R.L., 1992. Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking. Harvard University Press.
- Keeney, R.L., Gregory, R.S., 2005. Selecting Attributes to Measure the Achievement of Objectives. *Oper. Res.* 53, 1–11. doi:10.1287/opre.1040.0158

- Khomenko, N., Cooke, J., 2011. Inventive problem solving using the OTSM-TRIZ “TONGS” model.
- Khomenko, N., De Guio, R., Cavallucci, D., 2009. Enhancing ECN's abilities to address inventive strategies using OTSM-TRIZ. *Int. J. Collab. Eng.* 1, 98–113.
- Khomenko, N., De Guio, R., Lelait, L., Kaikov, I., 2007. A Framework for OTSM-TRIZ Based Computer Support to be used in Complex Problem Management. *Int. J. Comput. Appl. Technol.* 30, 88–104. doi:10.1504/IJCAT.2007.015700
- Khomenko, N., De Guio, R., 2007. OTSM Network of Problems for representing and analysing problem situations with computer support, in: *Trends in Computer Aided Innovation*. Springer, Boston, MA, In IFIP Federation for Information Processing, pp. 77–88. doi:10.1007/978-0-387-75456-7\_8
- Kiureghian, A.D., Ditlevsen, O., 2007. Aleatory or epistemic? Does it matter? *Struct. Saf., Risk Acceptance and Risk Communication* 31, 105–112.
- Landry, M., 1995. A Note on the Concept of “Problem.” *Organization Stud.* 16, 315–343.
- Landry, M., Banville, C., 2002. Repères pour la formulation des problèmes organisationnels complexes. *Rev. Gest.* 2000 Juillet/Août 19, 127–147.
- Legifrance, 2016a. Code de l'environnement - Article L229-26, Code de l'environnement.
- Legifrance, 2016b. Arrêté du 25 janvier 2016 relatif aux gaz à effet de serre couverts par les bilans d'émission de gaz à effet de serre et les plans climat-air-énergie territoriaux.
- Legifrance, 2015a. LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, 2015-992.
- Legifrance, 2015b. Décret n° 2015-1738 du 24 décembre 2015 relatif aux bilans d'émission de gaz à effet de serre, 2015-1738.
- Legifrance, 2011. Décret n° 2011-829 du 11 juillet 2011 relatif au bilan des émissions de gaz à effet de serre et au plan climat-énergie territorial, 2011-829.
- Legifrance, 2010a. LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (Grenelle 2), 2010-788.
- Legifrance, 2010b. LOI n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement - Article 75, 2010-788.
- Legifrance, 2010c. Code de l'environnement - Article L229-25, Code de l'environnement.
- Legifrance, 2009. LOI n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement, 2009-967.
- Lin, L., 2016. Optimization methods for inventive design (phdthesis). Université de Strasbourg.
- Lin, L., Dubois, S., Guio, R.D., Rasovska, I., 2015. An exact algorithm to extract the generalized physical contradiction. *Int. J. Interact. Des. Manuf. IJIDeM* 9, 185–191. doi:10.1007/s12008-014-0250-3

- Lin, L., Rasovska, I., De Guio, R., Dubois, S., 2013. Algorithm for identifying generalized technical contradictions in experiments. *J. Eur. Systèmes Autom.* 47, 563–588. doi:10.3166/jesa.47.563-588
- Liu, Y.-T., 2000. Creativity or novelty ? Cognitive-computational versus social-cultural. *Des. Stud.* 21, 261–276.
- Løken, E., 2007. Multi-Criteria Planning of Local Energy Systems with Multiple Energy Carriers (Thèse de doctorat). Norwegian University of Science and Technology.
- Lonchamp, P., 2004. Co-évolution et processus de conception intégrée de produits : Modèle et support de l'activité de conception. Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG.
- Maqsood, T., Finegan, A.D., Walker, D.H., 2001. Five case studies applying soft systems methodology to knowledge management.
- Mercier, S., 2001. L'apport de la théorie des parties prenantes au management stratégique: une synthèse de la littérature, in: Actes de La Xe Conférence de l'AIMS, Québec. pp. 13–15.
- Miller, D.W., Starr, M.K., 1969. Executive decisions and operations research, 2nd ed. ed, Englewood Cliffs, N.J : Prentice-Hall international series in management. Prentice-Hall,.
- Mingers, J., Rosenhead, J., 2004. Problem structuring methods in action. *Eur. J. Oper. Res., Applications of Soft O.R. Methods* 152, 530–554. doi:10.1016/S0377-2217(03)00056-0
- Mingers, J., Rosenhead, J., 2001. Rational Analysis for a Problematic World Revisited - Problem Structuring Methods for Complexity, Uncertainty and Conflict.
- Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2017. Plan Climat.
- Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2016. Méthode de réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre - Version 4.
- Mirakyan, A., 2014. Methodological frameworks for uncertainty analysis in long range integrated energy planning for cities and territories (Thèse de doctorat). Université de Strasbourg.
- Mirakyan, A., De Guio, R., 2015a. Three Domain Modelling and Uncertainty Analysis - Applications in Long Range Infrastructure Planning.
- Mirakyan, A., De Guio, R., 2015b. Modelling and uncertainties in integrated energy planning. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 46, 62–69. doi:10.1016/j.rser.2015.02.028
- Mirakyan, A., De Guio, R., 2014. A methodology in innovative support of the integrated energy planning preparation and orientation phase. *Energy* 78, 916–927. doi:10.1016/j.energy.2014.10.089
- Mirakyan, A., De Guio, R., 2013. Integrated energy planning in cities and territories: A review of methods and tools. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 22, 289–297. doi:10.1016/j.rser.2013.01.033

- Mitchell, R.K., Agle, B.R., Wood, D.J., 1997. Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What Really Counts. *Acad. Manage. Rev.* 22, 853. doi:10.2307/259247
- Mizuta, Y., 2003. A case study on energy saving and new energy services in Japan. *Manag. Environ. Qual. Int. J.* 14, 214–220. doi:10.1108/14777830310470431
- Neves, A.R., Leal, V., Lourenço, J.C., 2015. A methodology for sustainable and inclusive local energy planning. *Sustain. Cities Soc.* 17, 110–121. doi:10.1016/j.scs.2015.04.005
- Neves, A.R.F., 2012. Decision support methodology for local sustainable energy planning (phd).
- Neves, L.M.P., Martins, A.G., Antunes, C.H., Dias, L.C., 2004. Using SSM to rethink the analysis of energy efficiency initiatives. *J. Oper. Res. Soc.* 55, 968–975. doi:10.1057/palgrave.jors.2601763
- Nilsson, J.S., Mårtensson, A., 2003. Municipal energy-planning and development of local energy-systems. *Appl. Energy, Energex 2002 - Energy Policies and Economics and Rational Use of Energy of Energy Topics VI and VII* 76, 179–187. doi:10.1016/S0306-2619(03)00062-X
- Organisation internationale de normalisation, 2013. ISO/TR 14069:2013 - Gaz à effet de serre -Quantification et rapport des émissions de gaz à effet de serre pour les organisations - Directives d'application de l'ISO 14064-1 [WWW Document]. URL <https://www.iso.org/fr/standard/43280.html> (accessed 7.18.17).
- Organisation internationale de normalisation, 2011a. Norme ISO 50001 - Système de management de l'énergie.
- Organisation internationale de normalisation, 2011b. Gagner le défi de l'énergie avec ISO 50001.
- Organisation internationale de normalisation, 2006. Norme ISO 14064-1 Gaz à effet de serre: Partie 1: Spécifications et lignes directrices, au niveau des organismes, pour la quantification et la déclaration des émissions et des suppressions des gaz à effet de serre.
- Organisation internationale de normalisation, 1996. Norme ISO 14001 - Management environnemental.
- Organisation internationale de normalisation, 1987. Norme ISO 9001 - Management de la qualité [WWW Document]. URL <https://www.iso.org/fr/iso-9001-quality-management.html> (accessed 7.18.17).
- Özbuğday, F.C., Erbas, B.C., 2015. How effective are energy efficiency and renewable energy in curbing CO2 emissions in the long run? A heterogeneous panel data analysis. *Energy* 82, 734–745. doi:10.1016/j.energy.2015.01.084
- Raiffa, H., 1973. *Analyse de la décision : introduction aux choix en avenir incertain*. Dunod.
- Rasovska, I., Dubois, S., De Guio, R., 2010. Study of different principles for automatic identification of generalized system of contradictions out of design

- of experiments, in: MOSIM'10 Evaluation and Optimization of Innovative Production Systems of Goods and Services. Hammamet - Tunisia.
- Rasovska, I., Dubois, S., De Guio, R., 2009. Mechanisms of Model Change in Optimization and Inventive Problem Solving Methods, in: ICED 09, the 17th International Conference on Engineering Design. Palo Alto, California, United States, pp. 299–310.
- Refsgaard, J.C., van der Sluijs, J.P., Højberg, A.L., Vanrolleghem, P.A., 2007. Uncertainty in the environmental modelling process – A framework and guidance. *Environ. Model. Softw.* 22, 1543–1556.
- Regan, H.M., Colyvan, M., Burgman, M.A., 2002. A taxonomy and treatment of uncertainty for ecology and conservation biology. *Ecol. Appl.* 12, 618–628.
- Région Alsace, 2015. Dynamique autour du Schéma régional Climat Air Energie Alsace.
- Région Alsace, 2012. Schéma régional Climat Air Energie Alsace - Synthèse.
- Rousselot, F., De Bertrand De Beuvron, F., Zanni-Merk, C., 2012a. Une Base de Connaissances Opérationnelle pour la Conception Inventive, in: IC 2011, 22èmes Journées Francophones d'Ingénierie Des Connaissances. Chambéry, France, pp. 459–474.
- Rousselot, F., Zanni-Merk, C., Cavallucci, D., 2012b. Towards a formal definition of contradiction in inventive design. *Comput. Ind.* 63, 231–242. doi:10.1016/j.compind.2012.01.001
- Roy, B., 1993. Decision science or decision-aid science? *Eur. J. Oper. Res., Model Validation* 66, 184–203. doi:10.1016/0377-2217(93)90312-B
- Saulquin, J.-Y., 2008. La théorie des parties prenantes comme grille de lecture du comportement solidaire des banques envers la communauté.
- Serifi, V., Dasic, P., Jecmenica, R., Labovic, D., 2009. Functional and Information Modeling of Production Using IDEF Methods. *Stroj. Vestn.* 55, 131–140.
- Simon, H.A., 1973. The structure of ill structured problems. *Artif. Intell.* 4, 181–201. doi:10.1016/0004-3702(73)90011-8
- Simon, H.A., 1969. *The Sciences of the Artificial*. MIT Press.
- Van Gorp, J.C., 2004. Maximizing energy savings with enterprise energy management systems, in: Conference Record of 2004 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference (IEEE Cat. No.04CH37523). Presented at the Conference Record of 2004 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference (IEEE Cat. No.04CH37523), pp. 175–181. doi:10.1109/PAPCON.2004.1338378
- Visser, W., 2009. La conception : de la résolution de problèmes à la construction de représentations. *Trav. Hum.* 72, 61–78. doi:10.3917/th.721.0061
- Voss, J.F., Wolfe, C.R., Lawrence, J.A., Engle, R.A., 1991. From representation to decision: An analysis of problem solving in international relations, in: Sternberg, R.J., Frensch, P.A. (Eds.), *Complex Problem Solving: Principles and Mechanisms*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc, Hillsdale, NJ, England, pp. 119–158.

- Walker, W.E., Harremoës, P., Rotmans, J., van der Sluijs, J.P., van Asselt, M.B., Janssen, P., Kreyer von Krauss, M.P., 2003. Defining uncertainty: a conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support. *Integr. Assess.* 4, 5–17.
- Ward, S., Chapman, C., 2008. Stakeholders and uncertainty management in projects. *Constr. Manag. Econ.* 26, 563–577. doi:10.1080/01446190801998708
- Wardekker, J.A., van der Sluijs, J.P., Janssen, P.H.M., Kloprogge, P., Petersen, A.C., 2008. Uncertainty communication in environmental assessments: views from the Dutch science-policy interface. *Environ. Sci. Policy* 11, 627–641.
- Wood, P.K., 1983. Inquiring systems and problem structure: Implications for cognitive development. *Hum. Dev.* 26, 249–265. doi:10.1159/000137808

## Cadres méthodologiques pour la conception innovante d'un plan Énergétique Durable à l'échelle d'une organisation

### Résumé

Les entreprises et plus généralement les organisations sont confrontées à des enjeux climatiques et économiques avec pour obligation de respecter un cadre légal et des orientations définis à des plus grandes échelles (régionale, nationale et internationale). Une organisation est souvent au fait du but ou de l'objectif à atteindre ; en revanche le moyen d'y parvenir peut nécessiter de l'apprentissage voire de la recherche. Le but de cette thèse est de fournir une méthodologie à l'usage des organisations pour réaliser le management stratégique des projets relatifs à leur transition énergétique. A partir de différents états de l'art sur la planification énergétique et la conception en particulier, nous avons pointé le déficit méthodologique auquel doit faire face une organisation : si les démarches et outils existent lorsqu'un problème est clairement identifié, comment justement identifier un ou des problèmes à partir uniquement d'une formulation de buts ou d'intentions ?

La première partie propose une démarche de planification énergétique à l'échelle d'une organisation qui fait émerger, de manière structurée, les problèmes auxquels l'organisation sera potentiellement confrontée. Notre démarche repose sur l'utilisation des BEGES et des méthodes de management de l'énergie/GES d'une part, complétés par des démarches et outils de conception d'autre part. Ces derniers facilitent la consolidation des informations et des données nécessaires pour formuler et structurer les problèmes à résoudre. A l'issue de cette démarche certains problèmes sont formulés sous forme de contradictions et de conflits.

La démarche développée est purement qualitative et adaptée au travail de groupe avec des experts. Cependant certaines données numériques traduisent des comportements de systèmes qui sont peu maîtrisés par les parties prenantes du projet. La deuxième partie propose une méthode combinant la simulation et l'analyse de données pour identifier les contradictions d'objectifs et de cause qui peuvent ou semblent empêcher l'atteinte des objectifs. Ces contradictions sont formulées de sorte à pouvoir être traitées avec les méthodes de résolution de problèmes inventifs. Le principe d'identification des contradictions

d'objectifs repose sur la transformation des réponses expérimentales ou de simulation des systèmes étudiés en données qualitatives binaires et sur l'identification des Paretos optimaux des données ainsi transformées. Les contradictions de causes concernent les facteurs ou paramètres de conception qui induisent les conflits d'objectifs. Nous proposons de les identifier à l'aide d'une méthode d'analyse discriminante binaire à base d'apprentissage supervisé associée à l'ANOVA. Nous montrons sur un cas d'étude, d'une part, comment intégrer cette approche dans la démarche présentée en partie 1 du mémoire, et d'autre part, comment l'utiliser pour obtenir des concepts de solutions dans un contexte multi-objectifs (diminution des consommations d'énergie, des émissions de GES, du coût etc.).

**Mots clés** : Planification énergétique, BEGES, conception, TRIZ, OTSM-TRIZ, contradiction, plans d'expériences, Pareto, analyse discriminante, ANOVA.

## Summary

Companies and more generally organizations are confronted with climatic and economic issues, they have to respect a legal framework and orientations defined in larger scales (regional, national and international). An organization usually knows the goal or the objective to be achieved; however the way to do can require learning or even research. The goal of this thesis is to provide a methodology for the use of organizations to realize strategic management of their energy transition projects. From many different states of the art about energy planning and conception in particular, we show the methodological deficit which an organization has to face: if approaches and tools exist when a problem is clearly identified, how actually identify one or several problems from only a goal or intention formulation?

The first part proposes an energy planning approach at an organizational scale to bring out in structured way problems which the organization may be confronted. Our approach is based on greenhouse gas emission assessments and energy/GHG management methods which are completed with conception approaches and some tools and methodologies. They facilitate the consolidation of required information and data to formulate and structure problems to solve. As a result of our approach some problems are formulated as contradictions and conflicts.

The developed approach is purely qualitative and adapted to workgroup with experts. However some numerical data translate system behaviors which are sparsely mastered by project stakeholders. The second part proposes a combined method of simulation and data analysis to identify objective and cause contradictions which can or seem to prevent achieving the objectives. These contradictions are formulated in such a way to be handled with methods of resolution of inventive problems. The identification of objective contradictions is based on the transformation of experimental or simulation answers of the studied systems in binary qualitative data and on the identification of optimal Pareto of the transformed data. Cause contradictions concern conception factors or parameters which induce objective conflicts. We suggest identifying these contradictions with a binary discriminant analysis method based on supervised learning associated with ANOVA. On one hand, we show on a study case how integrate this initiative into the presented approaches in part 1 and on the other hand, how use it to obtain solution concepts in a multi-objective context (energy consumptions, GHG emissions or cost reduction etc.).

**Keywords:** Energy planning, GHG assessments, conception, TRIZ, OTSM-TRIZ, contradiction, design of experiments, Pareto, discriminant analysis, ANOVA.