

THÈSE DE DOCTORAT

de l'Université de recherche Paris Sciences et Lettres
PSL Research University

Préparée à MINES ParisTech

**Penser nos futurs modes de vie dans les démarches de prospective
énergétique : proposition d'une approche par la modélisation**

Ecole doctorale n°84

Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication

Spécialité Contrôle, Optimisation, Prospective

**Soutenue par THOMAS LE GALLIC
le 21 décembre 2017**

Dirigée par **Nadia Maïzi**
Co-dirigée par **Edi Assoumou**

COMPOSITION DU JURY :

Mme Cyria EMELIANOFF, rapporteur
Le Mans Université

Mme Céline GUIVARCH, rapporteur
Ecole des Ponts ParisTech

M. Vincent KAUFMANN, président du jury
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

M. Edi ASSOUMOU, examinateur
MINES ParisTech

Mme Nadia MAIZI, examinateur
MINES ParisTech

AVANT-PROPOS

Le terreau dans lequel a germé le travail de recherche présenté dans ce manuscrit est constitué de mes expériences dans le *monde* des politiques énergétiques et climatiques. J'ai dans un premier temps sillonné ce monde au cours d'un voyage de six mois à travers l'Europe à la rencontre des acteurs locaux de la lutte contre le changement climatique, avant de l'explorer plus longuement de 2009 à 2013 par le biais de travaux de conseil et de recherche au sein de la société ACTeon et auprès d'institutions publiques (de la municipalité aux instances nationales). Dans ce monde, la problématique des modes de vie occupe une place singulière. Alors qu'elle est régulièrement présentée dans les discours comme un sujet incontournable, cette problématique devient bien souvent invisible parmi les solutions concrètement mises en œuvre, bien qu'elle soit parfois implicitement présente. Plusieurs raisons peuvent expliquer un tel constat. Parmi celles-ci, citons la difficulté que représente l'appréhension de cette notion multidimensionnelle, l'incapacité perçue d'avoir une prise réelle sur la vie des individus ou encore le refus d'exercer un quelconque rôle prescriptif sur la manière de l'organiser.

Au cours de cette période, j'ai également été régulièrement confronté à la démarche prospective. Cette immersion méthodologique s'est avérée fertile en questionnements. L'une des expériences rencontrées, particulièrement marquante (projet *Explore 2070*), a soulevé des questions relatives à l'usage des modèles dans la démarche prospective et notamment à leur tendance à brider l'exploration de futurs possibles.

Le soutien initial de Pierre Strosser, la rencontre et l'aide précieuse d'Edi Assoumou et de Nadia Maïzi et un goût prononcé pour la recherche ont ensuite constitué (dans le désordre) le soleil, l'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone¹ nécessaires à la croissance de ce travail de recherche puis à sa "floraison"... qui disséminera peut-être – qui sait ? – quelques graines çà et là.

NOTES DE LECTURE

Nous emploierons souvent la notion de prospective *énergétique* pour désigner la prospective *énergie-climat*, qui englobe également la prospective des émissions de gaz à effet de serre. Rappelons que les deux problématiques sont souvent abordées conjointement étant donné que trois quarts des émissions de gaz à effet de serre sont d'origine énergétique.

Le manuscrit est divisé en chapitres (p. ex. II), ces chapitres en sections (p. ex. 2.1), les sections en parties (p. ex. 2.1.3) puis en sous-parties (p. ex. 2.1.3 .a)).

¹ Étant entendu que les nutriments sont contenus dans le sol (le terreau).

Cette thèse a été préparée avec le soutien de la société ACTeon,
bureau de recherche et de conseil en politiques de l'environnement.



www.acteon-environment.eu

REMERCIEMENTS

D'après les dernières statistiques mondiales sur le sujet, avoir l'opportunité d'écrire les remerciements constitue la première motivation de la préparation d'une thèse pour 62% des doctorants. Pour la plupart des 38% restants, elle apparaît également sur le podium, derrière « pour pouvoir lire des remerciements dans un cadre professionnel » ou « c'est une couverture, je suis en réalité agent secret ». Si ma situation m'interdit de dévoiler mes réponses, il n'en reste pas moins que cette enquête anonyme suggère d'accorder le plus grand soin à cette rubrique.

Merci tout d'abord à Cyria Emelianoff, Céline Guivarch et Vincent Kaufmann d'avoir accepté de lire, évaluer, rapporter et examiner ce travail de thèse.

Merci à Nadia et Edi d'avoir rendu possible, dirigé et encadré ce travail de recherche. Vous qui vous êtes montrés intéressés dès notre premier échange et avez accompagné cette démarche jusqu'à son aboutissement, me donnant ainsi l'opportunité de faire des activités de recherche un quotidien, ce qui m'a pleinement enthousiasmé. Merci aussi pour la grande confiance que vous m'avez accordée dans les modalités de réalisation, tant scientifiques que « géographiques ». Nadia, ta gestion de l'équipe et celle du laboratoire dans ses différentes dimensions resteront une source d'inspiration pour moi. Edi, de par le plaisir que j'ai eu à travailler avec toi, ta disponibilité, ta vision de la recherche, ton ouverture d'esprit, tes idées et suggestions, ce mélange d'orientations et de liberté dont j'ai bénéficié : je n'hésite pas à qualifier ton encadrement de parfait.

Merci à Pierre et Vincent, à l'équipe d'ACTeon et à ACTeon en tant qu'entité. Pierre, je tiens tout particulièrement à te remercier pour tout ce que j'ai appris à tes côtés avant d'initier ces recherches sur les plans méthodologiques, humains, de l'innovation, de l'ouverture, ainsi que pour ta confiance, pour ces bons moments partagés et ton soutien dans la préparation de ce sujet. Je souhaite à ACTeon une longue vie pleine de joie, de réussites, de beaux projets, d'innovations, de stabilité malgré les coups durs, ... et bien sûr de continuer à contribuer à faire bouger les choses, puisque c'est sa raison d'être.

Merci à toute l'équipe du Centre de Mathématiques Appliquées (CMA) pour votre accueil et votre sympathie. Si l'on rentre davantage dans le détail, un grand merci à Catherine et Amel pour tout ce que vous avez géré durant ces années, faisant en sorte de rendre la vie et mes passages à Sophia-Antipolis plus faciles. Comme il m'en reste un peu, j'ajoute une dose de merci à Catherine aussi pour ta confiance, ton soutien et ta gestion compréhensive du partenariat avec ACTeon. Merci également à Valérie pour tes conseils, ta disponibilité et ta gestion au top de tous ces aspects inhérents à la thèse : inscription, formation, constitution du jury, etc. Merci à Sébastien pour avoir toujours cherché à créer les conditions informatiques optimales à la conduite de ces travaux. Merci aux collègues permanents,

doctorants et postdoctorants avec qui nous avons eu l'occasion de partager qui des repas, qui un bureau, qui des verres, qui des matches d'*ultimate*, qui des idées, qui des rires, qui une amitié, qui une conférence à Lisbonne (ma spécialité), qui un projet de recherche sur la mystérieuse année 2072, qui des kilomètres l'Altertour, qui plus que ça... j'ai nommé : qui Paul, qui François, qui Seb, qui Vincent, qui Sandrine, qui Gratien, qui Jérôme, qui Rémy, qui Ariane, qui Antoine, qui Sophie, qui Jean-Paul, qui Gilles, qui Seungwoo, qui Gondia, qui Damien, qui Ankinée, qui Elise ou qui Arnold. La table des correspondances (table du qui-deux) est renvoyée à une annexe imaginaire. J'ose espérer que nous partagerons encore certaines de ces choses-là. J'ajoute tous mes encouragements aux doctorants encore sur le pont. Merci bien sûr à la Maison du Bonheur® et à ses occupants (dont Seb, Paul, Vincent, Val, Matthieu, Vadim, Fiona, Daria, ...) pour l'accueil de luxe et les bons moments allant d'un toit au repas en passant par la douce folie, les rires, la musique et autres animations aussi ludiques que pratiques.

Dans le monde Sophipolitain, je remercie aussi Olivia et Sian : je ne pensais pas qu'il était possible de devenir bilingue à l'écrit et à l'oral en si peu de temps. Ce petit concert avec le groupe éphémère monté à l'occasion de la fête de la musique de Châteauneuf restera aussi comme un souvenir associé à ces excellentes formations d'anglais à Sophia. Merci aussi à Isabelle pour la coordination des formations, tes encouragements et ta jovialité ! Merci à l'équipe de « Ma thèse en 180 secondes », car si j'ai la passion d'apprendre, cette expérience m'a donné une occasion supplémentaire de prendre conscience de l'importance et de la difficulté de restituer, de partager.

À Rennes, merci à Jean-Yves, Maïté et Véronique d'avoir permis et facilité mon accueil au sein du labo et de l'Université. Merci à mes ami-e-s et compagnons du quotidien de préparation et d'écriture de la thèse – Cécile, Christophe, Hamid, Christopher, Joseph, Lolita, Aude, Alan ou encore Pauline ainsi que les voisin-e-s d'ESO –, pour tout ce qu'on a partagé : RU de l'Érêve, rires, scoops imaginaires, discussions politiques-scientifiques-philosophiques-sociologiques-*et-al.*, soirées, sapin de Noël à la plus grande longévité de l'histoire, péripéties de vies, futurs choix et modes de vie, ... Je vous souhaite force et bravoure pour la finalisation ou la poursuite de vos travaux. Merci aussi à Vincent Gouëset pour le partage de connaissance sur l'univers de la recherche, ses conseils et ses encouragements.

Sur les plans thématiques et méthodologiques, merci aux communautés d'utilisateurs de R, au réseau Quételet et au CNRTL pour la mise à disposition de ressources précieuses à indispensables au cours de ce travail de recherche. Merci à celles et ceux avec qui j'ai pu échanger au cours de mes recherches, notamment Cyria Emelianoff, Carine Barbier, Yannick Lemel ou encore Stéphane Chevrier.

Sur le plan de l'environnement de travail, je remercie tou-te-s les musicien-ne-s, chanteur-se-s et (même) batteur-se-s qui ont accompagné ces milliers d'heures de recherche sans probablement s'en douter : p. ex. Vincent Peirani, Emile Parisien, Jacky Molard, Jannick

Martin, Renaud Garcia-Fons, Avishaï Cohen (les deux !), Bojan Z, Anne Pacéo, Leïla Martial, André Minvielle, Omer Avital, Henri Texier, Tigran Hamasyan, Cesaria Evora, Mayra Andrade, Shai Maestro, Lionel Suarez, Bob Marley, Trilok Gurtu, les musiciens de Beirut, de Groundation, de NDiaz, de Le Bour-Bodros quintet, du duo Menguy-Bérenguer, ... Merci aussi au poêle à bois de Lokemo, ainsi qu'au feu qui vient y séjourner de temps en temps.

Et puis il reste la précieuse sphère de ceux qui ont eu un lien plus indirect avec ma thèse, qui l'ont accompagnée à leur manière, qui ont essayé de la suivre, l'ont parfois subie, ou pour qui cela restera à tout jamais un mystère : la famille et les (autres) ami-e-s. Merci au Tapis Vert® - Yo, Max, Jeff, Gaël, Ben, Ambroise -, compagnons virtuels du quotidien, réels d'aventures hors du commun (salut à Jean Bart) et réels aussi de moments très douloureux comme ceux que nous avons vécu cet été. Merci aussi à Samuel, l'ami de toujours et coloc' de la première partie de thèse et à Axelle qui nous a rejoints ensuite, y compris pour les conseils et coups de main. Merci à toute la bande de Nancy & al pour les week-ends ou vacances passés ensemble : Antoine, Isaline, Mathilde, Chloé, Maïs, Laure, Véro, Amandine, Delphine (partie beaucoup trop tôt), Jim, Tonio, Camille, Nico, Richard, Philou, ... Merci aussi à la sphère trégoroise & alentours pour les moments partagés et échanges riches : Youn, Laëti, Tim, Anne, Aline, Antonin, les Troadecs, le scrapo, les gens d'Amzer nevez, le café Théodore, Inès & Alice, Romain & Médu, ... (*pour sauver la planète, je laisse les points de suspension faire leur travail*). Merci à toute la troupe de la Tique, de Gom à Léa en passant par Bigoud, Théo ou Alex pour ces ateliers et soirées d'impro qui ont souvent permis une totale déconnexion bénéfique. Merci également à la bande de Chatô & associé-e-s : Owen, Alan, Tim, Gaëlle, Omri, Marloes, Louise, Jéjé, Yannou, Fanou, Max, Laurent, ... que j'ai eu plaisir à voir dès que c'était possible et avec qui nous aurons eu des échanges à différents stades de cette thèse. En revanche, je ne remercie pas « Des vétos », toujours dans les mauvais coups. Merci à mes compères musiciens et sonneurs pour ces projets montés, ces scènes partagées entre deux chapitres/articles/simulations : Mathieu, Ewan (merci en particulier pour ta patience, dans ces périodes de boulot qui ne m'ont pas laissé beaucoup de temps, ainsi que pour tes coups de main), Koko, Dorian, Odin, Guillaume, Pierre-Yves (haaaa Hambourg...). Merci bien sûr à toute ma famille, et notamment à Félix, Monique, Benoit, Anne-Hélène, Erwan et Aude ainsi qu'à mes parents pour leur soutien, leur aide en un peu de tout et leur accompagnement que je peux aussi qualifier de parfait ! Et enfin merci à toi Solen, pour ton amour, tes encouragements et pour cette histoire qui s'écrit au quotidien. À vous tous, c'est un immense merci qui va bien au-delà de cet exercice de thèse, un immense merci d'exister et d'être ce que vous êtes. Pourvu que ça dure !

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	3
REMERCIEMENTS	5
SOMMAIRE	9
INTRODUCTION GENERALE	13
CHAPITRE I. LES MODES DE VIE, NOTION ET ENJEU ENERGETIQUE	20
1.1 MODES DE VIE : DE QUOI PARLE-T-ON ?.....	21
1.1.1 UNE NOTION MULTIDIMENSIONNELLE.....	23
1.1.2 LES MODES DE VIE COMME GRILLE DE LECTURE DES TRANSFORMATIONS SOCIALES.....	32
1.1.3 MUTATIONS PASSES DES MODES DE VIE.....	36
1.1.4 CONCLUSION.....	41
1.2 DES MODES DE VIE A L'ENERGIE	43
1.2.1 LES MODES DE VIE COMME FACTEUR EXPLICATIF DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE.....	44
1.2.2 LES MODES DE VIE COMME DETERMINANT STRUCTUREL DES USAGES DE L'ENERGIE	48
1.2.3 DES DIMENSIONS DES MODES DE VIE AUX USAGES DE L'ENERGIE	53
1.2.4 PLACE DES MODES DE VIE DANS LA CHAINE DE TRANSFORMATION DE L'ENERGIE	55
1.2.5 CONCLUSION.....	57
1.3 CONCLUSION DU CHAPITRE	58
CHAPITRE II. ÉNERGIE ET FUTURS MODES DE VIE : ETAT DE L'ART ET POSITIONNEMENT DE NOTRE CONTRIBUTION	60
2.1 LES MODES DE VIE DANS LA PROSPECTIVE ENERGETIQUE : ETAT DE L'ART	61
2.1.1 INTRODUCTION A LA PROSPECTIVE ENERGETIQUE.....	61
2.1.2 LES MODES DE VIE DANS LA PROSPECTIVE ENERGETIQUE : ANALYSE D'EXERCICES FRANÇAIS.....	65
2.1.3 ENSEIGNEMENTS D'EXERCICES DE PROSPECTIVE PIONNIERS POUR LEUR PRISE EN COMPTE D'ÉVOLUTIONS DES MODES DE VIE	76
2.1.4 CONCLUSION ET ENSEIGNEMENTS POUR NOS RECHERCHES	94
2.2 MODELISATION ENERGETIQUE ET REPRESENTATION DES COMPORTEMENTS.....	101
2.2.1 PARADIGMES ASSOCIES A L'HYPOTHESE DE RATIONALITE	101
2.2.2 AUTRES PRINCIPES DE REPRESENTATION DES COMPORTEMENTS	108
2.2.3 CONCLUSION.....	110
2.3 POSITIONNEMENT DE NOTRE RECHERCHE	112
2.3.1 EXPLORER LA DIVERSITE DES FUTURS POSSIBLES.....	112
2.3.2 ALLIER APPROCHE QUALITATIVE ET MODELISATION PROSPECTIVE.....	113
2.3.3 REPRESENTER LES MODES DE VIE POUR QUANTIFIER LES USAGES DE L'ENERGIE	115
2.4 CONCLUSION DU CHAPITRE	118

CHAPITRE III. PROPOSITION D'UNE APPROCHE QUANTITATIVE DES MODES DE VIE POUR LA PROSPECTIVE ENERGETIQUE.....120

3.1	MODE DE REPRESENTATION DE LA POPULATION ET DE SES MODES DE VIE	121
3.1.1	EXPLOITATION D'UNE COMBINAISON DE BASES DE DONNEES STATISTIQUES NATIONALES	121
3.1.2	LA MATRICE POPULATION COMME MODALITE DE REPRESENTATION D'UNE POPULATION ET DE SES PRATIQUES 125	
3.2	PROCESSUS DE SIMULATION.....	128
3.2.1	ENRICHISSEMENT DE LA MATRICE POPULATION	128
3.2.2	ÉLABORATION DES MATRICES DE CORRELATIONS.....	132
3.2.3	SELECTION ET ORDONNANCEMENT DES VARIABLES.....	137
3.2.4	CONCLUSION.....	140
3.3	MODELISATION DE CHANGEMENTS DE MODES DE VIE	142
3.3.1	PRINCIPE DE L'INTRODUCTION DE CHANGEMENTS DANS LE PROCESSUS DE SIMULATION	142
3.3.2	TRANSFORMATION DES MATRICES DE CORRELATIONS	144
3.3.3	EXEMPLE DE TRANSFORMATION DE MATRICE DE TYPE <i>BACKCASTING</i> : EVOLUTION DES ASPIRATIONS DES MENAGES EN TERMES DE LOCALISATION	150
3.3.4	EXEMPLE DE TRANSFORMATION DE MATRICES DE TYPE <i>FORECASTING</i> : EVOLUTION DES ASPIRATIONS DES MENAGES EN TERMES DE LOCALISATION	155
3.3.5	CONCLUSION.....	163
3.4	MISE EN ŒUVRE OPERATIONNELLE DU PROCESSUS DE SIMULATION.....	164
3.4.1	ÉTAPES DE MISE EN ŒUVRE DU PROCESSUS DE SIMULATION	164
3.4.2	PROBLEMES LIES A LA MISE EN ŒUVRE OPERATIONNELLE	167
3.5	CONCLUSION DU CHAPITRE	171

CHAPITRE IV. EXPLORATION DE SCENARIOS D'EVOLUTION DES MODES DE VIE POUR LA FRANCE A L'HORIZON 2072.....172

4.1	CONTEXTE : L'EXERCICE « DESSINER UNE FRANCE ZERO EMISSION A L'HORIZON 2072 »	173
4.2	MISE EN ŒUVRE DU PROCESSUS DE SIMULATION DES MODES DE VIE : ESQUISSES DE SCENARIOS, CHOIX DE MODELISATION	175
4.2.1	PREFIGURATION DES SCENARIOS : TROIS TRAJECTOIRES D'EVOLUTION DES MODES DE VIE	175
4.2.2	SELECTION DES VARIABLES ET DEFINITION DES SUITES DE VARIABLES DU PROCESSUS DE SIMULATION	179
4.2.3	TRANSFORMATION DES MATRICES.....	193
4.2.4	EXTRACTION ET MISE EN FORME DES RESULTATS.....	207
4.2.5	CONCLUSION.....	209
4.3	RESULTATS DE SIMULATIONS DES USAGES ENERGETIQUES	211
4.3.1	USAGES RESIDENTIELS.....	211
4.3.2	USAGES INDIRECTS LIES A LA DEMANDE EN BIENS.....	213
4.3.3	USAGES LIES A LA MOBILITE	216
4.3.4	CONCLUSION ET DISCUSSION.....	218
4.4	MISE EN PERSPECTIVE DES RESULTATS	220
4.4.1	DEMANDE EN LOGEMENTS	220
4.4.2	DEMANDE EN BIENS ET SERVICES	221
4.4.3	DEMANDE EN MOBILITE	222
4.4.4	CONCLUSION ET DISCUSSION.....	225

4.5	EXPLOITATION DES RESULTATS DANS LA DEMARCHE « DESSINER UNE FRANCE ZERO CARBONE A L'HORIZON 2072 »	227
4.5.1	UNE APPROCHE MULTI-MODELE	227
4.5.2	DISCUSSION DES INTERACTIONS ENTRE MODELES	229
4.5.3	RESULTATS PRELIMINAIRES	234
4.6	CONCLUSION DU CHAPITRE	238
CHAPITRE V. DISCUSSION ET CONCLUSIONS		240
5.1	REFLEXION SUR LE PRINCIPE DE "MIMETISME" SOUS-JACENT A LA MODELISATION	241
5.1.1	CHANGEMENTS POUR LESQUELS L'APPORT DU MODELE EST LIMITE	241
5.1.2	CHANGEMENTS POUR LESQUELS L'USAGE DU MODELE EST PORTEUR	243
5.1.3	QUELS APPORTS POUR QUELS SCENARIOS ?	245
5.2	REFLEXION SUR L'USAGE DES ENQUETES COMME SUBSTRAT	247
5.2.1	LIMITES LIEES AUX INFORMATIONS DISPONIBLES SUR LES PRATIQUES	247
5.2.2	LIMITES LIEES A LA COMBINAISON D'ENQUETES	250
5.2.3	LIMITES CONCEPTUELLES DU PERIMETRE DES ENQUETES	253
5.3	REFLEXION SUR L'INFLUENCE DES POLITIQUES PUBLIQUES SUR NOS FUTURS MODES DE VIE	260
5.4	CONCLUSION GENERALE	265
5.4.1	BILAN DE LA RECHERCHE	265
5.4.2	PERSPECTIVES POUR DE FUTURS TRAVAUX	268
BIBLIOGRAPHIE		272
LISTE DES REFERENCES		272
BASES DE DONNEES		286
LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES		287
TABLEAUX		287
FIGURES		290
ANNEXES		296
ANNEXE 1.	DEUX EXEMPLES DE CADRES CONCEPTUELS	297
ANNEXE 2.	CORRESPONDANCE DES INDICATEURS D'ANALYSE DE L'ETUDE DES EXERCICES DE PROSPECTIVE FRANÇAIS ET DES DIMENSIONS DES MODES DE VIE	299
ANNEXE 3.	COMPLEMENT RELATIF AU MODELE IMAGE	300
ANNEXE 4.	LA NOTION DE VARIABLE ET SES QUALIFICATIFS	301
ANNEXE 5.	DIMENSIONS DES MODES DE VIE : INTITULES ET QUESTIONS	303
ANNEXE 6.	ILLUSTRATION DES CONSEQUENCES D'UN CHANGEMENT DE MODE DE VIE A L'ECHELLE INDIVIDUELLE	304
ANNEXE 7.	SEGMENTATION DE LA POPULATION	306
ANNEXE 8.	MATERIEL UTILISE ET OUTILS DEVELOPPES	307
ANNEXE 9.	APERÇU DU FICHIER DE PILOTAGE DU PROCESSUS	308
ANNEXE 10.	STRATEGIES DE GESTION DE LA TAILLE DE LA MATRICE POPULATION	310
ANNEXE 11.	DEUX VARIABLES POUR CARACTERISER LES CHOIX DE LOCALISATION DES MENAGES	312
ANNEXE 12.	DETAIL DES HYPOTHESES DE TROIS SCENARIOS POUR LA FRANCE	314

INTRODUCTION GENERALE

Que l'on vive au Mali, au Laos ou en France ; que l'on vive au cœur d'une grande métropole, dans un petit village isolé ou seul au fin fond d'une forêt ; que l'on soit encore un enfant, en pleine force de l'âge ou que l'on ne compte plus son âge ; nous, les êtres humains, ne cessons de nous affairer. Nous nous affairons tantôt à préparer un repas, tantôt à passer du temps avec nos proches, à nous mouvoir, à travailler, à surmonter nos peines, à rire ou encore à rêver. Certaines de nos activités sont communes à tous les Hommes. D'autres, la plupart, sont spécifiques à certains ou sont réalisées selon des modalités bien différentes selon notre physiologie, notre culture, nos préférences, nos ressources... mais aussi selon notre environnement, ce qui se présente à nous, ce à quoi nous avons accès. Tout cela détermine notre façon de vivre, nos modes de vie.

La diversité de nos modes de vie est infinie. De l'habitant d'un village rural niché sur les pentes du Haut Atlas à celui d'une banlieue de Chicago, les possibilités d'activités, leur temporalité, les distances parcourues ou les relations aux autres individus sont radicalement différentes. Les besoins en énergie qui en résultent sont également sans commune mesure entre ces deux individus. Cet habitant de Chicago aura besoin de plusieurs litres de carburant par jour pour ses trajets quotidiens en voiture, d'électricité pour faire fonctionner son lave-vaisselle ou cuire ses aliments, de gaz pour chauffer son vaste logement l'hiver ou encore de kérosène pour partir en vacances en Floride. À cela s'ajoute l'énergie nécessaire à la fabrication et l'acheminement des aliments, du lave-vaisselle, de l'avion, ou encore de la voiture qu'il utilise. Les besoins du second individu porteront sur un ensemble plus restreint d'usages, et occasionneront *a priori* bien moins d'émissions de gaz à effet de serre.

Dans l'œil du cyclone...

« *The American way of life is not up for negotiations. Period.* »². Prononcée par Georges H.W. Bush (père), alors président des États-Unis, en réponse aux critiques émises envers son pays à l'occasion du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, cette phrase fait office de symbole de la posture longtemps adoptée par les États-Unis dans les négociations internationales sur les enjeux du développement durable, sur le climat en particulier. Cette déclaration révèle également le rôle attribué au mode de vie dans la transformation de l'environnement global (modification du climat, épuisement de ressources non renouvelables). Car si à l'aube de ce rendez-vous historique certains pays industrialisés se trouvent "dans l'œil du cyclone" pour leur surconsommation de ressources non renouvelables – eau, nourriture et énergie –, plus que des gouvernements, c'est un mode de

² « *Le mode de vie des Américains n'est pas négociable. Point.* »

vie et le modèle de développement qu'il sous-tend qui sont en cause. Ce mode de vie est basé sur la vitesse (Illich, 1975) et surtout le *consommérisme*³, qui a connu un essor très rapide après la Seconde Guerre mondiale dans les pays industrialisés. Alors qu'il constitue l'un des principaux moteurs de l'usage de ressources et de la dégradation de l'environnement global (Assadourian, 2010), le mode de vie consumériste tend à être imité dans les pays émergents et en développement par les élites (Pow, 2011) et la classe moyenne (Cleveland et Laroche, 2007). Toujours d'actualité vingt-cinq ans après le sommet de Rio, le constat est encore considéré comme « *clair et partagé : les modes de vie actuels des pays industrialisés ne sont pas soutenables* » (Monnoyer-Smith, 2016), ce qui est d'autant plus vrai dans un contexte de croissance démographique et d'élévation globale du niveau de vie. Toutefois, ce constat a son corollaire.

En effet, s'ils sont érigés en responsables, les modes de vie sont également considérés comme l'une des clés pour parvenir à un modèle de développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à subvenir aux leurs, selon la définition du développement durable introduite en 1987 dans le rapport Brundtland. Déjà à cette époque, les auteurs de ce rapport considéraient que « *pour que le développement durable puisse advenir dans le monde entier, les populations les plus riches doivent adopter un mode de vie qui respecte les limites écologiques de la planète* », précisant que cela valait « *notamment pour la consommation d'énergie*⁴ » (Brundtland et al., 1987). Les appels à une mutation des modes de vie face à la crise écologique émanent également de penseurs, philosophes ou sociologues – comme André Gorz (Gorz, 1977), Edgar Morin (Morin, 2011), Pierre Rabhi (Rabhi, 2010) ou encore Michael Löwy (Löwy et Sayre, 1992) – ainsi que de responsables politiques comme le Premier ministre indien Narendra Modi⁵, ou religieux comme le pape François⁶.

La perspective de cette mutation, appelée de longue date mais encore loin d'être effective, soulève de multiples questions : quels futurs modes de vie doit-on inventer ou encourager ? Quelles manières de consommer, d'habiter ou de se déplacer répondent aux objectifs du développement durable ? Comment faire en sorte que ces nouveaux modes de vie soient désirables, et en particulier plus désirables que le mode de vie consumériste ? Comment une transition peut-elle advenir ? Comment l'encourager ? Peut-on l'encourager ? Toutes ces questions montrent que la réflexion à mener est profonde et mérite d'être éclairée.

³ Le consumérisme est défini comme un paradigme culturel où : « *the possession and use of an increasing number and variety of goods and services is the principal cultural aspiration and the surest perceived route to personal happiness, social status and national success* » (Assadourian, 2010).

⁴ « *Sustainable global development requires that those who are more affluent adopt life-styles within the planet's ecological means - in their use of energy, for example.* » (Brundtland et al., 1987) ; p.16).

⁵ « *L'aspect sur lequel j'attire l'attention de la communauté internationale est que nous devons changer nos modes de vie* », cité par Vivien et Damian (2017).

⁶ « *L'obsession d'un style de vie consumériste ne pourra que provoquer violence et destruction réciproque, surtout quand seul un petit nombre peut se le permettre* », cité par Vivien et Damian (2017).

Une question relativement peu abordée

L'ampleur des enjeux liés aux modes de vie a conduit la communauté scientifique à s'emparer de la question, notamment dans le contexte de la lutte contre le changement climatique. Ainsi, le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) accorde davantage de place aux modes de vie durables que la version qui l'a précédé (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014, 2007), bien que Dubois et Céron (2015) estiment que la question n'y soit pas encore considérée à hauteur de son importance. Ces mêmes auteurs reconnaissent en la période actuelle « *un "moment" des politiques climatiques où l'on se rend compte que l'on ne pourra pas éviter de toucher aux modes de vie* » (Dubois et Céron, 2015). Cette formulation reflète le point de vue d'autres représentants de la communauté scientifique qui perçoivent les limites des solutions les plus étudiées pour faire face au changement climatique, à savoir celles qui reposent sur des bases technologiques (Moriarty et Wang, 2014; Trainer, 2007) et celles qui reposent sur des bases économiques, qui s'exposent notamment à des problèmes d'acceptabilité (voir p. ex. Baranzini et Carattini, 2014). De tels raisonnements ont motivé des travaux cherchant à décrire des modes de vie « soutenables » (Druckman et Jackson, 2010; Mont et al., 2014; Neuvonen et al., 2014), à étudier les voies pour y parvenir (Tukker, 2008) ou à encourager les citoyens à adopter des modes de vie « bas carbone » (Goodall, 2010).

Ainsi, la question des modes de vie a vu l'attention qui lui est accordée se renforcer ces dernières années dans les contextes du changement climatique et de la transition énergétique. Toutefois, le niveau de connaissances associé demeure à distance de celui qui a trait aux instruments économiques ou aux technologies qui accroissent l'efficacité énergétique ou le recours aux énergies renouvelables. Il s'agit là de l'un des constats qui nous ont encouragé à mener des recherches sur ce sujet.

Penser nos futurs modes de vie

L'autre constat à l'origine de nos travaux est issu du diagnostic « de terrain » que nous avons établi dans le contexte français et énoncé en avant-propos. Selon ce diagnostic, les modes de vie sont unanimement considérés comme l'une des clés pour atteindre les objectifs ambitieux d'une transition vers un futur soutenable mais leur évocation dans les politiques publiques demeure à l'état incantatoire, ou au mieux à l'état fragmentaire. Nos recherches ont dès lors été guidées par la question suivante : comment encourager l'intégration des modes de vie dans la réflexion et l'action pour une transition énergétique ou vers une société « bas carbone » ?

Nous avons choisi de concentrer nos recherches sur la démarche prospective, qui est à la fois un moyen d'alimenter le débat sur nos futurs modes de vie et l'un des outils d'aide à la décision privilégiés pour éclairer les politiques de l'énergie et du changement climatique

dont les enjeux portent sur les moyen et long termes. Notre contribution se veut conceptuelle et méthodologique et a vocation à enrichir des démarches de prospective énergie-climat. Son objectif sera plus précisément de rendre possible la quantification des impacts sur le système énergétique de scénarios relatifs à nos futurs modes de vie. L'une des finalités possibles est ainsi de faciliter la discussion du rôle des futurs modes de vie dans la transition énergétique.

Organisation du manuscrit

Le *premier chapitre* de cette thèse constituera une introduction à la notion de mode de vie d'une part, et à son lien avec la problématique énergétique d'autre part. Bien qu'elle fasse partie du langage courant, il est nécessaire de préciser les contours et le contenu de la notion de mode de vie afin de faciliter sa manipulation. Dans la suite de ce chapitre, nous nous appuierons sur la littérature pour qualifier et préciser le rôle des modes de vie dans le contexte énergétique.

Le *deuxième chapitre* sera consacré à un état de l'art du champ de la prospective énergétique où nous nous focaliserons sur la manière dont est abordée la question des modes de vie. Étant au cœur de la pratique de la prospective, nous nous intéresserons notamment à l'usage de modèles et à leurs conséquences sur l'élaboration de scénarios. Cette analyse des pratiques existantes nous fournira alors un cadre qui nous permettra, en fin de chapitre, de positionner notre contribution. Celle-ci prendra la forme de développement en termes de modélisation des modes de vie.

Le *troisième chapitre* nous donnera l'occasion de décrire notre proposition d'approche quantitative des modes de vie pour la prospective énergétique. Nous détaillerons en particulier les choix de modélisation effectués pour représenter les futurs modes de vie et le processus de simulation qui permet d'évaluer leurs conséquences sur la demande énergétique.

Dans le *quatrième chapitre*, nous mettrons en application le modèle proposé afin de simuler trois scénarios d'évolution des modes de vie. Ce chapitre aura vocation d'une part à illustrer les étapes de mise en œuvre du processus de simulation et d'autre part à constituer un exemple d'exercice de prospective énergétique dont la principale force motrice est l'évolution des modes de vie. Les enseignements porteront donc à la fois sur les résultats de l'exercice et sur la méthodologie employée.

Dans le *cinquième et dernier chapitre*, nous porterons un regard réflexif sur la méthode proposée, et en particulier sur ses limites, avant de conclure sur l'ensemble de la démarche de recherche. La fin du chapitre sera l'occasion de proposer quelques perspectives de recherche.

Bilan des communications

COMMUNICATIONS ECRITES

Articles publiés dans revues à comité de lecture

Le Gallic T., E. Assoumou, N. Maïzi, P. Strosser, 2015. *Les exercices de prospective énergétique à l'épreuve des mutations des modes de vie*. VertigO - Rev. Électronique En Sci. Environ. [doi:10.4000/vertigo.15635](https://doi.org/10.4000/vertigo.15635)

Le Gallic T., E. Assoumou, N. Maïzi, 2017, *Future demand for energy services through a quantitative approach of lifestyles*. Energy 141, 2613–2627. doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.065

Le Gallic T., E. Assoumou, N. Maïzi, 2018, *Investigating long-term lifestyle changes: A methodological proposal based on a statistical model*. Sustainable Development 26, 159–171. doi.org/10.1002/sd.1727

Chapitre d'ouvrage

Millot A., R. Doudard, T. Le Gallic, F. Briens, E. Assoumou, N. Maïzi, 2018, *France 2072: Lifestyles at the Core of Carbon Neutrality Challenges*, in: *Limiting Global Warming to Well Below 2 °C*, Energy System Modelling and Policy Development, Lecture Notes in Energy. Springer, Cham, pp. 173–190. doi.org/10.1007/978-3-319-74424-7_11

Autres articles

Maïzi, N., E. Assoumou, T. Le Gallic, 2017, *La « Digital Society » : un scénario de transition énergétique à l'horizon 2072*. Annales des mines - Responsabilité et environnement, Transition numérique et transition écologique, pp.24-27.

COMMUNICATIONS ORALES

Communications en conférences avec actes

Le Gallic T., E. Assoumou, N. Maïzi: *Enhancing energy system models with a quantitative approach of future lifestyles*. 11th Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems Conference, Lisbon (Portugal); 09/2016.

Le Gallic T., E. Assoumou, N. Maïzi: *Investigating long-term lifestyles changes in France: a statistical and modelling approach*. 22nd International Sustainable Development Research Society Conference, Lisbon (Portugal); 07/2016. **Best paper award (1st price)**.

Communications en conférences sans actes

Le Gallic T., E. Assoumou, N. Maïzi: *Énergie, mode de vie et modélisation prospective : une approche quantitative*. Colloque « Sciences sociales et transitions énergétiques », Grenoble (France); 05/2015

Doudard R., A. Millot, Le Gallic T., E. Assoumou, N. Maïzi : *Carbon neutrality challenges for France in 2072*. International Energy Workshop, Maryland (USA); 07/2017

Millot A., E. Assoumou, F. Briens, R. Doudard, T. Le Gallic, N. Maïzi, 2016, Towards a 1.5 degree compatible energy system for France. 28th European Conference on Operational Research - Long Term Planning in Energy, Environment and Climate, Poznan (Poland); 07/2016.

Autres communications orales

Millot A., T. Le Gallic, R. Doudard, *Dessiner une France zéro carbone en 2072*. Journée de la chaire "Modélisation prospective au service du développement durable", Paris (France); 12/2016

Le Gallic T., *Énergie et futurs modes de vie. Comment modéliser l'évolution des modes de vie dans les exercices de prospective énergétique ?*. Poster pour la journée de la chaire "Modélisation prospective au service du développement durable", Paris (France); 12/2016

Le Gallic T., E. Assoumou, P. Strosser, *Prise en compte des modes de vie dans les exercices de prospective énergie-climat*, présentation invitée au Réseau PROSPER (réseau des responsables de prospective de la recherche publique française) ; 10/2015

Le Gallic T., 2016, Participation au concours "*Ma thèse en 180 secondes*" (finaliste des sélections "PSL Research University"); 04/2016

CHAPITRE I

LES MODES DE VIE, DEFINITION ET ENJEU ENERGETIQUE

La notion de *mode de vie* est située au cœur de nos recherches et nous y consacrerons donc la première section (1.1). Nous chercherons dans un premier temps à définir ses contours et son contenu qui, bien que la notion appartienne au langage courant, sont loin d'être immédiats. Dans un second temps nous continuerons à nous familiariser avec elle par une exploration conceptuelle et de son usage. Nous verrons notamment qu'elle présente un intérêt pour l'analyse des transformations sociales, et en cela un intérêt pour nos recherches.

Dans la seconde section (1.2), nous examinerons le lien entre modes de vie et énergie, ce qui nous permettra de mieux cerner l'enjeu que représente la réflexion sur les futurs modes de vie dans le contexte de la transition énergétique (ou d'une transition vers une société « bas carbone »). Nous mobiliserons à cette fin des auteurs et travaux qui ont étudié ce lien à partir des années 1970. Nous verrons ainsi que le sujet a été abordé sous différents angles et avec des méthodes contrastées.

1.1 MODES DE VIE : DE QUOI PARLE-T-ON ?

Modes de vie, styles de vie, genres de vie, habitudes, *habitus*, comportements, pratiques sociales, conduites, ... ces notions constituent un corpus de termes se référant à l'être, à l'agir des êtres humains⁷. La notion de « mode(s) de vie » que nous avons choisi d'étudier se situe au beau milieu de ce champ sémantique, dans un enchevêtrement de relations avec les autres termes. Notion familière, car utilisée dans le langage courant, elle a la particularité pour qui s'y intéresse de plus près d'être délimitée par des contours mouvants. Les nuances dans l'acception de la notion la rendent même difficile à définir selon Emelianoff et al.(2013)⁸. Le sociologue Pierre Kende – qui en a fait un objet d'étude de la société dans les années 70 – indiquait à ce sujet « *qu'il a d'ailleurs été reconnu qu'il serait "illusoire d'espérer qu'on puisse définir le mode de vie d'une façon unitaire, objective et arrêtée une fois pour toutes"* (Kende, 1973) » (Kende, 1976). Mais cette propriété de plasticité – en adéquation avec le fait que la notion vise à détourner un objet aussi riche et multiforme que la vie des êtres humains – ne constitue pas une raison de se priver de son usage, bien au contraire. Le tout est alors de s'accorder sur les frontières de l'objet étudié, ce qui constitue l'ambition de cette section. Nous y présentons donc la notion de mode de vie telle que nous la concevrons dans nos recherches.

Le sociologue Gérard Mauger propose, « *pour fixer provisoirement les idées, [de] définir un mode de vie comme un ensemble de pratiques et/ou de représentations propres à un groupe social* » (Mauger, n.d.). Par *pratique sociale* (parfois réduit à *pratique*), on entend en sociologie un « *comportement habituel d'un individu ou d'un groupe* »⁹. Le terme de pratique se rapporte plus généralement « *à toute activité humaine et s'oppose à la théorie, alors considérée comme abstraite* » (Weil, n.d.). Les pratiques désignent ainsi la manifestation visible de l'agir humain. Les *représentations sociales* sont au contraire plutôt invisibles, étant définies comme un ensemble de connaissances et de croyances par lesquels l'esprit humain appréhende son environnement, oriente et justifie ses comportements. « *On reconnaît généralement que les représentations sociales, en tant que systèmes d'interprétation régissant notre relation au monde et aux autres, orientent et organisent les conduites et communications sociales. De même interviennent-elles dans les processus aussi variés que la diffusion et l'assimilation des connaissances, le développement individuel et collectif, la définition des identités personnelles et sociales, l'expression des groupes, et les transformations sociales* ». (Jodelet, 2003).

Cette notion de système d'interprétation est à la base de deux caractéristiques essentielles de la notion de modes de vie : sa dimension *structurelle* d'une part et le fait que son emploi suggère une idée de *cohérence* d'autre part. L'idée de cohérence est évoquée par exemple

⁷ Voir d'autres êtres vivants pour certains de ces termes.

⁸ « *Il est très difficile de se mettre d'accord sur une définition des modes de vie, que ce soit entre les différentes écoles en sociologie, ou entre les différentes disciplines* » (Emelianoff et al, 2012).

⁹ <http://www.cnrtl.fr/definition/pratique>

par Yannick Lemel¹⁰ dans cet extrait : « *Les pratiques quotidiennes, la vie de tous les jours – utiliser un robot ménager, faire les courses – comme les événements exceptionnels – que faire lorsqu'on vous expulse de votre logement ? – ne se déroulent pas de manière quelconque et au hasard, et le sociologue des modes de vie doit décrire et expliquer comment et pourquoi les activités d'un individu ou d'une famille constituent un ensemble structuré.* » (Lemel, 1994). Cette cohérence des pratiques est ainsi en partie expliquée par l'existence d'un système d'interprétation. Quant à la dimension structurelle, elle est évoquée par le sociologue Hartmut Lüdtke quand il définit les modes de vie comme « *habitudes régulières de comportement, qui reflètent des situations structurelles en même temps qu'un comportement habituel et des affinités sociales* » (Lüdtke, 1996). Cette dimension structurelle est utile dans notre contexte de recherche car elle nous permet de nous focaliser sur des comportements qui ont une certaine récurrence, une certaine persistance tels que les activités qui génèrent une mobilité régulière ou qui sont signifiantes pour la vie menée. La notion de cohérence nous permet quant à elle de percevoir ces comportements dans un cadre commun.

Ces deux premiers points permettent de situer la notion de modes de vie par rapport à la notion de *comportement*, également employée régulièrement dans le champ de la transition énergétique ou du changement climatique, en particulier dans le cadre d'injonctions aux « changements de comportements », à « agir sur les comportements ». Cette dernière notion est par exemple utilisée pour distinguer les facteurs humains (comportementaux) des facteurs non humains (facteurs techniques, technologiques) en vue d'expliquer la consommation d'énergie des ménages. Si elle a une signification relativement précise dans le champ de la psychologie¹¹, le terme a été repris dans le langage courant dans un sens plus général (« *manière d'être ou d'agir d'une personne* »¹²). Ainsi la notion de comportement peut englober l'ensemble de l'agir humain (actes isolés et ensembles d'actions, actes anodins ou décisifs, habitudes et actes à caractère exceptionnel). Elle se distingue donc de celle de mode de vie qui désigne une partie de ces comportements : ceux qui revêtent un caractère habituel et structurant et qui s'inscrivent dans un cadre de cohérence. En outre, la notion de comportement caractérise uniquement les faits et geste observables et n'englobe donc pas les représentations, c'est-à-dire le système d'interprétation qui régit les comportements observés, au contraire de la notion de modes de vie.

Nous avons jusqu'à présent évoqué les modes de vie comme un ensemble de pratiques et représentations communes à un groupe social. En fait, la notion de mode de vie peut tout aussi bien caractériser les pratiques et représentation d'un groupe social (p. ex. mode de vie étudiantin) que celles d'un individu ou d'une population toute entière (p. ex. mode de vie

¹⁰ Yannick Lemel fut à la tête du groupement de recherches « Modes de vie » du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) de 1990 à 1998. La notion ne constituait toutefois pas l'objet d'étude du groupe de recherches, mais davantage un « chapeau » permettant d'englober un ensemble d'objets de recherche (d'après un échange tenu avec Yannick Lemel le 17 octobre 2016).

¹¹ « *Ensemble des réactions observables chez un individu placé dans son milieu de vie et dans des circonstances données.* » <http://www.cnrtl.fr/definition/comportement>

¹² <http://www.cnrtl.fr/definition/comportement>

occidental). Choisir de se focaliser sur l'individu ou sur un groupe d'individus pose alors une question de niveau d'observation, de distance focale. Mais cela fait également écho à la problématique de la part relative des choix individuels et des déterminants collectifs dans la conduite des individus. Cette problématique nous incite à aborder deux autres notions qui rendent également compte d'un ensemble de pratiques et de représentations propres à un individu ou à un groupe d'individus : les notions de *style de vie* et de *genre de vie*. La notion de *genre de vie* fait ainsi la part belle aux déterminants collectifs tandis que la notion de *style de vie* focalise davantage sur la part des choix individuels. Quant-à-elle, la notion de mode de vie possède une grande souplesse d'interprétation car elle couvre l'ensemble du spectre et peut donc inclure ces deux notions. Ajoutons que pour distinguer modes de vie et styles de vie, les notions de *valeur* et de *distinction* prennent plus de sens dans le style de vie (Valette-Florence, 1994). La notion de style de vie sera ainsi plus adaptée à l'activité d'analyse, en particulier en sociologie (p. ex. « quel est la part de choix individuels dans un ensemble de déterminants collectifs ? »). La notion de mode de vie, plus courante, plus « neutre » (d'un point de vue disciplinaire) et ayant une acception plus large sera particulièrement adaptée dans le cadre de nos recherches qui ne visent pas à éclairer cette frontière entre déterminants individuels et collectifs. Néanmoins, la frontière est mouvante entre les termes de style et de mode de vie en fonction des disciplines les invoquant, des périodes... d'autant que le terme *lifestyle* en anglais peut couvrir les deux (alors que *way of life* correspond davantage au mode et genre de vie).

Ainsi la notion de mode de vie désigne, pour un individu ou un groupe d'individus, un ensemble de pratiques et de représentations possédant un caractère structurel et suggérant une idée de cohérence. Ces pratiques et représentations permettent d'aborder les différentes dimensions de la vie : on parlera par exemple de pratiques de sociabilité, de pratiques de mobilité ou encore de pratiques festives. Cette déclinaison est particulièrement adaptée à notre recherche, puisque nous chercherons à faire émerger de la notion de mode de vie une grille d'interprétation des décisions dont nous souhaitons analyser l'impact sur le long terme (cf. partie 1.1.2). C'est pourquoi nous proposons d'explorer et d'approfondir le caractère multidimensionnel du mode de vie dans la partie suivante (1.1.1). Dans la dernière partie (1.1.3), nous exploiterons la grille que nous proposons afin de rendre compte des mutations des modes de vie survenus au cours du XX^{ème} siècle.

1.1.1 Une notion multidimensionnelle

En tant qu'objet ou cadre d'analyse, la notion de mode de vie est systématiquement considérée comme une notion multidimensionnelle, dans le sens où elle aborde différentes dimensions de la vie des individus ou des ménages. Pour rendre compte de cette spécificité et introduire ces différentes dimensions, nous nous appuyons ici sur les découpages adoptés dans sept publications accordant une place importante aux modes de vie.

Les trois premières sont des publications des années 1970 ou 1980, une époque à laquelle l'intérêt pour les analyses des modes de vie grandissait avec l'accès à des séries de données diversifiées et uniformisées, rendant possibles les comparaisons internationales ou inter-temporelles. La première publication dresse un état des travaux français relatifs à la prospective des modes de vie et de la consommation (Kende, 1976). La seconde propose une analyse comparative des modes de vie des pays d'Europe de l'Ouest (Scardigli, 1987). L'auteur s'interroge d'une part sur les homogénéités et hétérogénéités des modes de vie entre pays européens, mais aussi sur leur homogénéisation entre les années 1960 et les années 1980. La troisième publication se penche sur la différenciation des modes de vie dans trois pays du bloc soviétique (Hongrie, Pologne et Tchécoslovaquie), région du monde où les analyses des modes de vie ont constitué un thème privilégié de la réflexion idéologique et de la recherche sociologique (Vavàková, 1984).

Les deux publications suivantes sont plus récentes et sont issues de travaux préparatoires à des exercices de prospective. La première est une rétrospective des modes de vie en France entre les années 1960 et les années 2000 (Mor, 2010a) réalisée dans le cadre du projet *Prospective des modes de vie à l'horizon 2050 et empreinte carbone (PROMOV)*, projet sur lequel nous reviendrons (en particulier dans le chapitre 2). La seconde publication est le résultat d'un travail d'identification des variables relatives aux modes de vie et aux valeurs (Theys et Vidalenc, 2013) dans le cadre de la prospective du programme *Repenser les villes dans la société post-carbone* (également étudiée dans le chapitre 2)¹³.

Enfin, deux publications complémentaires ont été utilisées bien qu'elles soient moins centrées sur les modes de vie. La première propose une approche économique et sociologique de la consommation et des modes de vie en France sur un demi-siècle (Herpin et Verger, 2008). Les modes de vie y sont considérés comme une grille interprétative, permettant d'élargir la focale de l'analyse de la consommation. La seconde est une *Radioscopie de la France en mutation, 1950-2030* (Jouvenel et al., 2003) et propose une analyse rétrospective et prospective des mutations de la société française, se penchant en particulier sur les dimensions relatives aux modes de vie.

L'analyse de ces sept publications nous a permis d'élaborer une liste des dimensions considérées lorsqu'on aborde les modes de vie. Du fait du caractère souple de la notion de modes de vie, cette liste n'a pas l'ambition d'être exhaustive, universelle ou définitive mais nous aidera à affiner les contours de la notion. Nous avons cherché dans la mesure du possible à employer des termes « actifs », relatifs plus ou moins directement à des choix, conscients ou non. Le Tableau 1 récapitule les différentes dimensions prises en considération dans les sept publications analysées.

¹³ Soulignons ici que si nous mentionnons les auteurs du rapport, l'identification des variables résulte d'un travail collectif ayant impliqué d'autres personnes citées dans le rapport.

Tableau 1 : Dimensions prises en compte dans sept publications utilisant les modes de vie analysées. *La coloration d'une cellule en bleu foncé indique que la publication considère la composante comme une dimension des modes de vie. En bleu clair, la composante est abordée de manière plus superficielle.*

	Kende, 1976	Scardigli, 1987	Vavàková, 1984	Mor, 2011	Theys et Vidalenc, 2013	Herpin et Verger, 2008	Jouvenel et al, 2003
Pratiques de consommation							
Choix des modalités d'habitation							
Pratiques d'équipement et rapport aux technologies							
Pratiques culturelles et loisirs							
Pratiques de mobilité et rapport à l'espace							
Pratiques alimentaires							
Comportements démographiques							
Pratiques de cohabitations							
Pratiques de sociabilité							
Pratiques relative à la santé, attitudes à l'égard du corps							
Pratiques d'éducation des enfants et de formation							
Pratiques touristiques et du voyage de loisir							
Attitude à l'égard du travail							
Niveau de vie, revenus et distribution, comportements financiers							
Implications citoyennes							

Si les pratiques de consommations sont systématiquement considérées dans les analyses issues de ces publications, les autres composantes ne le sont pas. Les dimensions prises en compte dépendent à la fois du contexte dans lequel est utilisée la notion (étudiée en tant que telle ou grille de lecture pour un domaine d'étude donné) et – principalement pour les publications les plus anciennes – de la disponibilité des données.

Chacune de ces dimensions de la vie recouvre à des degrés divers des pratiques et des représentations. Par exemple, la dimension « pratiques alimentaires » a trait à la fois aux actes visibles (p. ex. régime alimentaire effectif, personnes avec qui sont pris les repas) et au système d'interprétation qui motive ces actes (p. ex. attitude vis-à-vis du bien-être animal, rapport aux autres). La notion de pratique est toutefois dominante dans la justification de ce « découpage » en dimensions, car les travaux sur lesquels il repose sont basés sur des données le plus souvent relatives à des actes visibles. Les représentations constituent ici plutôt un ensemble de valeurs, attitudes, croyances, normes et opinions individuelles ou collectives qui irrigueraient chacune des dimensions. Parmi celles-ci, figurent des représentations structurantes comme le rapport au temps, le rapport à l'espace, le rapport aux autres et le rapport à soi (à partir de Hérault, 2013). D'autres ont également été étudiées ponctuellement dans les sept publications analysées, comme la « foi technique », le rapport

à la religion, le rapport à la nature ou le rapport à l'égalité homme-femme. Ces différentes représentations relèvent généralement à la fois d'une composante collective et d'une composante individuelle.

La distinction de ces quinze dimensions ne constitue pas uniquement un enjeu sémantique, elle revêt également un caractère conceptuel et fonctionnel. En permettant de préciser ce que recouvre la notion de mode de vie, elles constituent l'armature d'un cadre conceptuel utile à la manipulation de la notion. Afin de développer ce cadre, nous détaillons dans le Tableau 2 – sans viser l'exhaustivité – les pratiques et représentations auxquelles font référence chacune des dimensions.

Tableau 2 : Proposition et définition de quinze dimensions des modes de vie en vue de la manipulation de la notion dans le cadre de nos travaux.

	DESCRIPTION
Pratiques de consommation	Dans les sept publications analysées, les pratiques de consommation sont considérées comme une dimension des modes de vie à part entière. Elles sont abordées en premier lieu à partir d'analyses de la structure de consommation, c'est-à-dire de la part des dépenses affectée à chaque poste de consommation (p. ex. alimentation, logement, loisirs et culture). Bien qu'aussi liée à des coûts de production de biens et services, la structure de la consommation rend principalement compte de l'importance accordée à différentes composantes de la vie, qu'il s'agisse de besoins fondamentaux (p. ex. s'alimenter, s'habiller, se loger) ou non (p. ex. se divertir, voyager, se cultiver)¹⁴. Elles peuvent ainsi renvoyer aux habitudes d'achat – fréquence et lieu des achats (p. ex. grande surface, marché de quartier, commerce électronique) – ou à des caractéristiques spécifiques de la consommation. Parmi celle-ci, citons celles qui ont trait aux modalités de conception et de production : les impacts environnementaux ou sociaux de la production, la distance entre le(s) lieu(x) de production et le lieu de consommation, ou encore l'intensité matérielle des produits ou services. Enfin, la consommation peut également être collaborative ou faire partie d'une économie circulaire, en mettant en jeu des pratiques de réemploi, de recyclage, de réutilisation ou de réparation. Le spectre couvert par cette dimension est donc particulièrement large et rejoint la plupart des autres dimensions mentionnées ci-après.
Pratiques de cohabitation	Les pratiques de cohabitation désignent la situation des personnes habitant un même logement, c'est-à-dire appartenant à un même ménage. Parmi les pratiques les plus courantes, citons par exemple celles qui consistent : à vivre seul(e), à vivre en couple sans enfant, à vivre au sein d'une famille monoparentale, à vivre avec d'autres adultes sans faire partie d'un couple ou d'une famille (p. ex. dans le cadre d'une colocation). Les pratiques de cohabitation reflètent tout d'abord la structure des modèles familiaux : le modèle

¹⁴ La distinction entre besoins fondamentaux et non fondamentaux n'est pas nette. En effet, les dépenses effectuées pour des besoins considérés comme fondamentaux peuvent remplir un rôle allant au-delà de la satisfaction des besoins primaires, pour correspondre par exemple à une consommation de confort ou une consommation de luxe (avec la mise en jeu possible de la notion de distinction).

	multigénérationnel a laissé la place au modèle nucléaire (un couple vivant avec ses enfants) avant d'éclater au cours de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle sous l'impulsion de l'évolution des valeurs (p. ex. place de la femme (Ferrand, 2004), recul de la religion dans les années 1960-1970 (Gauchet, 1985; Lambert, 1993; Martin, 1978)), des évolutions économiques (notamment : élévation du niveau de vie, travail des femmes), démographiques (notamment : allongement de l'espérance de vie, recul de l'âge de départ du foyer parental) ou encore scientifiques et culturelles (notamment : généralisation des méthodes de contraception (Leridon et al., 2002)). Ces pratiques reflètent plus généralement aujourd'hui le rapport aux autres dans un système de contraintes donné (contraintes économiques, d'accessibilité du logement, etc.). La taille des ménages est la résultante de ces pratiques de cohabitation.
Choix des modalités d'habitation	Cette dimension adresse les questions relatives au choix des modalités d'habitation (hors pratiques de cohabitation) : où le ménage habite-t-il ? Dans quel type de logement ? Bien que soulevant des enjeux distincts, les deux premières questions sont imbriquées. La localisation de l'habitat désigne le type d'espace dans lequel se situe la résidence principale (par exemple : ville centre, banlieue, périurbain, rural ; il existe différentes modalités de classification des types d'espace). Par extension, elle peut aussi désigner un territoire (p. ex. Vosges, région Nantaise). Le type d'habitat qualifie son insertion ou non dans un immeuble collectif (appartement ou maison individuelle). Ces questionnements vont généralement de pair car un type d'habitat sera plus ou moins disponible selon le type d'espace (p. ex. ~28% des logements de l'unité urbaine de Paris sont des maisons individuelles aujourd'hui, contre ~93% dans les communes rurales). Ils résultent d'un arbitrage des ménages entre différents critères : aspirations en surface de logement, part du budget alloué, commodité d'accès aux services et au lieu de travail, perception des aménités et de la qualité environnementale, adéquation avec les souhaits de loisirs (p. ex. jardinage, vie citadine), type de voisinage souhaité (Bonvalet, 2001; Castel, 2006). Cet arbitrage est bien sûr effectué dans un tissu de contraintes dont le ménage doit s'accommoder : nature du parc de logements existants, politique foncière, revenus du ménage, etc.
Pratiques d'équipements et rapport aux technologies	Cette dimension désigne d'une part le rapport qu'entretient la société aux biens matériels et aux technologies, et d'autre part la manière dont celle-ci se traduit dans la possession d'équipements. Les principaux équipements dont il est question ici sont les appareils électroménagers, les biens d'ameublements et les biens du large champ des technologies de l'information et de la communication (p. ex. appareils audiovisuels, biens numériques, biens informatiques, téléphone, Internet). Les biens contribuant au confort thermique du logement (p. ex. système de chauffage), ou d'autres comme les équipements de jardin ou de bricolage peuvent également être mentionnés. La variabilité des pratiques se situe premièrement dans les niveaux d'équipements. Parmi les appareils électroménagers par exemple, si la quasi-totalité des ménages possède un réfrigérateur et une cuisinière électrique ou à gaz, ils ne possèdent pas tous de lave-vaisselle par exemple, et de nombreux ménages sont multi-équipés en téléviseurs quand d'autres n'en possèdent pas (Herpin et Verger, 2008). Par ailleurs certains biens peuvent également être possédés seul, ou être partagés entre plusieurs ménages (p. ex. lave-linge à l'échelle d'un immeuble), voire loués ou empruntés à l'occasion de leur utilisation. Les niveaux d'équipements en certains biens ont connu de profonds bouleversements au cours

	de certaines périodes (p. ex. diffusion rapide des appareils électroménagers au cours des 30 glorieuses, des biens informatiques à la fin des années 1990, puis au cours des années 2000). Ces niveaux d'équipements peuvent dépendre des revenus, de l'espace d'habitation, de la situation du ménage et de son rapport aux techniques et à la technologie. Ce rapport reflète la perception des technologies, leur place dans la vie des individus et dans la société ou encore l'extension de leur usage. Leur usage peut couvrir un éventail plus ou moins large d'activités (p. ex. loisirs, sociabilité) et à des niveaux d'intensité variés. Ces dernières années, le baromètre annuel du numérique du Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie (CREDOC) rend par exemple compte d'une large extension des domaines d'usage, interprétée comme l'émergence de la société du numérique (Croutte et al., 2016). Au niveau individuel, il est souvent mentionné les différences de rapport aux technologies entre générations, les jeunes générations adoptant plus rapidement que les plus anciennes des innovations technologiques (Perriault, 1989). D'autres facteurs liés aux valeurs individuelles peuvent également avoir de l'influence. Le goût pour l'innovation favorise un usage intensif et un renouvellement rapide des équipements, alors que certains courants de pensée prônent un détachement de leur usage et un équipement minimaliste. C'est le cas du mouvement de la décroissance par exemple (Latouche, 2006), ou encore des mouvements de simplicité volontaire qui se sont répandus aux États-Unis suite aux crises pétrolières de 1973 et 1979 (Leonard-Barton, 1981). Ces mouvements ont connus une grande variété de modalités d'expression.
Pratiques culturelles et loisirs	Dans les sept publications, les pratiques culturelles et de loisirs font partie des dimensions quasi-incontournables des modes de vie¹⁵. Ces pratiques couvrent un éventail large d'activités telles que la lecture, les sorties (p. ex. cinéma, théâtre, concerts, cirque, spectacle sportif), les pratiques artistiques (p. ex. musique, théâtre, sculpture), l'écoute de musique ou le visionnage de vidéos (p. ex. films, séries), les visites de musées ou du patrimoine, les activités ludiques (p. ex. jeux de société, jeux vidéo) ou encore l'écoute d'émissions de radio et de télévision (Herpin et Verger, 2008). A ces exemples s'ajoutent certaines activités dites domestiques aussi considérées comme des loisirs (p. ex. cuisine, jardinage), parfois appelées des <i>semi-loisirs</i>. D'un point de vue économique, ces derniers sont classés parmi les activités productives. Pouvant ou non générer des dépenses, ces activités sont menées au cours du temps libre, elles sont donc l'un des enjeux de l'usage du temps libre. Elles peuvent reposer sur l'usage d'équipements (p. ex. télévision, <i>smartphone</i>) et ainsi parfois en justifier l'achat (cf. dimension précédente). Ces activités sont aussi considérées comme jouant un rôle social, car représentatives de l'expression de l'identité des individus. Pour cela, elles constituent un champ d'étude particulièrement dense en sociologie, l'étude des activités culturelles étant par exemple à la base des travaux de Pierre Bourdieu sur la distinction dans le livre éponyme (Bourdieu, 1979).
Pratiques de mobilité et rapport à	Au-delà des motifs qui sont à l'origine des déplacements, les pratiques de mobilité et le rapport à l'espace ont trait à la fréquence des déplacements, aux modes de transport utilisés et à la localisation des activités pratiquées. Ce dernier point renvoie à deux notions : la notion d'espace de vie et la notion d'équilibre entre mobilité réelle et mobilité

¹⁵ Elles sont distinguées dans six des sept publications analysées, la septième n'abordant que l'usage de la télévision.

l'espace	virtuelle. L'espace de vie¹⁶ est composé d'un ensemble de lieux avec lesquels un individu est en interactions. Son étendue varie généralement de l'échelle du quartier ou du bourg d'un village à celle de la région pour les activités quotidiennes, et va au-delà pour les activités exceptionnelles (p. ex. voyages, visites) : échelle du pays, d'un continent voire de la planète entière. Le domicile peut occuper une place plus ou moins importante dans cet espace de vie. L'équilibre entre les interactions et activités réelles d'une part et virtuelles d'autre part est lié à l'usage de moyens de télécommunication. Des premières conversations téléphoniques aux visioconférences, le développement des activités et interactions virtuelles modifie la structure des besoins en mobilité réelle, sans pour autant s'y substituer. Le télétravail, les achats en ligne, l'entretien à distance du réseau social ou encore la pratique du jeu vidéo constituent autant d'exemples qui contribuent à déplacer l'équilibre "réel"/"virtuel", qui influe potentiellement à son tour sur l'espace de vie. La fréquence des déplacements résultera finalement de la richesse des activités pratiquées et de leur localisation (en lien notamment avec les deux points précédents). Pour se rendre sur les lieux d'activités, les modes de transport utilisés font partie intégrante des pratiques (p.ex. voiture, modes actifs, transports collectifs, covoiturage). L'ensemble de ces pratiques varie fortement d'un individu ou d'un groupe d'individus à l'autre, et constitue l'un des marqueurs des modes de vie.
Pratiques alimentaires	Si les pratiques alimentaires sont parfois considérées comme une composante des pratiques de consommation, elles sont aussi régulièrement considérées comme une dimension à part entière. En effet, leur évolution est considérée comme le reflet de l'évolution des modes de vie et des valeurs (Laisney, 2013; Roudaut et Lefrancq, 2008), et les pratiques alimentaires peuvent relever d'un certain art de vivre, alliant à des dimensions économiques des dimensions culturelles. Ces pratiques sont relatives aux achats alimentaires, mais également aux activités liées à la préparation du repas (cuisiner, faire la vaisselle) et aux modalités de prise des repas. Parmi ces modalités figurent le lieu (p. ex. à domicile, au restaurant), le temps passé, la compagnie (p. ex. repas pris seul, avec ses collègues, en famille) ou encore le degré d'implication dans la préparation (p. ex. plat cuisiné à domicile, plat surgelé, menu à emporter). Comme pour les pratiques de consommation, les habitudes d'achats (fréquence et lieu d'achat) ou les modalités de production (p. ex. aliment issu des industries alimentaires, de l'agriculture biologique, produit localement) importent également.
Pratiques de sociabilité	Les pratiques de sociabilité couvrent l'ensemble des interactions sociales d'un individu ou d'un ménage avec d'autres individus. Elles peuvent prendre une multitude de formes : conversations (réelles ou virtuelles), visites et réceptions, sorties, participation à des activités associatives ou encore services rendus. Les liens en jeu sont par exemple les liens de parenté, d'amitié, professionnels ou encore de voisinage. Ces pratiques peuvent donner lieu à des activités dédiées ou être combinées à d'autres activités (p. ex. loisirs), et peuvent ainsi faire partie du temps libre ou du temps

¹⁶ Notons que la notion d'espace d'activité est également utilisée avec un sens comparable.

	professionnel. Elles peuvent également se dérouler en tout lieu : à domicile, dans son quartier, à l'autre bout du monde, ... Elles sont finalement très variables d'un individu à l'autre, et prennent ainsi part dans la caractérisation des modes de vie.
Comportements démographiques	Les comportements démographiques portent sur des choix de vie tels qu'avoir des enfants, se marier, divorcer (par extension : se mettre en couple ou se séparer dans une société où l'institution du mariage perd du terrain) ou encore migrer. Les évolutions sociétales (comme celle du rôle de la femme, l'accès aux études supérieures d'une plus grande partie de la population) ont conduit par exemple au recul de l'âge moyen d'accouchement, passant de 26,5 en 1977 à 30,1 ans en 2013 (Insee, 2014). Notons que les facteurs démographiques, vus de manière générale, et ne relevant pas uniquement de choix directs tels que la structure des âges de la population ou l'espérance de vie, font partie d'une <i>toile de fond</i> sur laquelle s'installent les modes de vie. Cette toile de fond les influence sans être relative à des choix actuels des individus ou des groupes sociaux. La structure des âges résulte en effet d'une histoire de choix démographiques et de facteurs influençant l'espérance de vie à l'échelle de la société (notamment : performance du système de santé, modes de vie passés des individus) mais détermine la collection de modes de vie actuels à l'échelle macroscopique (p. ex. part de la population ayant un mode de vie étudiant ou de retraité).
Pratiques relatives à la santé, attitudes à l'égard du corps	La question du rapport au corps animait déjà les pensées des philosophes antiques. Épicure considérait ainsi que le bonheur est atteint quand la tranquillité de l'esprit (ataraxie) est associée à la tranquillité du corps (aponie). Dans le contexte qui est le nôtre, cette dimension a trait à la santé des individus – qui porte sur l'absence ou la présence de douleurs, de troubles qu'ils soient corporels et psychiques – mais aussi – plus généralement et au-delà de l'altération – à l'attention portée au corps. Cette attention prend la forme de ressources (temps, argent) consacrées à l'entretenir, l'habiller, en prendre soin, le sculpter, l'embellir (Fournier, 2002). En France, la progression des dépenses associées¹⁷¹⁸ (Herpin et Verger, 2008) et du temps passé à s'en occuper au cours du XX^{ème} siècle révèle le souci croissant du corps (Travaillot, 2002). Si certaines de ces dépenses et activités sont spécifiques (p. ex. consultation d'un médecin, achat de médicaments), d'autres irriguent d'autres dimensions des modes de vie à travers les choix effectués en matière d'alimentation, d'habillement, de loisirs (activité physiques) ou encore de déplacements (préférence pour des modes actifs).
Pratiques d'éducation et de formation	Les pratiques d'éducation et de formation couvrent l'ensemble des initiatives consistant à apprendre et développer les facultés, les capacités, les compétences, les aptitudes d'un individu. Le spectre qu'elles peuvent couvrir est infini : aptitudes physiques, aptitudes au langage, compréhension du monde (sciences naturelles, sciences humaines et sociales), vie en société, aptitudes à la communication, ... Le système éducatif et de formation est fortement imprégné de composantes culturelles. Il peut faire intervenir la famille (et plus généralement l'entourage), l'institution scolaire

¹⁷ Notons toutefois que pour l'habillement, les dépenses ont décliné mais les volumes consommés ont plutôt cru légèrement sur la période 1960-2008 malgré une période de stagnation dans les années 1980-1990 (Herpin et Verger, 2008).

¹⁸ Notons que les dépenses de santé comprenant une part importante de dépenses publiques, celles-ci sont comptabilisées en coefficient budgétaire de la consommation *effective* des ménages. Ce coefficient s'élevait à 5,2 % en 1960, 7,4 % en 1970 et 9,0 % en 1980, 11,4 % en 2000 et atteint 11,9 % en 2006 (Herpin et Verger, 2008).

	(correspondant à une prise en charge collective de l'éducation), l'enseignement supérieur (pour la formation des adultes, jeunes ou moins jeunes), ou encore d'autres formes moins institutionnelles (p. ex. éducation populaire). L'enfance et l'adolescence sont généralement considérées comme des périodes privilégiées pour l'éducation et la formation, bien qu'un individu ne cesse d'apprendre tout au long de sa vie. Depuis quelques années, les télécommunications ont également investi cette dimension des modes de vie (p. ex. enseignement à distance, introduction des algorithmes d'apprentissage notamment aux États-Unis (Singer, 2017)).
Pratiques touristiques et du voyage de loisir¹⁹	Le tourisme est défini selon l'acception commune « <i>comme une activité de loisirs qui implique un déplacement temporaire effectué pour le plaisir</i> » (Réau et Cousin, 2009), mais qui peut aussi comprendre les voyages de motifs professionnel ou médical selon la définition de l'Organisation mondiale du tourisme. L'ajout de la mention « voyage de loisir » dans l'intitulé est destiné à restreindre cette dimension à l'acception commune du qualificatif « touristique ». Cette dimension couvre donc l'ensemble des voyages ou séjours effectués pour des motifs de loisirs ou de visites à la famille ou aux amis. Contrairement à la plupart des autres dimensions de cette liste, les pratiques touristiques et du voyage de loisir ne s'inscrivent généralement pas à proprement parler dans un quotidien, et ont donc un caractère exceptionnel. Les pratiques touristiques sont caractérisées d'un point de vue objectif²⁰ par la fréquence, la durée et la destination des séjours, par les dépenses associées ainsi que par les activités pratiquées (p. ex. visites culturelles, activités sportives). Comme plusieurs des dimensions déjà décrites, les pratiques touristiques sont dépendantes du niveau de revenu et du temps disponible (Réau et Cousin, 2009). Elles résultent finalement d'un compromis entre un ensemble de critères personnels – critères qui font intervenir notamment des aspirations, des types d'activités pratiquées, un rapport à l'espace – dans un cadre de contraintes socioéconomiques (en particulier : ressources disponibles, accessibilité des destinations). Dans nos sociétés contemporaines, les pratiques touristiques ont acquis un rôle social à part entière et sont particulièrement valorisées (Réau et Cousin, 2009).
Attitude à l'égard du travail	L'attitude à l'égard du travail recouvre des notions telles que la satisfaction au travail, l'esprit d'entreprise, la durée du travail, la répartition de la charge de travail (entre hommes et femmes, par âge), l'arbitrage entre temps libre et argent voire les modalités de gestion des conflits liés au travail (Scardigli, 1987). Cette dimension détermine par extension la place du travail dans la société. Blanka Vavàková évoque par exemple l'évolution de sa place dans les sociétés de type soviétique par ces mots : « <i>L'idéologie productiviste des années cinquante et soixante en faisait encore une des valeurs collectives de base.</i> » Par la suite, « <i>ce droit au travail s'est transmué en une obligation de travail</i> » avant que « <i>le pouvoir [s'en serve] également pour entériner la répression par le travail</i> » (Vavàková, 1984).

¹⁹ L'ajout de la mention au « voyage de loisir » est destiné à préciser le qualificatif « touristique » qui – selon l'acception commune est défini « *comme une activité de loisirs qui implique un déplacement temporaire effectué pour le plaisir* » (Réau et Cousin, 2009), mais qui peut aussi comprendre les voyages de motifs professionnel ou médical selon la définition de l'Organisation mondiale du tourisme.

²⁰ Au sens de « mesurable ».

Participation(s) citoyenne(s), engagement politique	Cette dimension a trait à la participation active et consciente des individus (ou groupes sociaux) à la vie de la cité, à la « marche du monde ». Elle comprend bien sûr les modes de participation traditionnels au premier rang desquels le vote et l'adhésion aux organisations militantes (p. ex. partis politiques, syndicats, associations de parents d'élèves). Mais cette forme a tendance à reculer en France (Galland et Lemel, 2007) au profit d'autres formes d'engagement « <i>porteuses de nouvelles façons d'investir le politique</i> » (Bouver, 2016), plus diverses, plus labiles allant de la contestation au lobbying en passant par le boycott (Ion, 2001). Cette pluralité de forme d'engagement conduit à repenser le cadre de l'action politique, celui-ci pouvant notamment imprégner les modes de vie et la vie quotidienne dans ce qui est décrit comme un « militantisme existentiel » (Arnsperger, 2009), observé par exemple dans l'engagement de la jeunesse face au défi écologique (Bouver, 2016).
Niveau de vie, revenus et distribution, comportements financiers	Si cette composante relève avant tout des <i>conditions de vie</i>, elle a été plusieurs fois traitée comme une dimension des modes de vie à part entière (cf. Tableau 1). Elle inclut à la fois une dimension individuelle (revenus perçus et disponibles, allocation des revenus entre épargne et consommation) et une dimension collective, puisqu'elle fait référence au niveau de vie général du pays et à la distribution des revenus (au sens statistique du terme). Au niveau individuel, elle peut être mise en lien avec l'attitude vis-à-vis du travail par la mise en jeu de l'arbitrage entre revenus et temps libre. Les comportements financiers, qui ont notamment des conséquences sur les revenus disponibles, mettent en jeu certains choix de vie mais aussi des composantes culturelles. Pour l'illustrer, mentionnons les travaux de Franco Modigliani (p. ex. Modigliani et Brumberg, 1954) qui a décrit les grands traits du lien entre ces comportements et le cycle de vie : le jeune adulte ayant des revenus faibles et une consommation élevée désépargne, puis la situation s'équilibre avant de connaître une période où il pourra épargner, notamment pour ses vieux jours²¹. Caractéristique des ressources à disposition des ménages ou des individus, cette dimension est sans doute davantage à considérer comme faisant partie de la toile de fond sur laquelle s'établissent les modes de vie.

1.1.2 Les modes de vie comme grille de lecture des transformations sociales

Le caractère multidimensionnel de la notion de mode de vie lui confère une certaine commodité d'usage pour l'analyse de la société et de ses transformations. En effet, elle offre *a minima* un « chapeau » permettant de couvrir différentes dimensions de la vie, et en allant plus loin elle peut constituer une grille de lecture ou d'interprétation d'un ensemble d'actes ou de choix. Dans ce cas, comme nous l'avons vu, elle désigne également le système d'interprétation de ces actes et de ces choix, qui constitue une part de leur cadre de cohérence.

²¹ Signalons qu'il est considéré que la Théorie du cycle de vie n'explique qu'en partie les comportements actuels.

Plusieurs auteurs que nous avons étudiés proposent un cadre conceptuel faisant des modes de vie un outil d'analyse des actes et des choix des individus ou ménages dans le contexte des enjeux énergétiques et du changement climatique. Parmi ceux-ci, nous retiendrons en particulier celui que proposent Schipper et al. (1989) et que nous avons reproduit et traduit ci-après (Figure 1). Les auteurs distinguent les « motivations à agir », qui correspondent aux représentations, c'est-à-dire au système d'interprétation des individus, les « manifestations de l'action », qui correspondent aux pratiques, et les « facteurs qui rendent possible ou contraignent l'action », soit un tissu de contraintes et d'opportunités dans lequel est baigné l'individu ou le ménage. Bin et Dowlatabadi (2005) reprend une distinction sensiblement équivalente où les choix des individus (p. ex. achats, usages) sont influencés par des déterminants individuels (p.ex. valeurs, préférences), des caractéristiques propres aux ménages (p. ex. taille, revenus) et des facteurs extérieurs (p. ex. réglementation, technologies, infrastructures physiques). Enfin, Weber et Perrels (2000) reprennent également dans les grandes lignes ce principe, distinguant une « hyperstructure sociétale » (p. ex. valeurs, infrastructures physiques) et la manifestation des modes de vie (p. ex. dépenses). Les représentations de ces deux dernières propositions sont reproduites en Annexe 1. Étant donné leur finalité d'analyse, ces trois cadres comportent également une dernière composante : les conséquences des choix et actions des individus en termes d'usage d'énergie et d'impacts environnementaux.

Motivation à agir	Besoins, désirs, valeurs, émotions
Facteurs qui rendent possible ou contraignent l'action	Facteurs socioéconomiques et environnementaux - Démographiques - Économiques - Infrastructures physiques - o Collectives, sociétales - o Personnelles, en propriété privée - Infrastructures sociales et légales
Manifestation de l'action	Comportements/activités
<i>Mesurés par</i>	<i>Types d'activités et lieu de réalisation</i> - Structure des dépenses récentes - Structure historique des dépenses <i>Fréquence, durée et séquences d'activités</i> - Temps - Kilométrage
Conséquence	Type et quantité d'énergie utilisée

Figure 1 : Reproduction et traduction de l'auteur du cadre conceptuel proposé par Schipper et al (1989)

Dans ces trois cadres conceptuels, les actes sont le biais par lequel les auteurs accèdent concrètement aux modes de vie. Ils en constituent en effet la partie visible, et celle pour laquelle ils disposent d'information à travers les données issues d'enquêtes. Selon le cadre conceptuel adopté, les actes observés peuvent être les dépenses des ménages (dépenses courantes et historiques, qui correspondent aux équipements), les modalités d'usage du temps, les pratiques de mobilité ou encore certaines modalités d'habitation. Cette trace observable des modes de vie, quantifiable à partir de jeux de données, ouvre la possibilité à une approche quantitative des modes de vie. Nous verrons par la suite que c'est sur cette propriété que reposeront nos travaux. Nous en préciserons les modalités dans le chapitre 3.

En combinant le principe de ces cadres conceptuels aux quinze dimensions des modes de vie identifiées dans la partie précédente, nous pouvons distinguer deux niveaux d'actes et de choix :

- Un premier niveau qui porte sur des actes et choix particulièrement structurants, dont la portée temporelle est annuelle à pluriannuelle (Figure 2) ;
- Un deuxième niveau qui porte sur les actes et choix à portée quotidienne à annuelle (Figure 3).

Le premier niveau détermine plutôt la disponibilité de ressources (temps libre, ressources financières, capacité de mobilité) alors que le second niveau concerne davantage les arbitrages dans la répartition de ces ressources.

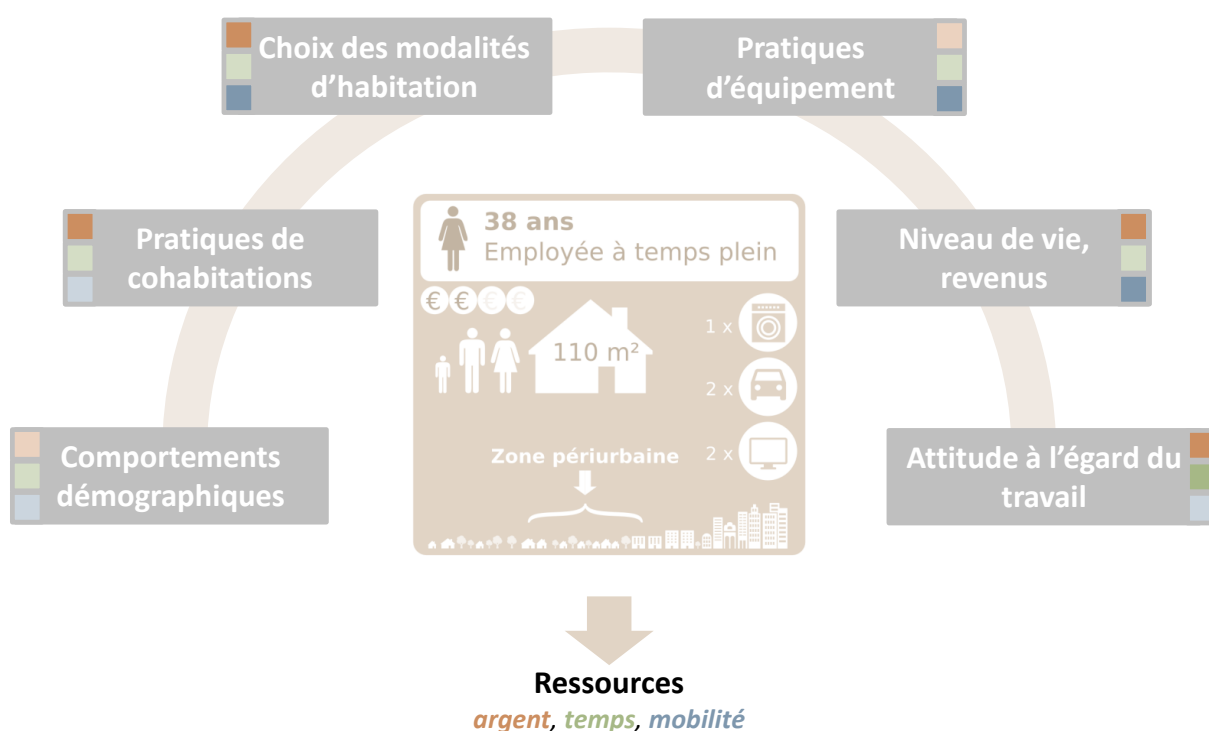


Figure 2 : Représentation des dimensions des modes de vie les plus structurantes (portée annuelle à pluriannuelle). Les carreaux associés à chaque dimension désignent le niveau d'influence sur les ressources en

argent (orange), en temps (vert) et en mobilité (bleu). Un carreau de couleur pâle indique une influence faible ou indirecte, une carreau de couleur vive indique une influence forte et directe.

Les influences de chacune de ces six dimensions sur les trois ressources identifiées sont représentées sur la Figure 2 (petits carreaux de couleur). Par exemple, l'attitude à l'égard du travail aura des conséquences sur le temps libre et les ressources financières disponibles ; le choix des modalités d'habitation détermine les distances à parcourir pour accéder à différents services et les revenus disponibles pour les autres postes que le logement. Le cadre central présente les informations que fournissent ces dimensions structurantes en dehors de leur influence sur les ressources.

Le second niveau porte sur la structure de consommation (répartition des montants entre les différents postes de consommation), la structure d'usage du temps (temps consacré aux différentes activités) et la structure de la mobilité (déplacements consacrés à ces différentes activités, selon le lieu de réalisation). Ces neuf dimensions des modes de vie permettent donc de qualifier les motivations d'usage de ces ressources. Deux dimensions ont toutefois un statut transversal car elles permettent également de décrire qualitativement la structure de la consommation (p. ex. lieux d'achat, qualité des achats) et la structure de la mobilité (p. ex. espace de vie, modes de transport).

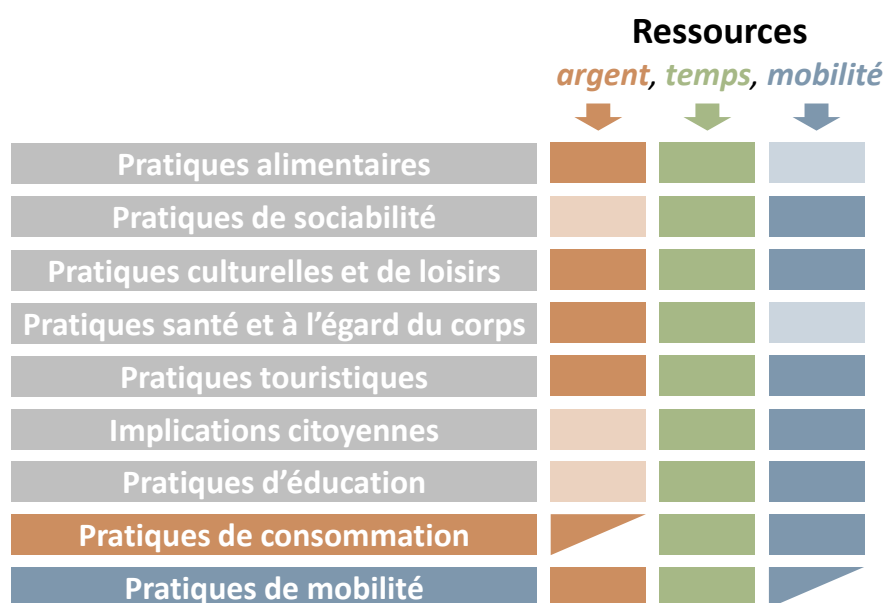


Figure 3 : Représentation des dimensions des modes de vie à portée quotidienne à annuelle. *Les rectangles indique si la dimension fait partie des motifs d'usage des ressources en argent, en temps et en mobilité. Si le rectangle est pâle, la dimension ne fait pas ou peu partie de ces motifs. Les deux dernières dimensions sont transversales.*

Notons que le cadre conceptuel de Bin et Dowlatabadi (2005) considère plutôt les dimensions du premier niveau comme des déterminants des choix relatifs aux modes de vie. Pour notre part, nous considérerons les deux niveaux comme faisant partie intégrante des actes et choix caractéristiques des modes de vie. Toutefois selon les questions abordées (p.

ex. ensemble des modes de vie, émissions liées à la mobilité, consommation liée aux loisirs), certaines dimensions peuvent être regroupées, simplifiées ou laissées de côté.

Cette réflexion conceptuelle sur la notion de mode de vie nous apporte plusieurs enseignements. Premièrement, ces représentations mettent en évidence un *facteur explicatif* de l'idée de cohérence que suggère la notion de mode de vie puisque ces différents actes et choix sont liés par les ressources financières, de temps et de mobilité²². Deuxièmement, les modes de vie peuvent être caractérisés à partir d'informations relatives aux dépenses des ménages, à l'usage du temps, aux pratiques de mobilité ou encore aux modalités d'habitation et de cohabitation. Or, la tenue d'enquêtes sur ces pratiques *offre un accès* à ce type de données. Troisièmement, la notion de mode de vie offre un cadre utile pour analyser les transformations sociales, qu'elles soient passées ou futures. Dans la partie suivante, nous proposons justement de porter le regard sur les mutations des modes de vie observées depuis le milieu du XX^{ème} siècle.

1.1.3 Mutations passées des modes de vie

Des modes de vie des chasseurs-cueilleurs apparus il y a plusieurs millénaires à ceux hyperconnectés des *post-millennials*²³, de nouveaux modes de vie émergent continuellement depuis l'apparition de l'espèce humaine. Leur diffusion génère des mutations – certes lentes mais perpétuelles – de l'agrégat des modes de vie à une échelle globale. Ces mutations ont des conséquences structurelles sur l'organisation de la société, de ses modes de production et de consommation. Deux exemples de ruptures majeures intervenues au cours du XX^{ème} siècle permettent de l'illustrer : la généralisation de la participation des femmes au travail salarié et la démocratisation de l'automobile. Elles sont présentées dans la première sous-partie. Dans la seconde, nous proposons un panorama plus systématique et synthétique des mutations passées des modes de vie.

a) Deux exemples de mutations passées et leurs conséquences systémiques

Si les femmes ont de tout temps travaillé²⁴, leur contribution au travail dit « productif » a connu un essor important au cours de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, avec certaines périodes d'évolution particulièrement rapide. Ainsi, « *entre 1968 et 1975, les femmes*

²² Rappelons qu'un autre facteur explicatif a déjà été évoqué : le fait que ces actes et choix sont sous-tendus à l'échelle individuelle par un même système d'interprétation (les « motivations à agir » : valeurs, attitudes, etc.).

²³ Génération caractérisée en sociologie, elle comprend les individus nés à partir de la moitié des années 1990 et jusqu'au début des années 2000. Cette génération a eu dès l'enfance accès aux *smartphones* et se caractérise par ses usages généralisés d'Internet et des réseaux sociaux.

²⁴ Reprenons ici les mots de Françoise Battagliola (2008) : « *Les femmes ont toujours travaillé, mais la cécité à l'égard de leur travail repose sur la « valorisation abusive mais signifiante du travail "productif" [qui] a érigé en seules travailleuses les salariées* » (Perrot, 1978). *Pourtant, comme celle des hommes, leur activité s'est déployée à la ferme, dans la boutique, dans l'atelier artisanal. Mais la contribution des femmes à la production familiale, pour le marché ou l'autoconsommation, a été saisie de façons diverses selon des conventions statistiques qui ont elles-mêmes leur histoire.* » (Battagliola, 2008)

contribuent pour les trois quarts à l'accroissement du nombre d'actifs (1,0 sur 1,4 million) ((Huet, 1977)) » (Battagliola, 2008). Cette évolution, si elle a pris une ampleur contrastée selon les périodes et les catégories sociales (Battagliola, 2008), s'est accompagné d'un ensemble de changements. Elle a contribué à l'émancipation des femmes qui a accompagné l'évolution des mœurs et des pratiques de cohabitation, accru les revenus des ménages avec l'apport d'un deuxième salaire, fait évoluer significativement l'emploi du temps à l'échelle de l'ensemble de la population, mais en particulier à l'échelle de la population féminine (accroissement du temps de travail rémunéré, diminution du temps consacré aux tâches domestiques (Gershuny, 2000)). Ces effets ont également eu des conséquences sur la consommation des ménages, contribuant à l'augmentation du taux de motorisation des ménages, à la préférence pour des produits susceptibles d'alléger les tâches domestiques (les plats préparés, les textiles ne nécessitant pas de repassage) (Battagliola, 2008), à la hausse du taux d'équipement en appareils électroménagers. Cet essor de la contribution des femmes au travail dit « productif » a également une influence sur la mobilité avec l'accroissement du nombre de déplacements domicile-travail. Toutes ces évolutions se sont progressivement installées et ont significativement contribué à une mutation de l'organisation de la société, si bien qu'à l'échelle d'une ou deux générations, on peut considérer ce changement comme une rupture, ayant conduit à une mutation des modes de vie observés d'un point de vue macroscopique. Le cas de l'essor de l'automobile est tout aussi remarquable.

« Nous comprimés mon camarade et moi que la petite auto nous avait conduits dans une époque nouvelle » (Apollinaire, 1918). Alors qu'il écrit ces vers en parcourant une France qui se prépare à la Première Guerre Mondiale, ces mots du poète Guillaume Apollinaire pourraient également résonner comme une annonce de la nouvelle ère à laquelle la démocratisation de l'automobile va conduire dans les pays développés au cours du XX^{ème} siècle. Les bouleversements sont tels que l'on parle de la « civilisation automobile »²⁵. En France, le nombre de véhicules passe d'à peine plus de 2 millions en 1950 à près de 21 millions en 1980 (Barré, 1997) pour dépasser aujourd'hui les 38 millions (d'après les données du Comité des constructeurs français d'automobiles). Cet essor a accompagné²⁶ une mutation des modes de vie caractérisée par l'évolution du rapport à l'espace, du rapport au temps ainsi qu'à la vitesse. Il a été déterminant sur l'évolution des formes urbaines – extension des zones périurbaines, prédominance de la maison individuelle, développement des zones commerciales en périphérie – et bien sûr de la mobilité individuelle. Devenu tant un objet social qu'un marqueur social, l'automobile a marqué de son empreinte le XX^{ème} siècle avec son lot de valeurs – prestige, modernité, vitesse, liberté, flexibilité (Dennis et Urry, 2009) – mais également son lot de désagréments liés aux conséquences sur l'environnement, la santé ou la qualité de vie – congestion, pollution de l'air, accidents de la

²⁵ « La civilisation automobile » est par exemple le nom d'un séminaire qui s'est tenu à Lyon entre 2000 et 2001, conduit conjointement par Régis Debray et Marc Guillaume, sous l'égide du Laboratoire de l'Économie du Transport et de la Faculté de Philosophie de Lyon III.

²⁶ C'est-à-dire qu'il a tout à la fois provoqué et été provoqué par la mutation des modes de vie.

route, émissions de gaz à effet de serre, nuisances sonores ou encore artificialisation des sols de par l'omniprésence des infrastructures qui lui sont dédiées.

Ces deux exemples illustrent le caractère systémique que peuvent avoir certains changements relatifs aux modes de vie. Ils donnent ainsi une idée des changements qui pourraient advenir à moyen ou long terme.

b) *Panorama des mutations de 1950 à nos jours*

Alors que notre projet de recherche porte sur les futures mutations des modes de vie et sur leurs conséquences, nous proposons dans cette partie de porter un regard rétrospectif sur les mutations des modes de vie intervenues en France au cours des dernières décennies. Celui-ci est condensé ci-après dans les Tableau 3 et Tableau 4, par dimension. Nous présentons de grandes tendances, quelques indicateurs (en particulier pour comparaison) et des pratiques émergentes (situation actuelle). Ce panorama permettra à la fois de saisir l'ampleur des changements et contribuera à consolider l'appréhension de la notion de modes de vie. Pour caractériser les modes de vie actuels et passés, nous nous sommes appuyés sur quatre sources principales, reposant elles-mêmes largement sur des données de l'Insee ou de la comptabilité nationale :

- l'ouvrage *Consommation et modes de vie en France - Une approche économique et sociologique sur un demi-siècle* de Herpin et Verger (2008) ;
- l'un des rapports préliminaires publié dans le cadre du projet *Prospective des modes de vie à l'horizon 2050 et empreinte carbone (PROMOV)* qui porte sur une rétrospective des modes de vie entre les périodes 1960 et 2000 (Mor, 2010a) ;
- la radioscopie d'une France en mutation réalisée en 2003 qui propose également un regard rétrospectif et prospectif sur la période 1950-2030 (Jouvenel et al., 2003) ;
- l'analyse comparée de modes de vie antérieurs aux années 1960 et des modes de vie actuels de Maresca et Dujin (2014) basée notamment sur les travaux antérieurs de Maréchal (1977). Cette publication propose en plus une caractérisation du moteur des modes de vie, une description de la logique générale qui les régit. Nous l'avons reprise en début du premier tableau, considérant qu'elle en éclaire la lecture.

Tableau 3 : Panorama des modes de vie passés, actuels et futurs pour les dimensions les plus structurantes.

Avant les années 1960	Actuel
MOTEUR DU MODE DE VIE <i>(d'après la proposition de Maresca et Dujin (2014))</i>	
« Reproduction des positions sociales héritées »	« Ascension sociale activée par la consommation de masse et la mobilité »
COMPORTEMENTS DEMOGRAPHIQUES	
Le mariage est généralisé, il intervient en moyenne pour une femme à 23 ans en 1960 ; une femme a en moyenne son premier enfant à 24 ans, et a en moyenne trois enfants au cours de sa vie.	Les Français se marient moins souvent, plus tard (31 ans en moyenne pour une femme en 2014), et de façon moins définitive ; une femme a en moyenne son premier enfant à 28 ans (2010), et a en moyenne près de deux enfants au cours de sa vie (2010).
PRATIQUES DE COHABITATION	
Ménages structurés autour du noyau familial (y. c. ménages multigénérationnels)	Diversification des formes de vie familiale (monoparentale, recomposées, ...), vie en solo plus fréquente (15% des individus) et existence d'autres formes de cohabitation (p. ex. colocation)
CHOIX DES MODALITES D'HABITATION	
Population rurale aux alentours de 40%, en décroissance Grande proximité entre lieu d'habitation et lieu de travail	Population rurale à 22% en 2010, forte croissance de la population périurbaine Le lieu de travail est moins déterminant pour le choix du lieu d'habitation (allongement des distances domicile-travail).
PRATIQUES D'EQUIPEMENT ET RAPPORT A LA TECHNOLOGIE	
Milieu des années 50 : moins de 10% des ménages possèdent un réfrigérateur ou un lave-linge, moins de 1% une télévision. Les biens électriques sont rares. Les équipements, encore peu accessibles, sont perçus comme les symboles du progrès technique, comme des marqueurs sociaux, et comme facilitant la vie domestique.	En 2016, le réfrigérateur, le lave-linge et la télévision équipent 95 à 100% des ménages, qui détiennent également de nombreux autres équipements, tels que l'ordinateur (80%), le téléphone portable (93%). Et une grande partie des ménages a également accès à une connexion Internet (85%). Les technologies ont pris une large place dans la société, même si certaines réticences existent. Après la vague des appareils électroménagers et de la télévision, le numérique bouleverse en profondeur l'organisation de la société.
ATTITUDE A L'EGARD DU TRAVAIL	
Travail rémunéré majoritairement « réservé » aux hommes, travail domestique pour une majorité de femmes Rapport employé/employeur majoritaire Âge de la retraite à 65 ans, semaine de plus de 40H (accords par branche)	Femmes et hommes ont un accès du même ordre au travail rémunéré (malgré la persistance d'inégalités) Essor de pratiques de télétravail, perte de terrain du salariat au profit d'autres formes de travail Âge minimum de départ à la retraite : 62 ans (en 2017), durée légale du travail à 35H, taux de chômage élevé
NIVEAU DE VIE, REVENUS ET DISTRIBUTION, COMPORTEMENTS FINANCIERS²⁷	
Pouvoir d'achat des salaires nets multiplié par 3,3 entre 1950 et 1999 Augmentation de la part des revenus de transfert (système de redistribution) et des revenus du capital Inégalités en baisse jusqu'aux années 80 stables ou en légère augmentation ensuite Les jeunes adultes ayant des revenus faibles et une consommation élevée désépargnent, puis la situation	Si cette architecture reste d'actualité, elle laisse la place à une grande variabilité : investissement, accession à la

²⁷ La source suivante a également été mobilisée : <http://www.inegalites.fr/spip.php?article632>.

s'équilibre avant de connaître une période où ils peuvent épargner.	propriété de logements. La fiscalité joue un rôle de redistribution et d'orientation des décisions (p. ex. transition énergétique, tabac, carburants).

Tableau 4 : Panorama des modes de vie passés, actuels et futurs pour les dimensions à portée quotidienne à annuelle.

Avant les années 1960	Actuel
PRATIQUES DE CONSOMMATION	
Consommation dans les commerces de détail Structure de la consommation : l'alimentation 32%, l'habillement et les soins corporels 12%, l'habitat 21%, les soins de santé 8%.	Consommation dans les circuits de grande distribution Structure de la consommation : l'alimentation 17%, l'habillement et les soins corporels 5%, l'habitat 29%, les soins de santé 16%. Développement du e-commerce, de pratiques de consommation engagées
PRATIQUES CULTURELLES ET LOISIRS	
Loisirs intégrés à la vie sociale, par sexe et par classes d'âge	Développement des équipements de loisir dans la maison Loisirs à l'extérieur dans le cadre de structures (p. ex. clubs)
PRATIQUES DE MOBILITE ET RAPPORT A L'ESPACE	
Ateliers, usines, commerces, services présents dans les bourgs et villes Fort attachement local, faible mobilité spatiale L'automobile est un bien réservé à une minorité (taux d'équipement de l'ordre de 20% au début des années 50)	Segmentation d'une partie de l'espace par fonction (commerciale, industrielle, résidentielle) Affaiblissement de l'attachement local et extension de l'espace de vie Civilisation de la voiture (80% des ménages équipés, organisation spatiale adaptée, mode de transport dominant sur la courte et la longue distance) Extension du domaine de la mobilité virtuelle (e-commerce, télétravail, visioconférence, etc.)
PRATIQUES ALIMENTAIRES	
Alimentation traditionnelle (à base de viande, de légumes cuits, de pommes de terre ou de pâtes ; soupe au diner) Repas très majoritairement à domicile Alimentation genrée, dépendante du milieu social et culturel (ouvriers, agriculteurs, citadins), budget conséquent	Alimentation diversifiée au sein de la population (grande variété des produits des industries agro-alimentaires), multiculturelle. Repas à l'extérieur fréquents, déstructuration relative de l'institution familiale du repas Choix alimentaires motivés par une multitude de facteurs... comme les impératifs de santé, la publicité, la sculpture du corps, des valeurs (p. ex. repas sans viande, aliments issus de l'agriculture biologique, de circuits courts)
PRATIQUES DE SOCIABILITE	
Cercle relationnel dans le quartier d'habitation Sociabilité dans la famille élargie Communication à distance par courrier	Cercle relationnel spatialement élargi, et centrage sur la famille restreinte Expansion des télécommunications : par téléphone puis par Internet (y c. smartphones et applications de réseaux sociaux)
PRATIQUES RELATIVES A LA SANTE, ATTITUDES A L'EGARD DU CORPS	

Pratiques d'hygiène de base Pratiques genrées, dépendantes du milieu social et culturel (ouvriers, agriculteurs, citadins), budget significatif pour l'habillement et les soins corporels (12%)	Recul de pratiques à risque (p.ex. tabac, alcool) même si émergence de l'obésité Pratique sportive pour des raisons de santé et de sculpture du corps Dépenses plus importantes pour la santé (y c. dépenses collectives), attention plus grande à l'égard du corps
PRATIQUES D'EDUCATION DES ENFANTS ET DE FORMATION	
Etudes supérieures réservées à une minorité, âge moyen de fin d'études : 16-18 ans Transmission des métiers par filiation et voisinage	Etudes supérieures accessibles à un grand nombre, âge moyen de fin d'études : 21-22 ans Formation aux métiers basée sur un socle de la formation initiale Emergence de pratiques de formation à distance
PRATIQUES TOURISTIQUES ET DU VOYAGE DE LOISIR	
Pratiques normées, réservées à certains milieux sociaux, qui se développent avec l'extension des congés payés (3 ^{ème} semaine de congés payés en 1956, 4 ^{ème} en 1969) Voyages à portée essentiellement nationale (notamment vers les stations balnéaires)	Expansion et diversification des pratiques même si pas accessibles à tous, voyages plus fréquents et plus courts Fort développement du tourisme international, intercontinental
IMPLICATIONS CITOYENNES	
Formes d'engagement traditionnelles : vote, engagement local	Grande diversité des modes d'engagement : traditionnel, manifestation, militantisme existentiel, par la consommation

1.1.4 Conclusion

La notion de mode de vie est une notion riche et souple.

Souple car elle peut s'employer pour des individus, pour des groupes sociaux ou pour des populations entières, et peut tout à la fois rendre compte de choix individuels contribuant à la stylisation de soi et de choix régis par des déterminants collectifs.

Riche car elle permet d'aborder à la fois les pratiques et les représentations et car elle embrasse de multiples dimensions de la vie. Riche encore car elle suggère une idée de cohérence et porte sur des comportements habituels, ayant une certaine pérennité.

En dépit de ces caractéristiques qui donnent à cette notion un aspect mouvant et foisonnant, les modes de vie peuvent faire l'objet de descriptions relativement structurées, à partir de leur manifestation visible notamment. Par conséquent la notion est régulièrement utilisée comme outil d'analyse ou grille de lecture des transformations sociales.

Justement, lorsque l'on observe les mutations des modes de vie en France sur une période correspondant à l'émergence de deux à trois générations, les transformations sont profondes et touchent toutes les dimensions de la vie. Deux grands mouvements civilisationnels illustrent bien l'ampleur des changements et leurs conséquences sur

l'organisation sociale. Premièrement, le rapport à l'espace a considérablement évolué avec d'une part l'émergence de la « civilisation automobile » – les distances se sont allongées avec l'accès à des modes de transport plus rapides, l'espace s'est transformé avec une plus grande spécialisation – et d'autre part le déploiement des technologies de l'information et de la communication – une partie de la mobilité et de l'espace de vie devenant virtuels. Deuxièmement, il semble que l'on puisse observer sur la période un mouvement continu de diversification des modes de vie et des pratiques, ce que certains théoriciens de la postmodernité ont interprété comme un « *procès de personnalisation* » voyant le triomphe des valeurs individualistes et démocratiques issues de la modernité (Lipovetsky, 1983). L'élévation spectaculaire du niveau de vie constitue la toile de fond sur laquelle ces bouleversements se sont produits.

Or l'ampleur des changements passés laisse augurer de l'ampleur des changements à venir. A l'horizon de deux à trois générations, les modes de vie devraient de nouveaux connaître de profondes transformations, et s'accompagneront de bouleversements de l'organisation de la société, des modes de production et de consommation. En cela, les modes de vie constituent un vrai sujet de prospective. Le cadre conceptuel que nous avons proposé, composé de quinze dimensions, constituera dans cette perspective un outil cognitif utile pour manipuler la notion de modes de vie.

Dans la section suivante, nous proposons d'examiner les liens qui unissent modes de vie et énergie afin de mettre à jour les raisons pour lesquelles les modes de vie sont régulièrement invoqués dans les contextes de l'atténuation du changement climatique et de la transition énergétique.

1.2 DES MODES DE VIE A L'ENERGIE

*"We should change the emphasis to energy **in** society rather than energy **and** society, which leads to mistakes (...). Most of us know a lot about energy or society but not both."*

Laura Nader, Anthropologue au *Smithsonian Institute* (fin des années 1970)

Cette phrase donne le ton de ce que nous souhaitons aborder dans cette partie : le lien entre modes de vie et énergie. Pour cela, commençons par remonter à la période à laquelle cette phrase a été prononcée. La notion de modes de vie commence en effet à émerger dans des réflexions portant sur les questions énergétiques alors que les deux chocs pétroliers de 1973 et 1979 ont conduit la majorité des pays industrialisés à s'interroger sur la forte dépendance au pétrole de leur appareil productif et de leurs organisations sociales. En France, Maréchal (1977)²⁸ considère que la mutation des modes de vie intervenue entre la période antérieure à 1950 et la période postérieure à 1960 s'est accompagnée d'une reconfiguration profonde de la consommation d'énergie. Il considère alors la consommation d'énergie comme la résultante d'une organisation sociale de la production et de la consommation. Il s'intéresse ensuite plus particulièrement aux répercussions de la crise énergétique sur les modes de vie, et notamment sur le chauffage du logement à partir des résultats d'une enquête menée auprès de huit cent personnes. Observant certaines adaptations des comportements pour réduire la consommation d'énergie, l'auteur conclut à leur caractère conjoncturel anticipant ainsi le rebond des consommations dans les années qui ont suivi. Aux États-Unis, Leonard-Barton (1981) s'intéresse quant à elle aux effets sur la consommation d'énergie des mouvements de simplicité volontaire qui ont émergé dans ce contexte. Le concept de simplicité volontaire renvoie à des changements de modes de vie discrétionnaires, qui peuvent être guidés par des motivations spirituelles, philosophiques ou encore politiques. D'après ses recherches, ces modes de vie conduisent à adopter des comportements réduisant les besoins en ressources, et notamment en énergie (p. ex. utiliser le vélo pour se rendre sur son lieu de travail, acheter des biens de seconde main). L'enquête menée démontre également que les comportements de simplicité volontaire sont corrélés à des comportements d'économie d'énergie fossile (p. ex. investissement dans des panneaux solaires, isolation des murs) (Leonard-Barton, 1981). En réaction à ces travaux, Dillman et al. (1983) émettent l'hypothèse que la crise énergétique ne mène pas uniquement à l'adoption de nouveaux comportements choisis mais également à des comportements contraints. Pour la tester, ils mènent une enquête sur les effets de la hausse spectaculaire²⁹ du prix de l'énergie sur les modes de vie et les modalités de consommation d'énergie. Sur la base de leur échantillon, ils observent à partir d'une analyse des montants de dépenses des ménages qu'une large majorité d'entre eux modifie leurs modes de vie. Les restrictions les plus courantes concernent les déplacements en voiture, les vacances, les activités de loisirs

²⁸ À partir de Dujin et al.(2007).

²⁹ Une multiplication par quatre a ainsi été observée au cours de la décennie 1970.

et les repas pris à l'extérieur alors que les dépenses relatives aux besoins fondamentaux sont préservées (p.ex. éducation, santé).

L'attention portée au lien entre modes de vie et énergie remonte donc à une période au cours de laquelle émerge la nécessité d'intégrer la question des usages et des comportements de consommation pour faire face à la crise énergétique (Barbieri, 1980, 1982) alors que jusque-là les politiques énergétiques des pays occidentaux s'étaient résumées au soutien des moyens de productions. Ces premiers travaux permettent d'identifier un lien à double sens : d'une part, les modes de vie sont influencés par les modalités d'accès à l'énergie, et d'autre part ils ont des conséquences sur la consommation d'énergie. Dans cette section, nous proposons d'examiner ce dernier aspect. Nous investiguons le rôle des modes de vie dans l'explication de la demande énergétique à travers une lecture des travaux passés et actuels. Nous adoptons une perspective tantôt chronologique tantôt analytique afin de situer le contexte d'émergence des différentes approches mais également de regrouper les travaux s'inscrivant dans une même lignée.

1.2.1 Les modes de vie comme facteur explicatif de la consommation d'énergie

À la suite des deux crises énergétiques, savoir expliquer la consommation d'énergie, comprendre ses déterminants est devenu une nécessité en vue de mieux la maîtriser. En se basant sur la comptabilité de l'énergie par secteur et par source et sur les enquêtes de consommation déployées dans les pays industrialisés, les travaux engagés en ce sens ont d'abord mis en avant un premier facteur explicatif : le revenu des ménages. A un niveau macroscopique, l'accroissement important de la part des ménages équipés d'une voiture, d'un chauffage central ou encore de différents équipements électriques (ex. réfrigérateur, lave-linge) sur la période 1950-1975 s'est en effet accompagnée d'une croissance de leur consommation d'énergie. Toutefois on observe au cours de la période suivante un découplage de la croissance des revenus et de la demande énergétique, notamment du fait de phénomènes de saturations observés pour certains équipements (Figure 4). Tout en demeurant un proxy relativement efficace car corrélé à des comportements-clé (p. ex. achat de certains équipements, accès au voyage à longue distance), le facteur « revenus » a également démontré ses limites dans l'explication de la consommation d'énergie à l'échelle des ménages, comme l'illustre déjà l'étude de Lundström (1986) auprès de ménages suédois par exemple.

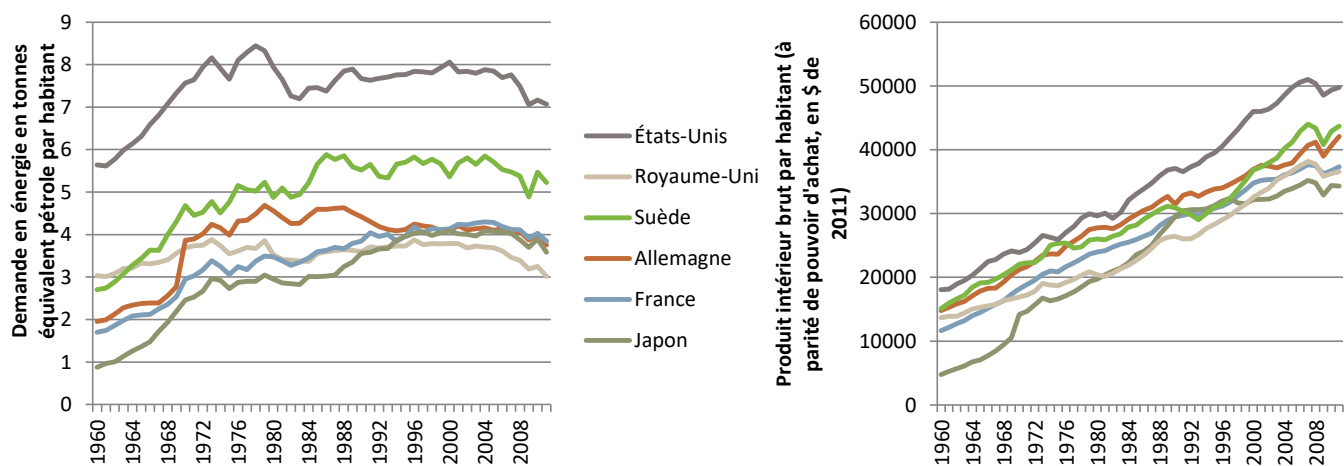


Figure 4 : Consommation d'énergie et revenus par habitant dans six pays industrialisés entre 1960 et 2011 (données : Banque mondiale).

Le prix de l'énergie est aussi un déterminant important de la consommation d'énergie. Comme l'observent Dillman et al. (1983) – mais aussi plus généralement une abondante littérature économique –, la hausse du prix de l'énergie provoque des changements de comportements de consommation d'énergie, tels qu'une baisse de la demande en chauffage et en eau chaude, une limitation des déplacements en voiture ou une stimulation de la demande en appareils et véhicules plus performants énergétiquement. Toutefois, en l'absence de hausse soudaine et conséquente des prix de l'énergie, les décisions des ménages concernant le lieu de résidence, le type de logement occupé ou l'occupation du temps libre restent relativement peu dépendantes des prix de l'énergie (Schipper et al., 1989).

Constatant les limites des facteurs « revenus » et « prix de l'énergie » pour expliquer la consommation d'énergie, plusieurs auteurs mettent en évidence l'influence d'autres facteurs tels que la taille et la composition du ménage ou le temps d'occupation du logement (Gladhart et al., 1987; Lundström, 1986; Sonderegger, 1978). C'est dans la continuité de ces travaux que plusieurs auteurs ont proposé de tester les modes de vie comme facteur explicatif de la consommation d'énergie.

Wolvén (1991) présente ainsi les résultats d'une enquête menée auprès de 800 ménages Suédois. Dans cette enquête, la population est segmentée à partir du mode de vie considéré ici comme un concept permettant de spécifier les principales valeurs et activités d'un ménage. Neuf modes de vie sont distingués (p. ex. mode de vie orienté vers la nature, vers le travail ou les biens matériels). Les analyses statistiques effectuées valident l'hypothèse des modes de vie – tels qu'ils ont été définis – comme facteur explicatif de la consommation d'énergie domestique et de l'adoption de mesures d'économie d'énergie. Par exemple, les ménages dont le mode de vie est orienté vers la nature (selon la classification des auteurs) adoptent en moyenne deux mesures d'économie de plus que ceux dont le mode de vie est orienté vers la consommation (respectivement 8,5 et 6,5 sur 10 mesures possibles). Une

telle analyse s'inspire alors directement de travaux réalisés depuis quelques années en marketing et cherchant à analyser la consommation des ménages à partir de cette notion de mode de vie (voir p. ex. Alpert et Gatty, 1969; Lazer, 1963).

Dans cette lignée, une approche plus fine et approfondie a été mise en œuvre récemment dans des travaux réalisés au sein du Laboratoire de Sociologie Urbaine de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) en partenariat avec EDF. Tabbone et al. (2016) s'appuient également sur la proposition d'une typologie de modes de vie pour analyser la consommation d'énergie des ménages. L'une des singularités de ce travail repose sur la prise en compte conjointe des consommations domestiques et de celles liées à la mobilité, permettant l'étude d'éventuels mécanismes de compensation ou au contraire de cumul et rendue possible par l'exploitation des données issues d'une enquête originale. La typologie proposée repose sur l'analyse statistique de variables relatives aux pratiques (p. ex. loisirs, vacances) et aux représentations (p. ex. système de valeurs, références). Elle distingue six types dont deux que nous reportons ci-après à titre illustratif. Les *casaniers*³⁰ regroupent des individus qui mènent peu d'activités en dehors de chez eux (hors courses alimentaires par exemple). Ils aspirent à vivre en centre-ville et attachent de l'importance à la taille de leur logement. Les valeurs qu'ils portent sont la conformité, la sécurité et la tradition. Le type nommé *hédonistes urbanophobes*³¹ réunit des individus à la recherche d'espaces verts, de tranquillité et de proximité avec la nature. Ils mettent en avant des valeurs telles que l'universalisme, l'autonomie et la gentillesse. Ils sont généralement attentifs à leur consommation d'énergie. Leurs activités menées à la maison sont assez variées et celles qui sont réalisées à l'extérieur ont tendance à se dérouler loin de leur quartier de résidence. Les auteurs analysent les profils de consommation énergétique au prisme de cette typologie. Ils constatent ainsi des différences importantes dans l'énergie consommée à la maison ou en dehors, pour les activités de loisir, le travail, la sociabilité ou les achats. Les casaniers ont en moyenne moins de besoins énergétiques pour leurs loisirs (de l'ordre de 30 à 40% de moins que la moyenne des cinq autres groupes) mais ont une consommation domestique plutôt élevée (deuxième plus élevée).

Ces deux études reposent sur un même principe : la construction d'une typologie de modes de vie puis la caractérisation de la consommation d'énergie pour chaque type. Le lien entre énergie et modes de vie est alors étudié sous l'angle de la *corrélation*. Sanquist et al. (2012) et Maresca et Dujin (2014) proposent un autre type d'approches reposant également sur l'analyse des corrélations entre modes de vie et consommation d'énergie. Maresca et Dujin (2014) s'appuient sur une modélisation économétrique de la facture énergétique domestique et analyse les facteurs les plus influents au prisme d'une grille de lecture du mode de vie qu'ils proposent (Figure 5). Ainsi, les premier et troisième facteurs explicatifs de la facture énergétique sont la surface du logement et le type de logement (individuel ou collectif). Or ces paramètres sont eux-mêmes conditionnés par la taille du ménage, sa

³⁰ Version anglaise des auteurs : « *homebody creatures of habit* ».

³¹ Version anglaise des auteurs : « *peaceful nature-lovers* ».

localisation ou encore ses revenus, soit plusieurs déterminants figurant parmi les dimensions des modes de vie les plus structurantes (cf. partie 1.1.1). Les deuxième et quatrième facteurs sont plus directement liés au système technique puisqu'il s'agit de l'énergie de chauffage utilisée et de l'ancienneté du bâti. Le cinquième facteur explicatif est le revenu des ménages, l'une des dimensions structurantes des modes de vie. Cette étude conduit les auteurs à considérer la grille de lecture du mode de vie comme pertinente pour expliquer les pratiques énergétiques étudiées.

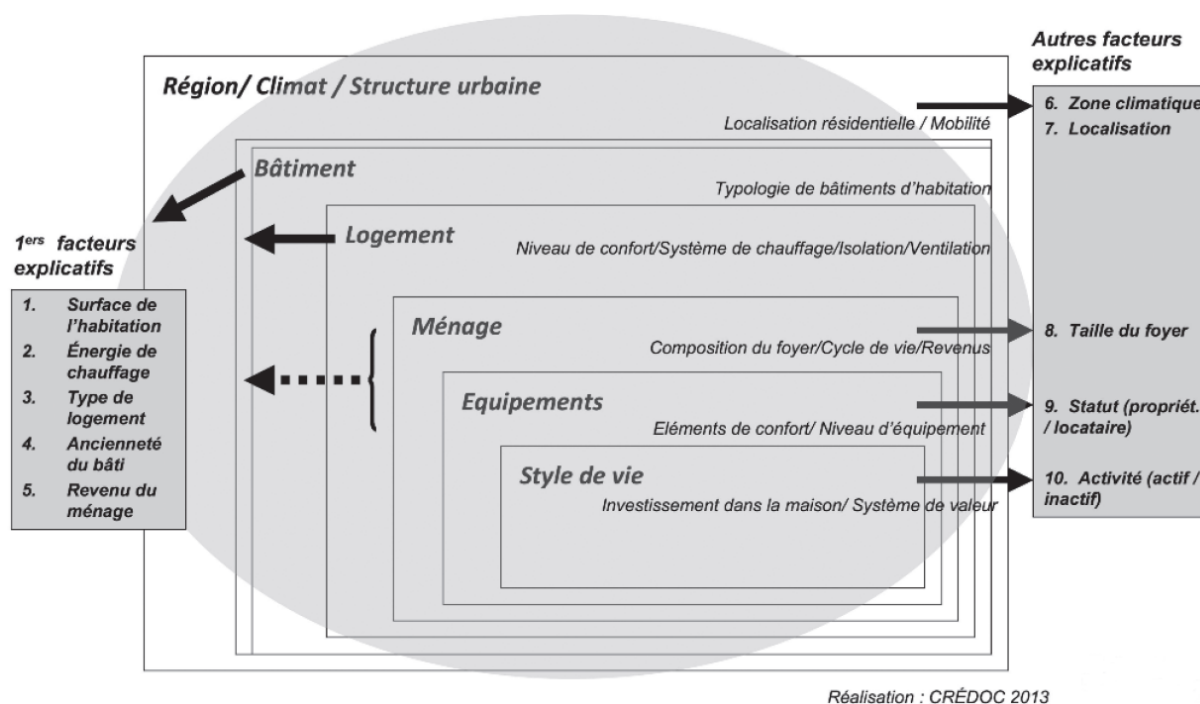


Figure 5 : Les facteurs explicatifs de la facture énergétique des ménages selon la grille de lecture des modes de vie proposée (figure extraite de [Maresca et Dujin, 2014]).

Sanquist et al. (2012) cherchent quant à eux à expliquer la demande en électricité résidentielle à partir de variables caractéristiques des modes de vie en s'appuyant sur des analyses statistiques (analyse factorielle puis régression multiple). Issues d'une enquête récurrente menée aux États-Unis sur la consommation d'énergie résidentielle, les variables considérées sont relatives à des équipements et à leur usage, par exemple : le nombre de téléviseurs possédés et le temps d'usage, la taille du ménage, la durée d'éclairage des ampoules, le nombre de cycles de machines à laver lancés par semaine. Après avoir restreint à cinq le nombre de variables relatives aux modes de vie par une analyse factorielle³², la capacité de ces variables à expliquer la consommation d'électricité du ménage est évaluée à l'aide d'une régression multiple. Sanquist et al. (2012) démontrent ainsi que le pouvoir explicatif de ces facteurs relatifs aux modes de vie est relativement élevé (~40% de la variance expliquée), et stable entre deux éditions de l'enquête (2001 et 2005). Les auteurs

³² Dans cet exemple, les dix-sept variables observées sont combinées pour former un jeu de cinq variables signifiantes et représentatives de toutes les variables de départ.

considèrent que ces facteurs sont de meilleurs prédicteurs de la consommation d'énergie que le revenu par exemple.

Ces travaux considèrent la notion de mode de vie pour expliquer la consommation d'énergie en analysant notamment les corrélations entre la définition de la notion de mode de vie et la consommation d'énergie. En fait, à l'exception des travaux de Wolvén (1991), cette définition contient implicitement des déterminants des usages de l'énergie. À titre d'exemple, Tabbone et al. (2016) incluent notamment la réalisation d'activités et leur localisation dans l'élaboration de leur typologie. Or celles-ci esquissent la demande en mobilité, révélant au-delà de la relation statistique, la relation déterministe. Les travaux que nous présentons dans la partie suivante étudient davantage cette relation déterministe en étudiant le lien entre énergie et modes de vie sous un angle comptable, plutôt que sous l'angle des corrélations. Les modes de vie sont alors décomposés en activités et l'influence de ces activités sur les usages de l'énergie décryptée. Ces travaux cherchent à démontrer que les modes de vie surdéterminent la structure des usages de l'énergie.

1.2.2 Les modes de vie comme déterminant structurel des usages de l'énergie

L'énergie n'est pas consommée pour elle-même mais pour satisfaire des usages – p. ex. un trajet vers un lieu de loisir, le confort thermique et lumineux d'un logement, une heure de fonctionnement d'un téléviseur – dont la finalité est de permettre la réalisation des activités correspondantes d'individus ou de ménages – respectivement : le loisir en question, les activités accessibles au domicile, le suivi d'une émission de télévision. Or ces activités *définissent* les modes de vie comme nous l'avons vu dans la section 1.1. Il est donc possible de considérer les modes de vie comme une grille de lecture cohérente des usages de l'énergie.

C'est dans cette optique que L. Schipper et al. (1989) proposent une approche de l'énergie et des modes de vie à travers le prisme des activités des individus et des ménages dans une étude centrée sur les États-Unis et complétée par un regard vers l'Europe (Allemagne et Suède). Dans cette étude de référence pour nos travaux, le cadre d'analyse proposé s'appuie sur plusieurs types de données qui rendent compte des activités des individus et des ménages : les dépenses de consommation, les équipements détenus, l'usage du temps et les données de mobilité. Ces activités constituent selon les auteurs la trace visible et donc mesurable des modes de vie. À partir de l'analyse de ces données et des données détaillées d'usages finaux de l'énergie par sous-secteur, les auteurs répartissent la consommation d'énergie des ménages selon les activités des individus et des ménages (p. ex. loisir à la maison, trajets liés au travail, cf. Figure 6). Cette grille d'analyse leur permet d'interpréter les conséquences de changements sociétaux et des modes de vie sur les usages de l'énergie. Ils discutent par exemple des conséquences de l'expansion du travail des femmes, qui

entraîne un accroissement du nombre de déplacements domicile-travail et du nombre de personnes vivant seules, et donc de logements à chauffer. Ils utilisent ensuite ce cadre d'analyse pour explorer les futurs changements possibles de la demande en énergie. Les usages pris en compte sont ceux liés aux activités domestiques (en particulier : confort thermique, eau chaude sanitaire, cuisson, électricité spécifique), à la mobilité (services de transport, consommation de carburant) et aux services utilisés (p. ex. école, commerces et consommation d'énergie associée).

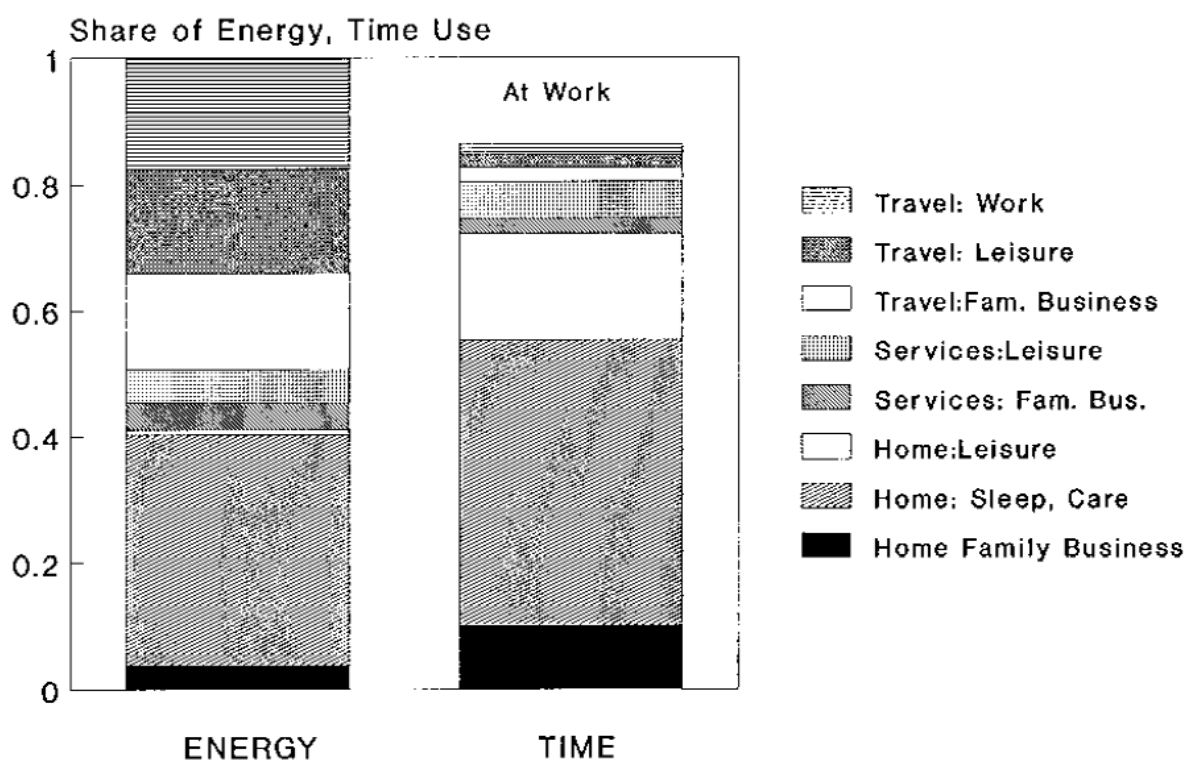


Figure 6 : Usage du temps et de l'énergie aux Etats-Unis en 1985-1986 (extrait de [Schipper et al., 1989])

Mikko Jalas (2002) propose également un cadre conceptuel d'analyse des usages de l'énergie par les modes de vie. Par rapport aux travaux précédents, il élargit davantage le champ des usages considérés en intégrant également la demande énergétique associée à la fabrication des biens et services achetés (p. ex. nourriture, meubles). Le cadre conceptuel proposé est basé sur l'usage du temps et les enquêtes dédiées, les données de dépenses des ménages et une analyse entrée-sortie. La méthode empirique affecte à chaque activité une intensité énergétique, dont l'unité est donc équivalente à celle d'une puissance moyenne, c'est-à-dire une unité d'énergie rapportée à une unité de temps (voir Tableau 5). Le cadre proposé permet de discuter de conséquences d'évolutions des modes de vie – c'est-à-dire d'évolutions de l'usage du temps – sur la consommation d'énergie. L'auteur propose alors un modèle d'effet-rebond associé à une évolution d'usage du temps (Jalas, 2002). Il donne l'exemple du commerce sur Internet qui permet un gain de temps au consommateur, une efficacité énergétique globale accrue par l'optimisation des circuits de livraison mais dont l'effet final sur la consommation d'énergie dépend de l'activité réalisée par le

consommateur au cours du temps libéré. L'auteur utilise également ce cadre conceptuel pour réaliser des analyses rétrospectives pour la Finlande (Jalas, 2005; Jalas et Juntunen, 2015). Celles-ci tentent d'identifier la part de différents facteurs – dont l'évolution de l'usage de temps, mais aussi les facteurs démographiques ou relatifs à l'intensité énergétique notamment – dans l'évolution de la consommation d'énergie en Finlande entre 1987 et 2009. Ce cadre conceptuel apporte un éclairage différent des approches centrées sur les revenus et les dépenses, permettant de rendre visibles les activités des ménages et leurs conséquences. Comme d'autres approches basées sur l'intensité énergétique des dépenses, elle présente toutefois l'inconvénient de considérer des moyennes d'intensité énergétique des activités, ne rendant alors pas compte de la diversité des pratiques dont l'intensité énergétique peut pourtant varier dans des proportions importantes.

Tableau 5 : Intensité énergétique de quelques activités. Extrait et traduit de (Jalas, 2002)

	Dépenses annuelles (en FIM ³³ /an)	Intensité énergétique de la dépense ³⁴ (GJ/100FIM)	Consommation d'énergie indirecte des achats (kWh/an)	Consommation d'énergie directe de l'activité	Temps consacré à l'activité par un ménage de deux personnes (heures/an)	Intensité énergétique de l'activité (kWh/h)
Repas au restaurant	1809	0,0717	360	-	31	11
Culture et événements sportifs	330	0,0757	69	-	57	1,2
Lecture	2301	0,1083	692	-	751	0,92
Regarder la télévision	854	0,0733	174	686	1531	0,61

Bin et Dowlatabadi (2005) souhaitent également enrichir la compréhension de la demande en énergie en proposant une alternative à l'analyse sectorielle des émissions de gaz à effet de serre³⁵. L'approche proposée, appelée *consumer lifestyle approach*, se réfère à l'entité « consommateur » en tant qu'acheteur et utilisateur de produits et de services. Les conséquences des modes de vie des consommateurs sont analysées à travers la consommation d'énergie résidentielle, les pratiques de mobilité et les dépenses des ménages à l'aide des enquêtes nationales dédiées. Ces déterminants sont ensuite convertis en consommations d'énergie classées selon leur influence directe (~27% du total) ou indirecte (~57%, estimées à l'aide de tableaux entrées-sorties) (voir Tableau 6). Cette approche permet à Bin et Dowlatabadi d'estimer que les consommateurs et leurs modes de

³³ FIM est le code international du mark finlandais, la monnaie en vigueur dans le pays avant le 1^{er} janvier 2002.

³⁴ D'après (Nurmela, 1993).

³⁵ L'analyse sectorielle distingue classiquement le résidentiel, le tertiaire, l'industrie et les transports.

vie ont un impact sur 84% de la consommation d'énergie des États-Unis, et considèrent que ce constat doit inciter la poursuite des réflexions sur le sujet.

Tableau 6 : Consommation d'énergie et émissions de CO₂ par activité pour l'année 1997 aux États-Unis (extrait de [Bin et Dowlatabadi, 2005])

Consumer activities	Energy use (EJ)	CO ₂ emissions (Mt CO ₂)
<i>Direct influences</i>	28.3	2230
Home energy	10.9	1046
Space heating	5.5	338
Other appliances and lighting	2.4	381
Water heating	2.0	157
Refrigeration	0.5	89
Air conditioning	0.4	81
Personal travel	17.4	1184
Short distance by automobiles and trucks	12.7	855
Long distance by air planes	2.2	149
Long distance by automobiles and trucks	1.9	130
Long distance by others	0.3	25
Short distance by others	0.3	25
<i>Indirect influences</i>	56.4	3289
Housing operation	25.6	1411
Transportation operation	17.4	954
Food and beverages	6.4	426
Apparel and services	2.6	167
Others	1.6	117
Personal insurance and pensions	1.1	81
Entertainment	1.1	76
Health care	0.5	56
<i>Total direct and indirect</i>	84.6	5519

Les approches centrées sur les individus, les ménages ou les consommateurs permettent de mettre en lumière le motif ultime de la consommation d'énergie : confort lié à l'habitat, alimentation, mobilité³⁶, loisirs, etc. Une telle démarche présente l'intérêt d'explicitier les usages à satisfaire, rendant ainsi possible leur discussion. C'est dans cet esprit que Dubois et Céron (2015) invitent à un renouvellement du cadre d'analyse des émissions de gaz à effet de serre en adoptant des approches par la consommation, qui permettent en outre de dépasser les problématiques d'exportation des émissions de gaz à effet de serre observées dans les pays industrialisés (problématique des fuites de carbone).

C'est également dans cet esprit que Pourouchottamin et al. (2013) proposent une représentation de la consommation énergétique de la France³⁷ sous l'angle de la structure de consommation des ménages, mettant ainsi directement en lumière le poids de différentes composantes des modes de vie. Le mode de comptabilisation adopté requiert

³⁶ Notons que dans l'absolu, la mobilité n'est pas un motif ultime puisque les déplacements sont effectués à différentes fins (p. ex. loisirs, relation sociale).

³⁷ Cette représentation est également proposée pour d'autres régions du monde.

des données de consommation des ménages (issues de la comptabilité nationale) et l'usage de tableaux entrées-sorties. L'indicateur proposé, *l'emprise énergétique*, prend en compte les consommations directes (p. ex. achat de carburant, contrat d'approvisionnement en électricité) et indirectes d'énergie (p. ex. énergie liée à la consommation de produits alimentaires, à l'achat de meubles). La Figure 7 représente la structure de l'emprise énergétique des ménages pour la France en 2005 résultant de ces travaux. Celle-ci peut être décomposée en trois grands postes d'influence comparable : le logement, les transports et les biens et services (sous-entendu : autres que ceux liés au transport et au logement). Dans les deux premières catégories sont distinguées l'énergie directe et l'énergie indirecte (*i.e.* l'énergie utilisée par exemple pour bâtir les logements, pour fabriquer les véhicules). Pour le troisième poste, seule l'énergie indirecte est comptabilisée.

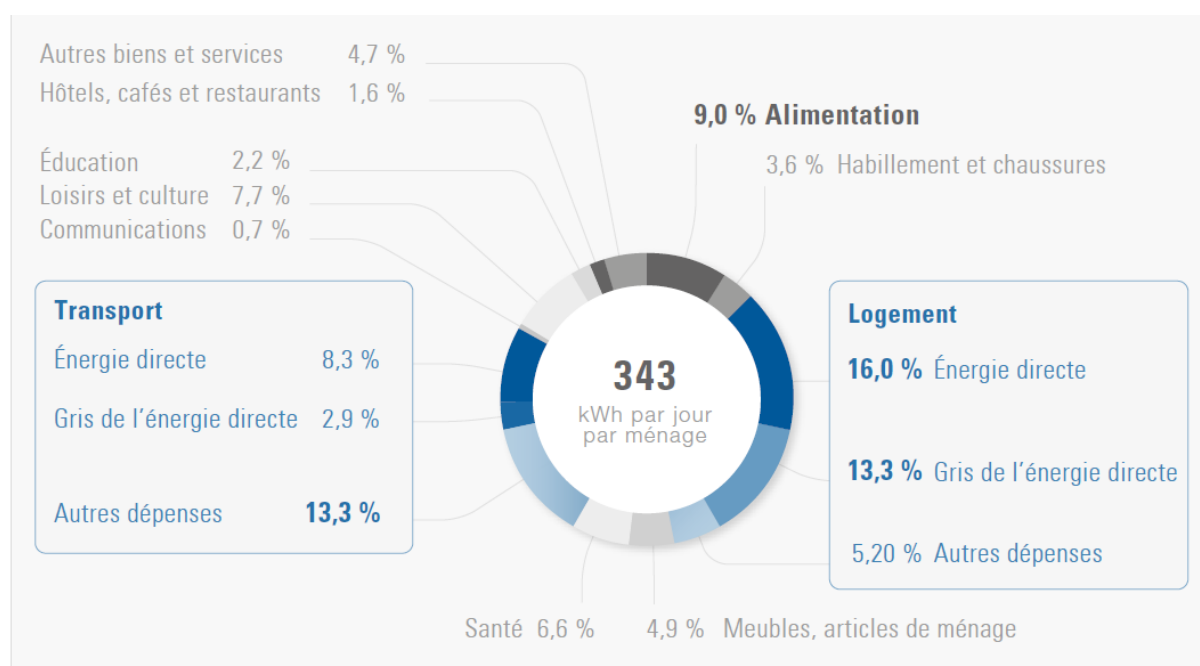


Figure 7 : Structure de l'emprise énergétique des ménages français en 2005, figure extraite de (Pourouchottamin et al., 2013)

En déployant différentes approches comptables, ces initiatives relient quantitativement la demande d'énergie aux activités qui caractérise les modes de vie, en particulier à travers la structure des dépenses et la structure d'usage du temps. Les usages de l'énergie sont donc associés à ce qui les motive. Ainsi, les choix relatifs aux modes de vie – p. ex. activités de loisirs, pratiques alimentaires, localisation, pratiques de cohabitation – surdéterminent les usages de l'énergie. Dans la partie qui suit (1.2.3), nous proposons d'explicitier la manière dont l'ensemble de ces usages se répartit entre les quinze dimensions des modes de vie définies dans la section 1.1.

1.2.3 Des dimensions des modes de vie aux usages de l'énergie

Pour chacune des quinze dimensions des modes de vie, il est possible d'identifier les usages de l'énergie générés. Ces usages de l'énergie peuvent être distribués en trois grands postes comme nous l'avons vu avec l'analyse de l'emprise énergétique de la France :

- le logement, qui comprend l'énergie liée à sa construction et les différentes consommations qui y ont lieu (confort thermique, cuisson, électricité spécifique, eau chaude sanitaire) ;
- la mobilité des individus, qui comprend l'énergie consommée sous forme de force motrice par les différents véhicules utilisés et l'énergie nécessaire à la fabrication de ces véhicules et de leurs infrastructures ;
- les biens et services (hors logement et mobilité), poste qui comprend l'énergie nécessaire à leur fabrication et à leur acheminement jusqu'aux consommateurs.

Le Tableau 7 précise pour chaque poste si les dimensions des modes de vie sont à l'origine d'un ou plusieurs usages. Cette analyse comprend également à titre indicatif, une estimation de la part maximale de l'emprise énergétique concernée par chaque dimension et chaque poste. Cette estimation a valeur de proxy. Ses modalités de calcul sont présentées sous le tableau. Un indice synthétisant l'ampleur de « l'enjeu » pour chaque dimension est proposé dans la dernière colonne du tableau.

Tableau 7 : Cartographie des usages par dimension des modes de vie et par poste de l'emprise énergétique. Les pourcentages correspondent à une borne maximale, l'influence réelle est donc inférieure à ces valeurs. Le T signifie « transversal » et peut donc porter sur l'ensemble du poste de l'emprise énergétique.

	Mobilité ²		Biens et services ³		Habitat ⁴		Enjeu
Part emprise énergétique ¹	24,5%		41%		34,5%		
Pratiques de consommation	Oui, génère une mobilité liée aux achats	2,2%	Oui, transversal à la structure de la consommation	T	-	-	***
Pratiques de cohabitation	-	-	Oui, par de possibles effets de mutualisation	T	Oui, influence le type et la taille de l'habitat (én. directe et indirecte)	26%	***
Choix des modalités d'habitation	Oui, transversal au poste mobilité (accès, distances, modes)	T	Oui, influence indirecte sur les niveaux d'équipements	2,1%	Oui, influence le type et la taille de l'habitat (én. directe et indirecte)	26%	****
Pratiques d'équipements	Oui, par l'équipement en véhicules	T	Oui, par le volume de consommation d'équipements	5,2%	Oui, génère un usage d'électricité spécifique	2,6%	***

Pratiques culturelles et loisirs	Oui, génère une mobilité liée aux loisirs	3,2%	Oui, génère une demande en biens et services associés	5,7%	Oui, génère un usage d'électricité spécifique	1,4%	**
Pratiques de mobilité et rapport à l'espace	Oui, transversal à la structure de la mobilité et à ses équipements	T	-	-	-	-	****
Pratiques alimentaires	Oui, génère une mobilité liée aux repas	0,7%	Oui, génère une demande en biens et services associés	4,1%	Oui, génère un usage pour la cuisson, préparation, etc.	3,5%	**
Pratiques de sociabilité	Oui, génère une mobilité liée à la sociabilité	4,9%	Oui, génère une demande en biens et services associés	1,2%	-	-	**
Comportements démographiques	-	-	-	-	Oui, déterminant des choix de modalités d'habitation	T	**
Pratiques relatives à la santé, attitudes à l'égard du corps	Oui, génère une mobilité liée aux services associés	0,7%	Oui, génère une demande en biens et services associés	7,4%	-	-	**
Pratiques d'éducation des enfants et de formation	Oui, génère une mobilité liée à la fréquentation des lieux	1,5%	Oui, génère une demande en biens et services associés	1,6%	-	-	*
Pratiques touristiques et du voyage de loisir	Oui, génère une mobilité liée aux voyages	3,2%	Oui, génère une demande en biens et services associés	1,2%	-	-	**
Attitude à l'égard du travail	Oui, génère une mobilité liée au travail	5,1%	Oui, car déterminant des revenus disponibles	T	-	-	**
Implications citoyennes	Oui, génère une mobilité liée aux activités associées	0,7%	Oui, peut influencer toutes les pratiques de consommation	T	-	-	*
Niveau de vie, revenus et distribution	Oui, détermine les capacités/contraintes de mobilité	T	Oui, détermine les capacités/contraintes de consommation	T	Oui, détermine les capacités/contraintes de choix	T	***

¹ La part d'emprise énergétique de chaque poste précisée en haut de tableau correspond au calcul de l'emprise énergétique par Pourouchottamin et al. (2013).

² Pour le poste « mobilité », celle-ci repose sur la distribution des distances de déplacements par motif à partir des données de l'enquête nationale transport et déplacements 2008 (mobilité locale et longue distance). Arbitrairement, la consommation d'énergie indirecte est allouée proportionnellement aux distances.

³ Pour le poste « biens et services », l'estimation est effectuée à partir des données de l'emprise énergétique (Pourouchottamin et al., 2013).

⁴ L'estimation pour le poste « habitat » est basée sur des données d'enquête du Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie (CEREN³⁸, 2011).

³⁸ Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie

Cette analyse illustre le large spectre des liens entre les modes de vie et les usages de l'énergie. Quatorze des quinze dimensions distinguées sont directement liées à des usages énergétiques, et toutes y sont au moins liées indirectement (les comportements démographiques ont une influence sur le choix des modalités d'habitation, dimension qui a plusieurs effets directs sur les trois postes de l'emprise énergétique).

Dans ce tableau, certaines dimensions ont un spectre d'influence particulièrement large, en particulier les pratiques de consommation, les pratiques d'équipements, les choix de modalités d'habitation, les pratiques de mobilité et le niveau de vie. Toutefois, la comparaison entre dimensions n'est pas nécessairement justifiée étant donné que ces dimensions couvrent elles-mêmes des champs plus ou moins larges des modes de vie comme nous l'avons vu dans la section 1.1.1. En outre, si plusieurs dimensions ont un spectre d'influence relativement faible, leur cumul permet d'expliquer une grande partie de la demande en mobilité et en biens et services, nous invitant à ne pas les négliger.

Dans la partie qui suit, nous proposons de contextualiser l'influence des modes de vie en la situant dans l'ensemble de la chaîne de transformation de l'énergie, allant de l'extraction des ressources primaires à l'activité qu'elle permet de réaliser.

1.2.4 Place des modes de vie dans la chaîne de transformation de l'énergie

Il est possible d'inscrire chaque utilisation d'énergie au sein d'une *chaîne* allant des sources d'énergie primaire (p. ex. vent, puit de pétrole, soleil), aux activités des individus qui font usage de l'énergie. Tout au long de cette chaîne, l'énergie subit une série de transformations jusqu'à une ultime conversion (p. ex. énergie mécanique pour déplacer un véhicule et l'individu qui s'y trouve, chaleur pour cuire un gâteau). Prise dans son ensemble, cette chaîne implique un très grand nombre d'acteurs et de décisions. Parmi ces acteurs, citons par exemple les industriels de l'énergie dont les décisions portent en particulier sur les investissements dans des unités de production (p. ex. éolienne, centrale à gaz); les collectivités locales qui peuvent par exemple avoir la gestion d'un réseau de transport public; les industries manufacturières qui mobilisent des procédés consommateurs d'énergie pour fabriquer des biens; ou encore les citoyens dont de nombreuses décisions, comme celle de se rendre à un spectacle de cirque par exemple, s'inscriront dans la chaîne énergétique. Cette chaîne constitue un outil conceptuel utile dans le cadre de l'étude du *système énergétique*. Dans son acception large, nous considérerons que le système énergétique correspond à l'intégralité de cette chaîne³⁹.

Au sein de cette chaîne énergétique, les modes de vie se situent à une « extrémité », comme l'illustre la Figure 8. Les individus et leurs modes de vie définissent les motifs ultimes (ou

³⁹ Selon les contextes d'utilisation, cette expression peut aussi désigner une partie de cette chaîne.

utiles) des usages de l'énergie. Les décisions et acteurs de l'appareil productif et du secteur énergétique ne sont influencés qu'indirectement, à travers la structure des usages.

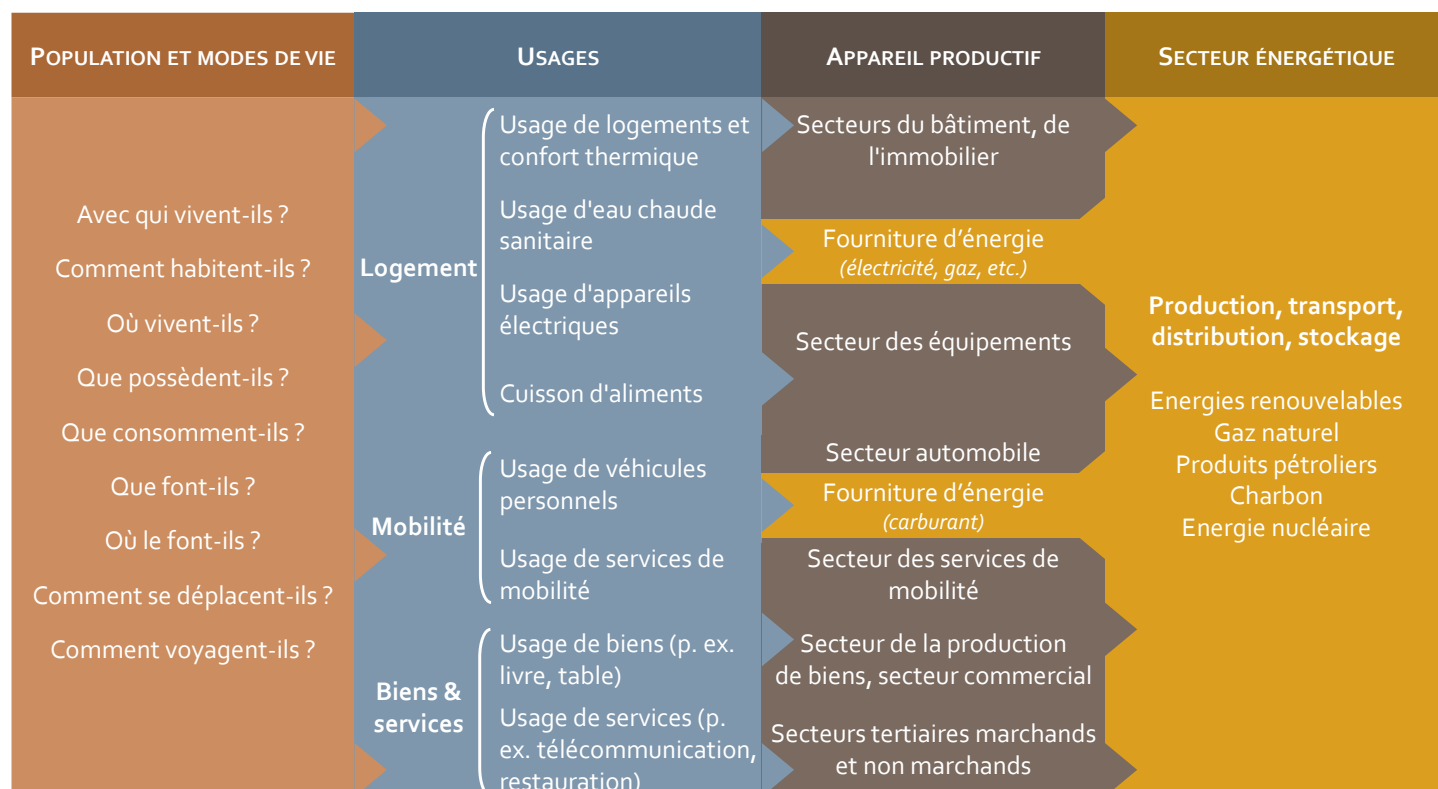


Figure 8 : Représentation de la position des modes de vie dans la chaîne énergétique.

Il est possible d'affiner encore le rôle des modes de vie. En effet, la notion d'usage de l'énergie renvoie à deux composantes qui correspondent chacune à un levier de la transition énergétique. L'une est relative au « volume » de l'usage et correspond au levier de la sobriété énergétique. L'autre est relative à l'énergie nécessaire à la satisfaction d'un volume de cet usage et correspond au levier d'efficacité énergétique (voir les exemples du Tableau 8). Les modes de vie déterminent ainsi plus précisément les volumes des usages énergétiques et n'ont généralement pas d'influence directe sur l'efficacité énergétique.

Tableau 8 : Décomposition des usages en deux composantes : exemple d'analyse dimensionnelle

USAGE	Unité caractéristique du "volume" d'usage demandé	Unité de la consommation unitaire
<i>Disposer de confort thermique dans le logement</i>	Surface de logement (m²)	kWh/m²
<i>Aller au cinéma</i>	Fréquence de l'activité Distance parcourue (en km, par mode)	kWh/km (pour chaque mode)
<i>Lire un journal</i>	Fréquence d'achat du journal	kWh/journal

1.2.5 Conclusion

Dans le contexte énergétique, l'intérêt pour les modes de vie s'est manifesté dès les années 1970 dans le sillage des chocs pétroliers. Des travaux ont étudiés un lien double sens. Le premier est l'influence des modalités d'accès à l'énergie – caractérisé par le couple {niveau de vie – prix de l'énergie} – sur les modes de vie, aspect que nous n'étudierons pas dans nos travaux. Le second est l'influence des modes de vie sur la demande énergétique. Comme le montre les travaux ayant examiné cet aspect, la notion de mode de vie peut être mobilisée pour expliquer la consommation d'énergie, d'une part en tant que facteur explicatif, d'autre part comme permettant de mettre en lumière les motifs ultimes d'usage de l'énergie. De cette manière, nous avons vu que les quinze dimensions des modes de vie identifiées dans la section 1.1 avaient une influence directe ou indirecte sur les consommations d'énergie directe et indirecte des individus et des ménages. Certaines dimensions comme le choix des modalités d'habitation, les pratiques de consommation, le niveau de vie ou les pratiques de cohabitation ont d'ailleurs une influence sur tous les postes de l'emprise énergétique.

1.3 CONCLUSION DU CHAPITRE

Au cours de ce chapitre, nous avons introduit la notion de mode de vie puis qualifié son rôle dans le contexte énergétique, ce qui nous a permis d'apprécier les possibilités qu'offre son usage pour nos recherches.

Dans la première section (1.1), nous avons dans un premier temps délimité les contours de la notion de mode de vie afin d'appréhender la richesse des dimensions auxquels elle fait référence (1.1.1). Elle a d'ailleurs été utilisée comme grille de lecture du contexte social et de ses transformations par plusieurs auteurs. Nous avons proposé à notre tour un cadre conceptuel à partir de cette notion qui sera utile dans la suite de nos travaux (1.1.2). Cette grille a été mise à contribution pour observer les transformations de la société entre la période d'après-guerre et la période actuelle (1.1.3). Nous avons pu constater que les modes de vie ont connu des mutations importantes et que celles-ci s'accompagnaient de profondes transformations de l'organisation sociale, des modes de production et des modes de consommation.

Dans la deuxième section, nous avons vu que l'intérêt de la notion de mode de vie dans le contexte énergétique provient également des liens qui unissent modes de vie et énergie. Dans les travaux qui se penchent sur ces liens, les modes de vie sont considérés tantôt comme facteur explicatif de la consommation d'énergie (1.2.1), tantôt comme une véritable matrice des usages de l'énergie (1.2.2 à 1.2.4). Les mutations que connaissent les modes de vie sont donc susceptibles de modifier en amont la structure de la demande en énergie.

Étant données leur influence et les mutations auxquels ils sont sujet, les modes de vie constituent donc un objet de pensée à part entière dans le contexte de la transition énergétique, et plus particulièrement pour l'exploration de notre futur énergétique. Selon la perception que l'on a de leur évolution, ils peuvent en effet constituer un levier potentiel de réduction de la demande ou un facteur d'incertitude important. Dans le chapitre suivant, nous proposons de nous pencher davantage sur les enjeux liés à nos futurs modes de vie en vue d'esquisser les contours de notre contribution.

CHAPITRE II

ÉNERGIE ET FUTURS MODES DE VIE : ÉTAT DE L'ART ET POSITIONNEMENT DE NOTRE CONTRIBUTION

Parmi les outils et processus d'aide à la décision mobilisés face aux enjeux de long terme qu'implique la transition énergétique, la prospective occupe une place de choix. En effet, *« les scénarios sont des instruments précieux de compréhension des enjeux, d'identification des marges de manœuvre et des conditions de leur mobilisation, car la complexité des relations au sein du secteur de l'énergie ne permet pas de se construire aisément une vision d'ensemble »* (Bureau, 2013). Menée à l'échelle du globe, européenne, nationale, régionale ou locale, la démarche prospective permet de repenser notre rapport à l'énergie, de se projeter dans un contexte de contraintes de ressources et de climat inédit (David et al., 2014) ou encore de tenter de construire une trajectoire socialement et économiquement acceptable sur le moyen et long terme. En tant que moyen de structurer ou d'alimenter un débat ou en tant qu'outil d'évaluation, elle est ainsi régulièrement mobilisée en amont du déploiement de politiques, de stratégies industrielles ou de modification de réglementation.

Ce chapitre va nous permettre de dresser dans une première section un panorama de la pratique actuelle de la prospective énergétique sous l'angle des modes de vie (2.1). Comment l'évolution des modes de vie est-elle actuellement considérée dans les exercices de prospective ? Quels changements sont-ils envisagés ? Quelles sont les approches méthodologiques mise en œuvre ? Quelle sont les apports et les limites de la modélisation ? Puisqu'ils constituent la substance des modes de vie, nous nous pencherons dans une seconde section sur la manière dont les comportements des individus et des ménages sont représentés dans les modèles qui portent sur des enjeux énergétiques (2.2). Les enseignements tirés de cet état de l'art nous permettront dans une troisième section de positionner notre contribution qui vise à enrichir les démarches de prospective énergétique (2.3).

2.1 LES MODES DE VIE DANS LA PROSPECTIVE ENERGETIQUE : ETAT DE L'ART

Dans cette section, nous introduirons brièvement dans une première partie la pratique actuelle et passée de la prospective énergétique (2.1.1). Dans la deuxième partie, nous examinerons la manière dont les modes de vie ont été considérés en France dans les exercices de prospective énergie-climat (2.1.2). Nous verrons qu'il est possible d'identifier quelques exercices pionniers pour l'attention portée aux mutations futurs de nos modes de vie. Dans la troisième partie, nous analyserons plus en détail les exercices pionniers (2.1.3), qu'ils aient été menés en France ou sur d'autres territoires afin d'en tirer des enseignements pour nos recherches.

2.1.1 Introduction à la prospective énergétique

La période qui a suivi la Seconde Guerre Mondiale a donné lieu à de grands travaux d'infrastructures et de reconstruction dans les pays industrialisés. Le développement de projets de long terme et le déploiement de lourds investissements a été le terreau d'un regain d'intérêt pour le futur, bien que celui-ci ait de tout temps existé (Cazes, 1986), du fait de l'éclairage qu'il peut apporter à la prise de décision. Les travaux conduits au début de cette période ont été à l'origine de deux courants aux visées bien différentes et aux fondements théoriques et épistémologiques bien distincts. L'un, plutôt centré sur l'aspect technologique s'est initialement développé aux États-Unis, l'autre, en France a donné naissance au terme de *prospective*.

La prospective est à la fois une méthode et une attitude qui a émergé au milieu du XX^{ème} siècle sous l'impulsion de Gaston Berger, puis de Bertrand de Jouvenel notamment. Elle fait de l'avenir un objet de pensée au service du présent. L'attitude prospective repose sur un principe-clé : la notion de *futurs possibles*, dont la déclinaison plurielle est fondamentale. En effet, « *la réflexion prospective considère l'avenir non comme une chose déjà décidée et qui, petit à petit, se découvrirait à nous, mais comme une chose à faire* » (Berger, 1958). Portant en elle les prémices de la vision systémique, elle vise à comprendre le système complexe dans lequel vit l'Homme – à travers ses composantes démographique, environnementale, politique, économique, technologique, etc. et leurs interactions – puis à en anticiper les évolutions possibles. La démarche prospective se définit également par son éloignement de la prévision, de l'extrapolation. Ainsi, « *l'esprit prospectif ne prédétermine pas, il éclaire* » (Berger, 1958). Cette approche du futur mobilise essentiellement des méthodes à dominante qualitative. Elle se distingue de celle qui est née et s'est développée à la même période de l'autre côté de l'Atlantique sous l'impulsion de la *Rand Corporation*. Appelée dans un premier temps *Futurology*, cette discipline exploratoire fait la part belle à la prévision et développe une approche probabiliste. Son projet initial consistant à construire une science

du futur où la société serait saisie de manière exhaustive à travers des méthodes quantitatives s'est rapidement avéré inaccessible. Mais une révision de ce projet vers de nouvelles orientations a ouvert la voie à un champ de recherches fertile. Les méthodes initialement employées « *reposaient sur des experts utilisant la méthode DELPHI⁴⁰, sur des outils mathématiques de type RCB (pour rationalisation des choix budgétaires) et sur des outils économétriques* » (Gonod et Gurtler, 2002). Ces travaux ont constitué les prémices de la *modélisation prospective*, aussi appelée approche quantitative, alors que la prospective à la française est aussi nommée approche qualitative.

Ces deux approches revendiquent des leviers différents pour légitimer l'utilisation de scénarios comme moyen d'éclairer la décision. Les méthodes à dominante qualitative reposent d'une part sur la mise en place d'une démarche conceptuelle visant à structurer la pensée et de l'autre sur le concept de scénario, au sens de la constitution d'un récit. Par le biais de la « mise en intrigue » la notion de récit joue un rôle essentiel dans la démarche prospective mettant en jeu des scénarios selon Mermet (2004). Reprenant les analyses de Ricœur (1983), il énonce « *Pour Ricœur (1983, t. 1, p. 128), l'intrigue est "médiatrice" : elle aide à passer d'un état de compréhension à un autre. Elle "fait médiation entre des événements ou des incidents individuels et une histoire prise comme un tout". Elle "compose ensemble des facteurs aussi hétérogènes que des agents, des buts, des moyens, des interactions, des circonstances, des résultats inattendus, etc."* » (Mermet, 2004). En pratique, l'une des méthodes couramment employées est la *méthode des scénarios* dont Julien et al. (1975) proposent une analyse approfondie. Cette méthode séquence la démarche en plusieurs étapes (Figure 9). L'approche qualitative a ses adeptes et également ses détracteurs comme le traduit l'analyse suivante : « *le caractère fictif [des scénarios] et leur utilisation dans des enceintes de débat où les arguments scientifiques occupent une place déterminante sont une source constante d'interrogation et de controverse* » (Mermet, 2004).

⁴⁰ La méthode DELPHI est développée dans les années 1950 par la Rand Corporation. Cette méthode repose sur les opinions des experts concernant les évolutions de la technologie et ses ruptures dans les trente années à venir et fournit des résultats agrégés. Le but de cette méthode est de recueillir non seulement l'opinion brute des experts sur des questions concernant l'avenir, mais également de faire réagir chaque expert à l'opinion générale de ses pairs. Pour cela on procède généralement à l'envoi d'un questionnaire par courrier, en deux vagues. Le second tour est affiné en fonction des réponses du premier tour. Le questionnaire et les experts diffèrent selon le secteur.

ETAPE 1	Définir le sujet, l'horizon temporel et la méthode de travail
ETAPE 2	Construire le système, <i>i.e.</i> identifier les variables-clés internes et externes, leurs liens et hiérarchiser
ETAPE 3	Définir les hypothèses, <i>i.e.</i> explorer les évolutions possibles des variables clés
ETAPE 4	Construire les scénarios exploratoires
ETAPE 5	Préciser les enjeux et les options stratégiques
ETAPE 6 (OPTIONNEL)	Décliner la stratégie

Figure 9 : Les étapes de la méthode des scénarios (à partir [Julien et al., 1975])

L'approche quantitative et son apparente objectivité sont *a priori* moins sujettes à de telles critiques. L'approche par la modélisation consiste à offrir une représentation du système étudié, en simulant par exemple une partie des phénomènes physiques, économiques, spatiaux ou encore sociaux en jeu. Elle permet ainsi de tenir compte d'une partie des contraintes de la réalité, ou du moins de la réalité telle qu'elle est perçue et représentée par le ou les modèle(s) utilisé(s). Car l'ambition de la modélisation prospective n'est pas de se substituer à la réalité, mais « *de fournir des outils de cohérence dans le dialogue entre les décideurs, les experts et les scientifiques* » (Maïzi, 2012). Toutefois, cette approche quantitative fait aussi débat. Si certains la considèrent comme indispensable afin de proposer des visions réalistes, d'autres y perçoivent une méthode réductrice à plusieurs titres : réductrice du champ des futurs possibles et donc rendant le cadre de pensée plus rigide ; réductrice car ne rendant pas suffisamment compte de la complexité de la réalité ; réductrice car l'élaboration de scénarios ne devient accessible qu'à un nombre limité d'experts ; ou encore réductrice en termes d'objectifs poursuivis par les simulations effectuées (p. ex. recherche du coût minimal) (David et al., 2014).

Depuis leur émergence, les approches qualitative et quantitative ont connu des périodes fastes et d'autres de désintérêt relatif, en partie du fait des critiques auxquelles elles ont fait face, mais plus encore en fonction des sujets inscrits à l'agenda politique. Parmi les sujets de prédilection de la prospective figurent justement la question énergétique et celle du changement climatique. Si la première a connu un premier engouement à la suite des crises pétrolières, la seconde figure en bonne place à l'agenda politique depuis les années 1990. Sur la question énergétique, l'approche par la modélisation prospective a une histoire particulièrement riche que retracent notamment Matarasso (2010) ou Hourcade (1998). Son point de départ est généralement fixé à la publication en 1972 du rapport « *The Limits to Growth* » issu des travaux du Club de Rome (Meadows et al., 1972). Dans le contexte des trente glorieuses, ses auteurs ont élaboré un modèle représentant le système mondial et réalisé des simulations qui les conduisent à interroger la possibilité d'une croissance infinie,

du fait notamment de l'épuisement des ressources et de la dégradation de l'environnement. Le retentissement mondial du rapport conduit alors d'une part à une intense controverse au sein de la communauté scientifique et d'autre part à l'émergence de nouveaux travaux de modélisation sur le sujet. Entre les années 1970 et 1990, de nombreux modèles et lignées de modèles voient le jour. Leur diversité peut être appréciée par le biais de classifications de modèles existantes, comme celles que proposent Assoumou (2006) ou Crassous (2008). Nous mentionnerons ici à titre illustratif deux modèles qui ont connu et connaissent un certain succès au sein de la communauté scientifique et par leur déploiement auprès des décideurs : le modèle DICE (*Dynamic Integrated Model of Climate and Economy*) (Nordhaus, 1993) et le modèle MarkAl⁴¹ (*Market Allocation Model*) (Fishbone et Abilock, 1981). Le premier est un modèle dit de « croissance optimale » et symbolise une approche qualifiée de *top-down*. Le second reprend une représentation du secteur énergétique en « analyse d'activité » et est l'emblème d'une approche *bottom-up*. Alimentés par des communautés actives, ces deux modèles ont engendré des lignées foisonnantes de dispositifs de modélisation (Matarasso, 2010). Nous aurons l'occasion de passer en revue d'autres modèles dans la partie 2.1.3 de cette section ainsi que dans la section 2.2 où nous nous concentrerons sur un aspect précis de ces modèles : la représentation des comportements.

La prospective telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui dans le monde sur la question de l'énergie et du climat, hybride les approches qualitative et quantitative selon des dosages variables. Ainsi lorsque l'on souhaite obtenir une évaluation quantitative de scénarios (p. ex. quantité de gaz à effet de serre émise), il est courant qu'une approche qualitative d'exploration des possibles précède la mise en œuvre d'une approche quantitative comme l'illustre l'extrait suivant :

« Le savoir-faire prospectif consiste à sélectionner quelques jeux d'hypothèses contrastées qui permettent de construire un petit nombre de scénarios qui ont du sens ou sont représentatifs du champ des futurs possibles. On traduit ensuite les hypothèses retenues pour ces scénarios en données d'entrée des modèles mathématiques décrivant la dynamique des systèmes étudiés, pour quantifier les scénarios » (Guivarch et Rozenberg, 2014)⁴².

Dans une telle configuration, une partie des critiques formulées à l'encontre des deux approches est ainsi contournée. Mais d'autres demeurent. Ainsi l'usage d'un modèle peut restreindre le choix des hypothèses en amont, ou à défaut ne permettre qu'une traduction incomplète de ces hypothèses dans le formalisme de modélisation. Un espace de liberté peut toutefois être trouvé en apportant des modifications au modèle choisi, en sélectionnant *a posteriori* le modèle afin de l'adapter aux scénarios envisagés, voire en

⁴¹ Modèle développé sous l'égide de l'Agence Internationale de l'Energie.

⁴² Signalons que dans l'article en question, les auteurs proposent une approche alternative à cette approche qualifiée de classique : « plutôt que sélectionner a priori quelques jeux d'hypothèses pour construire un petit nombre de scénarios d'étude, il s'agit de faire tourner les modèles des centaines ou milliers de fois pour explorer un large ensemble de futurs plausibles. Les choix se feront alors dans l'espace-cible (celui des scénarios) plutôt que dans l'espace source (celui des hypothèses). » (Guivarch et Rozenberg, 2014).

construisant *ex nihilo* un modèle adapté aux scénarios construits dans la première phase. Par un jeu d'itérations successives, les deux approches peuvent également se nourrir l'une et l'autre, constituant une manière de valoriser au mieux leurs atouts respectifs.

Cette discussion entre approche qualitative et quantitative prend toute sa mesure lorsqu'il s'agit de considérer une évolution des modes de vie dans les exercices de prospective. Par l'infinie flexibilité des systèmes qu'elle permet d'étudier, une approche purement qualitative n'oppose en principe pas d'obstacle à leur prise en considération. Mais les enjeux énergétiques et du changement climatique se basent fréquemment sur l'usage de modèle, ou requièrent *a minima* une évaluation quantitative des scénarios *a posteriori*⁴³. Alors en pratique, comment les exercices prospectifs ont-ils envisagé des mutations des modes de vie ? Et lorsqu'ils mobilisent une approche à dominante quantitative, mettant en jeu un ou plusieurs modèles, restreignent-ils effectivement la capacité à considérer des changements de modes de vie ? Ce sont les questions que nous proposons d'aborder dans la partie suivante à partir d'une étude comparée d'exercices de prospective énergétique menés à l'échelle de la France.

2.1.2 Les modes de vie dans la prospective énergétique : analyse d'exercices français

« Du point de vue de l'incertitude dont ils sont porteurs, les modes de vie auraient pu de longue date faire l'objet d'une attention particulière en prospective. En effet, l'incertitude quant à la direction du changement est l'un des critères essentiels de la démarche prospective. Seules les directions sujettes à incertitude permettent d'esquisser des visions du futur bien contrastées, ce qui est l'objectif principal de l'exercice. Pourtant, la littérature prospective ne comporte pas, pour ainsi dire, de scénarios dont le « moteur », la driving force, soit le changement intrinsèque intervenant dans les modes de vie. »
extrait du rapport final du projet « Modes de vie et empreinte carbone » (Emelianoff et al., 2013).

Dans la lignée du constat dressé par les auteurs de ce rapport, nous proposons d'analyser et comprendre les pratiques actuelles de prise en compte des évolutions des modes de vie dans les exercices de prospective énergétique et d'en mesurer les apports. Pour cela, et dans le cadre d'une revue de littérature, nous passerons au crible d'une grille de lecture focalisée sur cet enjeu un panel d'exercices menés à l'échelle de la France. Cela nous permettra de répondre aux questions suivantes : les évolutions des modes de vie sont-elles explicitement incluses dans le système considéré ? Si non, pour quelles raisons ? Si oui, dans quelle mesure ?

⁴³ Méthode qui peut se passer de l'usage d'un modèle.

Dans cette partie qui reprend largement l'étude publiée dans la revue VertigO (Le Gallic et al., 2015), la présentation du panel fera l'objet d'une première sous-partie (a). La deuxième sous-partie sera consacrée à la présentation de la grille de lecture (b). La troisième sous-partie sera dédiée aux résultats de l'analyse des treize exercices selon cette grille (c) et la quatrième à leur interprétation (d). Nous nous arrêterons notamment sur les raisons qui peuvent expliquer les différences constatées entre exercices (par exemple : choix stratégique, contraintes méthodologiques).

a) Les exercices de prospective énergie-climat passés au crible

Pour comprendre comment les évolutions des modes de vie sont considérées dans les exercices de prospective énergie-climat, nous proposons d'analyser une sélection d'exercices menés à l'échelle de la France. De tels exercices se sont multipliés au cours de la dernière décennie, notamment dans le contexte de la mise à l'agenda des enjeux d'atténuation du changement climatique et d'initiatives gouvernementales telles que le Grenelle de l'environnement puis le débat national sur la transition énergétique. La sélection proposée vise à refléter la diversité des exercices existants selon les critères suivants :

- Type de commanditaire (par exemple structure institutionnelle, organisme de recherche, organisation non gouvernementale) ;
- Horizon temporel considéré (par exemple 2020 ou 2050) ;
- Année de finalisation (de 1998 à 2014) ;
- Diversité des méthodes de quantification et en particulier des modèles utilisés.

La sélection d'exercices est présentée dans le Tableau 9. La première colonne de ce tableau comporte le nom de l'organisme maître d'ouvrage (et non de l'auteur) ou du projet lorsque l'exercice a été mené dans le cadre d'un projet de recherche. La deuxième colonne comprend l'intitulé de l'exercice et une information sur l'horizon temporel considéré. Dans la troisième colonne figure la référence courte de la publication de référence utilisée au cours de la revue. Cette référence servira à nommer les différents exercices dans cette partie. Elle informe donc sur l'année de finalisation de l'exercice. Par ailleurs, signalons que deux exercices sont représentés par deux occurrences dans le tableau (et dans les résultats) : l'exercice de prospective de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), car les méthodes employées pour les visions à 2030 et 2050 diffèrent ; et la contribution au débat national sur la transition énergétique de Bibas et Hourcade (2013) car les neuf scénarios considérés dans la revue de littérature ont été séparés en un lot de sept (noté « A ») et un lot de deux (noté « B ») pour lesquels les approches vis-à-vis des modes de vie différaient nettement. Pour être exhaustif sur les liens entre exercices, notons que ce deuxième lot de scénarios reprend en grande partie les hypothèses du scénario du projet

ENCI-LowCarb (Bibas et al., 2012) et qu'il existe une filiation méthodologique entre les quatre exercices de la Direction générale de l'énergie et des matières premières (DGEMP) et de la Direction générale énergie climat (DGEC) qui l'a remplacée (DGEC, 2011, 2008, DGEMP, 2008, 2005, 2000)⁴⁴.

Tableau 9 : Les exercices de prospective énergie-climat analysés

Organisme maître d'ouvrage ou nom du projet	Intitulé	Référence courte
Commissariat général du Plan (CGP)	Trois scénarios énergétiques pour la France (2010-2020)	CGP, 1998
Direction générale de l'énergie et des matières premières (DGEMP)	DGEMP/CERNA - Pierre-Noël Giraud : un scénario tendanciel pour la France (2020)	DGEMP, 2000
Direction générale de l'énergie et des matières premières (DGEMP) - Observatoire de l'énergie	Étude pour une prospective énergétique concernant la France (2030, 2050)	DGEMP, 2005
Direction générale de l'énergie et des matières premières (DGEMP) - Observatoire de l'énergie et Direction Générale Énergie Climat (DGEC)	"Scénarios énergétiques de référence" et "Du scénario tendanciel aux scénarios Grenelle" (2030)	DGEC, 2008
Centre d'Analyse Stratégique (CAS), J. Syrota (sous la direction de)	Les perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050	CAS, 2008
Direction Générale Énergie Climat (DGEC)	Scénarios prospectifs Énergie – Climat – Air à horizon 2030	DGEC, 2011
Produit du projet PROMOV (Prospective des modes de vie en France à l'horizon 2050 et empreinte carbone)	Prospective des modes de vie en France à l'horizon 2050 et empreinte carbone	Emelianoff et al, 2013
Produit du projet ENCI-LowCarb (<i>Engaging Civil Society in Low Carbon pathways</i>)	Élaboration d'un scénario bas carbone pour la France - Une approche participative pour intégrer l'acceptabilité sociale et économique (2050)	Bibas et al, 2012
Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)	L'exercice de prospective de l'ADEME "Vision 2030"	ADEME, 2013 (2030)
Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME)	L'exercice de prospective de l'ADEME "Vision 2050"	ADEME, 2013 (2050)

⁴⁴ L'exercice de 2008 a été réalisé en deux étapes donnant lieu à deux rapports.

Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (CIRED)	Transitions énergétiques en France : enseignements d'exercices de prospective - Contribution au débat national sur la transition énergétique (2050). Scénarios PM, PM.T, PM.TN, PM.T.F, PM.T.F.R, PM.TN.F, PM.TN.F.R	Bibas et Hourcade, 2013 (A)
Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (CIRED)	Transitions énergétiques en France : enseignements d'exercices de prospective - Contribution au débat national sur la transition énergétique (2050). Scénarios PM.T.F.R.A. et PM.TN.F.R.A.	Bibas et Hourcade, 2013 (B)
Produit du programme "Repenser les villes dans une société post-carbone"	Scénarios du programme "Repenser les villes dans une société post-carbone" (2050)	Theys et Vidalenc, 2013

À l'exception de deux exercices (Emelianoff et al., 2013; Theys et Vidalenc, 2013), l'élaboration des scénarios a systématiquement été guidée ou encadrée par le formalisme de modèles, illustrant au passage le recours récurrent à la modélisation prospective sur ces enjeux. Notons que deux exercices supplémentaires seront évoqués dans les discussions mais ne sont pas passés au crible de la grille de lecture :

- Les travaux du projet de recherche ETHEL (Énergie Transports Habitat Environnement Localisations) pilotés par le Laboratoire d'économie des transports (LET) et qui portent sur l'analyse et la modélisation des comportements transports-habitat-localisations (Raux et al., 2006). Si le formalisme de modélisation adopté est particulièrement intéressant pour traiter d'évolutions des modes de vie (nous y reviendrons dans la sous-partie 2.1.3c)), l'absence de description de scénarios globaux empêche l'application de la grille de lecture ;
- Le scénario négaWatt élaboré par l'institut du même nom (Association Négawatt, 2014). La démarche présente l'intérêt d'actionner une grande diversité de leviers pour proposer un chemin vers la transition énergétique, mais elle présente pour notre objectif l'inconvénient de reposer sur des hypothèses relatives aux modes de vie explicitées avec une rigueur plus faible.

b) Proposition d'une grille de lecture pour objectiver l'évolution des modes de vie

Afin d'appréhender la manière dont les évolutions des modes de vie sont considérées dans les exercices de prospective énergie-climat, nous proposons pour cet article une grille de lecture qui nous aidera à objectiver ces évolutions. Cette grille de lecture comprend neuf indicateurs agrégés en un indice d'évolution des modes de vie. Les indicateurs retenus ont deux propriétés :

- Il s'agit de déterminants de l'emprise énergétique des ménages, c'est-à-dire de leurs consommations d'énergie directe ou indirecte. Les neuf indicateurs se rapportent à

trois postes : le logement, les transports et la consommation de biens et services qui représentaient respectivement environ 33%, 25% et 42% de l’emprise énergétique des ménages français en 2004 (Pourouchottamin et al., 2013) ;

- Ils sont en mesure de refléter l’amplitude et la diversité de l’évolution des modes de vie explorés dans les exercices de prospective énergie-climat.

Une succincte argumentation du choix de chacun des neuf indicateurs est proposée ci-après. Notons que ces indicateurs ne reprennent pas explicitement les dimensions décrites dans la section 1.1 mais que ceux-ci sont mis en correspondance dans l’Annexe 2⁴⁵.

Les trois indicateurs retenus qui se rapportent principalement au poste du logement sont :

- La *taille des ménages* : correspondant au nombre d’occupants par résidence principale, celle-ci est passée de 2,90 en 1975 à 2,27 en 2010 d’après les statistiques de l’Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). Elle est caractéristique des pratiques de cohabitation, qui reflète la structure des modèles familiaux dans un contexte de transformation démographique de la société et plus globalement le rapport aux autres dans un contexte économique donné. En ce sens, son évolution constitue un marqueur de l’évolution des modes de vie.
- La *surface de logement par personne* : concernant le parc de résidences principales, l’évolution de cette grandeur résulte notamment d’évolutions du rapport à l’espace, des modalités d’usage de son domicile, de la perception du confort ou encore de niveaux de consommation matérielle, qui caractérisent les modes de vie. Pour cette raison, elle figure parmi les indicateurs retenus bien qu’elle soit multifactorielle. A titre indicatif, sa valeur est passée de 22 m² en 1970 à 40 m² de nos jours (Jouvenel et al., 2003; Traisnel et al., 2010).
- Le *type d’habitat* (individuel ou collectif) : la part de logements en maison individuelle et en immeuble collectif dans les constructions est le fruit de la rencontre entre les aspirations des ménages et des contraintes (notamment : politiques foncières, situation économique, caractéristique du parc d’habitats existants). L’évolution de ces aspirations traduit l’évolution du rapport aux autres, du rapport à l’espace privé et à l’espace public ou du type de loisirs pratiqués qui sont des déterminants essentiels des modes de vie. En ce sens, l’évolution de la part des types d’habitat constitue un marqueur de l’évolution des modes de vie. La part de maisons individuelles a varié au cours des dernières décennies de 41,3% entre 1949 et 1974 à 66% entre 1982 et 1992 (Jacquot, 2003).

Les trois indicateurs retenus se rapportant principalement au poste des transports sont :

⁴⁵ L’analyse présentée dans cette partie est en effet antérieure aux réflexions sur les dimensions des modes de vie.

- La *localisation de l'habitat* : désignant le type d'espace dans lequel se situe la résidence principale (par exemple : ville centre, banlieue, périurbain, rural), la localisation de l'habitat résulte d'un arbitrage des ménages entre différents critères : commodité d'accès aux services et au lieu de travail, perception des aménités et de la qualité environnementale, types de loisirs pratiqués (par exemple : loisirs familiaux, loisirs centrés sur la nature, vie citadine), type de voisinage (Bonvalet, 2001; Castel, 2006). Bien qu'également multifactorielle, l'évolution de la localisation de l'habitat semble constituer un indicateur-clé de l'évolution des modes de vie.
- La *conception de la mobilité* : cet indicateur composite vise à transcrire les évolutions de la mobilité de nature structurelle telles que l'essor de la mobilité virtuelle, le développement des services de mobilité et la réévaluation de la notion de propriété des véhicules. Témoin de cette nouvelle conception de la mobilité, l'influence du télétravail, du covoiturage et de l'auto-partage sur le système « déplacements de personnes » nous permettra de renseigner l'indicateur proposé. Le niveau de diffusion de ces pratiques est caractéristique des modes de vie et touche à des valeurs telles que le rapport à la propriété, à la virtualité et la mutualisation.
- La *pratique du voyage de loisirs* : caractérisée par la fréquence, la durée et la destination des séjours, la pratique du voyage de loisir de la population française résulte de compromis entre un ensemble de critères personnels – qui font intervenir notamment des aspirations, des types d'activités pratiquées, un rapport à l'espace – dans un cadre de contraintes socioéconomiques (en particulier : niveaux de revenus, accessibilité des destinations). Compte tenu de la forte variabilité de la consommation d'énergie associée à ce poste, l'évolution de cette pratique du voyage de loisir a été retenue comme indicateur de l'évolution des modes de vie.

Pour le poste de la consommation de biens et services, les indicateurs retenus sont :

- Le *régime alimentaire* : l'évolution du régime alimentaire est considéré comme le reflet de l'évolution des modes de vie et des valeurs (Laisney, 2013; Roudaut et Lefrancq, 2008). Étant donné qu'il constitue un enjeu en termes d'émissions de gaz à effet de serre et même de transition énergétique lorsque l'on considère la consommation d'énergie indirecte, il fait partie de la sélection d'indicateurs de la grille de lecture.
- La *structure de la consommation de biens et services* : si la consommation de biens et services est une composante intrinsèque des modes de vie, cet indicateur se limite à en capter les évolutions structurelles. Celles-ci peuvent passer par une modification significative de l'intensité matérielle de la consommation, la réévaluation du rapport à la propriété ou encore l'expansion de pratiques de consommation collaborative, de réemploi et de réparation.

- *L'organisation de la production de biens et services* : bien qu'il dépasse le champ des modes de vie, cet indicateur a été retenu parce qu'il traduit plus généralement l'organisation de la société dans sa fonction « productive », en étroite relation avec la consommation. L'indicateur captera uniquement les évolutions structurelles qui influencent les ménages et leurs modes de vie : place occupée par l'autoproduction de biens et services, place de l'économie de la fonctionnalité, localisation de la production industrielle par rapport au territoire national.

Nous proposons d'agréger ces indicateurs en un indice d'évolution des modes de vie. Pour le construire, nous affecterons une valeur 1 ou 0 à chaque indicateur. Lorsqu'un indicateur fait l'objet d'hypothèses contrastées pour différents scénarios, il vaut 1. Si un seul scénario a été élaboré, l'indicateur prend la valeur 1 si l'hypothèse retenue s'inscrit dans une logique d'évolution non tendancielle explicite. Dans les autres cas, il vaut 0. La valeur de l'indice pour chaque exercice est la somme de la valeur des indicateurs. Ainsi, chaque groupe d'indicateurs dispose du même poids dans l'analyse finale, en cohérence avec des poids comparables des postes correspondant dans l'emprise énergétique (logement, transport, consommation). La partie suivante présente les résultats de l'utilisation de l'indice d'évolution des modes de vie pour la sélection d'exercices menés à l'échelle de la France.

c) Représentation des résultats selon l'indice d'évolution des modes de vie

Les treize exercices de prospective énergie-climat analysés sont positionnés sur le graphique de la Figure 10 selon la valeur de l'indice d'évolution des modes de vie (axe des ordonnées) et leur année de finalisation (axe des abscisses). La forme des marqueurs indique l'horizon temporel des exercices (triangulaire pour des horizons à 2020 ou 2030 ; circulaire pour des horizons à 2050 et au-delà) et les deux marqueurs plus foncés distinguent les exercices qui ne reposent pas sur une modélisation explicite (mais quantifient tout de même la consommation d'énergie et/ou les émissions de gaz à effet de serre).

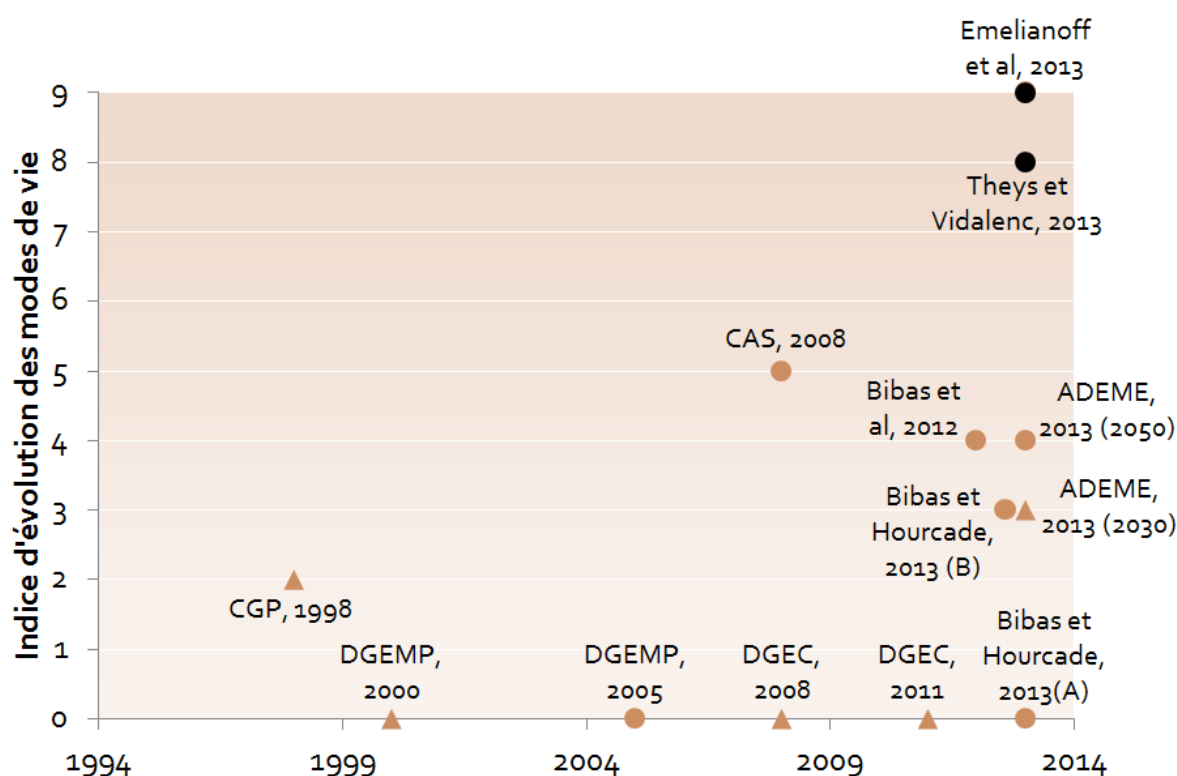


Figure 10 : Représentation graphique de l'analyse des exercices de prospective. Chaque marqueur représente un exercice de prospective identifié à l'aide de sa référence (voir le Tableau 9 pour les correspondances). Les marqueurs triangulaires caractérisent les exercices à l'horizon 2020 ou 2030, les marqueurs circulaires ceux à l'horizon 2050. Les deux marqueurs plus foncés distinguent les exercices dont la construction de scénarios n'a pas été encadrée par une modélisation explicite.

Au-delà du constat de la multiplication apparente des exercices de prospective énergie-climat à l'échelle de la France ces dernières années, il apparaît que :

- Les cinq exercices ayant quatre critères remplis ou plus ont une échéance à 2050. Les exercices ayant un horizon temporel à 2020 ou 2030 remplissent au plus trois critères sur neuf ;
- Les deux seuls exercices remplissant tous les critères de l'indice ou presque sont récents et ont adopté une approche à dominante qualitative pour la construction de scénarios.

d) *Interprétation et discussion des résultats*

Nous proposons de revenir sur les raisons qui expliquent les différences de situation des exercices de prospective vis-à-vis de l'indice d'évolution des modes de vie. Tout d'abord, le choix d'un horizon temporel relativement lointain – 2050 et au-delà (correspondant à l'avènement de près de deux générations) – semble être une condition préalable pour considérer des évolutions relativement profondes des modes de vie. Néanmoins, les valeurs de l'indice pour les exercices portant sur cet horizon temporel varient de 0 à 9, démontrant

l'existence d'autres facteurs d'explications. Ceux-ci sont à trouver dans les enjeux de périmètre considéré dans la démarche prospective, et ce à plusieurs niveaux.

Un premier enjeu porte sur le degré de désagrégation du système considéré et modélisé. À titre d'exemple, la variable « surface de logement par personne » ne fait pas l'objet d'hypothèses explicites dans les exercices qui ont utilisé le modèle IMACLIM-R (Bibas et Hourcade, 2013 (A) et (B) ; Bibas et al, 2012). Il en est de même pour la localisation de l'habitat qui ne fait pas l'objet d'hypothèses pour les exercices de la DGEMP et de la DGEC reposant sur l'utilisation du modèle Med-Pro (DGEMP, 2000 ; DGEMP, 2005 ; DGEC, 2008 ; DGEC, 2011). Le niveau de désagrégation des versions des modèles utilisées a pu constituer un obstacle pour tester des hypothèses contrastées sur ces paramètres, sans préjuger de leur capacité à le faire dans l'absolu⁴⁶.

Un second enjeu porte sur les paramètres fixés de manière exogène – et donc en creux sur le périmètre des paramètres considérés comme des leviers d'action. Certains paramètres sont considérés dans les exercices de prospective comme non influençables, leur évolution comme inéluctable et par conséquent ils ne font pas l'objet d'hypothèses contrastées. C'est le cas de la taille des ménages dans la majorité des exercices analysés. Par exemple dans l'exercice de l'ADEME à l'horizon 2050, il est considéré comme un « *paramètre important dans le besoin de logement, [qui] se réduit à 2,05 personnes/ménage contre 2,31 aujourd'hui* », les auteurs ajoutent : « *les tendances de décohabitation et de vieillissement de la population ont été prises comme des évolutions de la société sur lesquelles il [leur] semblait hasardeux de poser des hypothèses normatives* » (ADEME, 2013). C'est aussi le cas du type d'habitat (individuel ou collectif) dans les exercices de prospective menés par la DGEMP et la DGEC par exemple (DGEMP, 2000 ; DGEMP, 2005 ; DGEMP, 2008 ; DGEC, 2011).

Un troisième enjeu porte sur le périmètre de comptabilisation de la consommation d'énergie et/ou des émissions de gaz à effet de serre :

- d'une part, des secteurs sont exclus du périmètre de comptabilisation de certains exercices. C'est le cas notamment de la consommation d'énergie liée au transport international dans cinq exercices (Theys et Vidalenc, 2013 ; Bibas et Hourcade, 2013 ; ADEME, 2013 ; Bibas et al, 2012), ce qui implique que la dimension « pratique du voyage de loisirs » faisant partie des indicateurs du poste « transport » ne peut que partiellement être considérée comme variable (ou cela implique d'omettre les voyages internationaux) et n'a pas d'influence sur la consommation d'énergie ;
- d'autre part, à l'exception de la démarche du projet PROMOV (Emelianoff et al., 2013), tous les exercices de prospective énergie-climat analysés adoptent une approche de comptabilité territoriale telle que préconisée par la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC) et le Protocole de

⁴⁶ Ce paramètre fait en effet l'objet d'hypothèse dans un autre exercice utilisant le modèle Imacsim-R par exemple (voir Crassous, 2008).

Kyoto. Cette approche suivant un périmètre géographique ne comptabilise pas les émissions et les consommations indirectes. Des hypothèses contrastées sur les trois critères du poste « consommation de biens et services » de l'analyse sont dans ce cas difficiles à intégrer dans les modèles. En effet, dans un marché mondialisé, le volume et la structure de l'activité industrielle (ou agricole) n'est que partiellement déterminée par la consommation intérieure. Celle-ci peut donc ne pas être intégrée au système considéré dans la démarche prospective et ne pas faire l'objet d'hypothèses. Malgré ces difficultés, sept exercices de prospective ont émis des hypothèses contrastées sur les critères de consommation : les exercices du Commissariat Général au Plan et du Centre d'Analyse Stratégique envisagent des inflexions ou développements structurels de branches industrielles, par exemple du fait de la dématérialisation de l'économie et de la réindustrialisation de l'Europe (CAS, 2008 ; CGP, 1998) ; les deux exercices de l'ADEME considèrent une évolution du régime alimentaire ayant un impact sur le secteur agricole (ADEME, 2013) ; deux variantes du projet ENCI-LowCarb sont basées sur des hypothèses de relocalisation et de dématérialisation de la production industrielle (Bibas et al, 2012), cette seconde hypothèse étant reprise dans l'exercice du Centre international de recherche sur l'environnement et le développement (Bibas et Hourcade, 2013) ; enfin le scénario « Urbanité sobre » de la démarche prospective du programme « Repenser les villes dans une société postcarbone » envisage une transformation majeure des modes de consommation et des manières de vivre et de produire (Theys et Vidalenc, 2013). Dans tous ces cas, la traduction de ces hypothèses dans les modèles se fait de manière très indirecte. Dans le projet PROMOV, une approche de comptabilité de type « empreinte » est adoptée. Celle-ci permet de rendre explicite les émissions de gaz à effet de serre associées à la consommation de biens et services (Pasquier, 2012) et facilite donc l'évaluation quantitative d'hypothèses contrastées sur le poste « consommation de biens et services ».

Les périmètres retenus dans ces exercices permettent donc d'expliquer en grande partie la variabilité des résultats sur l'indice d'évolution des modes de vie. Ils sont le fruit d'un compromis intégrant des choix et des contraintes méthodologiques.

Lorsqu'il s'agit de contraintes, elles résultent avant tout de contraintes méthodologiques liées au formalisme des modèles utilisés, même s'il est possible de les surmonter partiellement. C'est le cas de l'enjeu lié aux périmètres de comptabilisation comme expliqué ci-dessus, notamment car les modèles les plus utilisés se basent sur le périmètre de comptabilité préconisé par la CCNUCC. C'est également le cas en l'absence de relation mathématique directe établie entre paramètres, comme entre la localisation de l'habitat et la mobilité dans la plupart des exercices analysés. La prise en compte de cette relation complexe fait partie des avancées mises en œuvre dans les travaux de modélisation du projet ETHEL (Raux et al., 2006), démontrant que des solutions sont disponibles.

Lorsqu'il s'agit de choix, ils révèlent la manière de considérer les évolutions des modes de vie : elles peuvent être considérées comme un paramètre exogène ou comme un levier d'action. Ainsi les exercices institutionnels tels que ceux pilotés par la DGEC sont construits sur la base d'hypothèses de mise en œuvre de mesures (de type réglementation, incitations par exemple) que la scénarisation permet d'évaluer (DGEC, 2011 ; DGEC, 2008). Dans ce cas, la volonté de conduire une évaluation « toutes choses égales par ailleurs » peut expliquer l'absence de changement des modes de vie. Au-delà, l'absence de représentation revient à considérer implicitement que l'influence des mesures sur les modes de vie est limitée. Ce constat peut s'expliquer par la difficulté d'établir des relations entre les paramètres sur lesquels jouent les mesures et les modes de vie qui constituent un objet complexe. Il peut également s'expliquer par « *le souci de respect de la liberté individuelle et de l'espace privé* » (Radanne, 2013). Il est en effet généralement considéré, de manière explicite ou implicite, que le champ politique n'a pas vocation à jouer le rôle de prescripteur de modes de vie. C'est la démarche inverse qui est adoptée dans la construction du scénario négaWatt en 2011. Dans cet exercice, le parti pris a été de considérer les changements de modes de vie comme un levier d'action, en mobilisant le concept de sobriété. Ce dernier se traduit par exemple par de nouvelles pratiques de cohabitation qui réduisent les besoins en logements, par de nouvelles pratiques sociales de mobilité contribuant à réduire les besoins en déplacements (ex. « *rationalisation* » des déplacements aériens), par une réduction de la « *consommation de certains produits considérés comme non utiles (par exemple tracts publicitaires, emballages superflus), mais aussi excessifs (moins de constructions neuves, moins d'autoroutes, etc.)* » (Association Négawatt, 2014). Dans un cas extrême, les modes de vie sont donc « mis sous cloche », dans l'autre cas extrême, leur évolution est définie de manière normative (dictée par l'impératif de sobriété) et contribuent aux objectifs de transition énergétique.

Signalons toutefois que la frontière entre choix et contraintes méthodologiques est diffuse, puisque les limites des modèles résultent généralement de choix méthodologiques effectués au moment de la conception de l'architecture de modélisation. De même, le choix d'un modèle pour un exercice de prospective prend en considération les possibilités offertes par le modèle et ses limites. Ce qui apparaît comme une contrainte à un instant donné est donc également le fruit de choix à un autre instant.

L'analyse menée sur treize exercices de prospective énergie-climat français montre les différences radicales qui existent entre exercices en termes d'hypothèses d'évolution des modes de vie considérées. Si les exercices à horizon temporel d'une génération (ou moins) considèrent systématiquement des évolutions de faible ampleur, ceux qui portent sur un horizon temporel plus lointain balayent tout le spectre des possibilités : de la stabilité aux mutations profondes. Les différences s'expliquent par des choix et des contraintes méthodologiques portant principalement sur des enjeux de périmètres. Pour lever les contraintes, propres aux exercices à dominante quantitative, nous avons vu que des

évolutions structurelles des modèles pourraient être nécessaires, en particulier pour tester des hypothèses d'évolution relatives au poste « consommation de biens et services » de manière plus directe. Nous avons également vu que deux exercices permettaient d'envisager de profondes et larges mutations des modes de vie. Contrairement à la plupart des autres exercices, les scénarios de ces deux exercices ont été élaborés selon une approche qualitative avant de procéder à leur évaluation quantitative. Dans la partie suivante, nous proposons dans un premier temps de nous attarder sur ces deux exercices avant de nous pencher sur d'autres expériences principalement internationales où des évolutions des modes de vie ont été explicitement envisagées.

2.1.3 Enseignements d'exercices de prospective pionniers pour leur prise en compte d'évolutions des modes de vie

Nous avons recensé au cours de nos recherches une dizaine d'exercices à caractère prospectif dans lesquels les modes de vie ont été explicitement envisagés comme un moteur de l'évolution de la consommation d'énergie ou des émissions de gaz à effet de serre. Nous consacrons cette partie à leur description et leur caractérisation afin d'en tirer des enseignements pour nos recherches.

Plusieurs critères nous permettront de caractériser ces exercices. Nous reprendrons la distinction entre exercices dont la construction des scénarios est basée sur l'usage d'un modèle (approche quantitative), et ceux qui ne le sont pas (approche qualitative). Nous spécifierons également pour chaque exercice les types de scénarios décrits. Plusieurs typologies et classifications de scénarios ont été proposées. Afin de lever d'éventuelles ambiguïtés quant à la terminologie employée⁴⁷, nous utiliserons les trois catégories que proposent Börjeson et al. (2006) : les scénarios *prédictifs*, les scénarios *exploratoires* et les scénarios *normatifs* (Figure 1). Les scénarios prédictifs répondent à la question « que va-t-il se passer ? ». Ils correspondent à l'univers des prévisions, où aucun ou peu de changements sont envisagés par rapport aux tendances actuelles. Les scénarios exploratoires entendent répondre à la question « *que peut-il se passer ?* ». Ils envisagent au contraire des transformations non tendanciennes du système qui peuvent avoir lieu dans toutes les directions possibles. Enfin, les scénarios normatifs entendent répondre à la question « *comment cette cible peut-elle être atteinte ?* ». La cible en question peut par exemple être une cible d'émissions de gaz à effet de serre. L'exercice consiste alors à partir de cette cible pour construire des trajectoires de changement. Notons enfin qu'au sein d'un même exercice, « *un scénario peut être contrasté, s'il explore un thème volontairement extrême, tendanciel, s'il correspond à l'exploration des tendances identifiées, ou de référence, s'il est le plus probable, qu'il soit tendanciel ou non* » (Destatte et Durance, 2009).

⁴⁷ La notion de scénario *normatif* par exemple désigne parfois un scénario développé selon une approche *backcasting* parfois un scénario conduisant à un objectif visé.

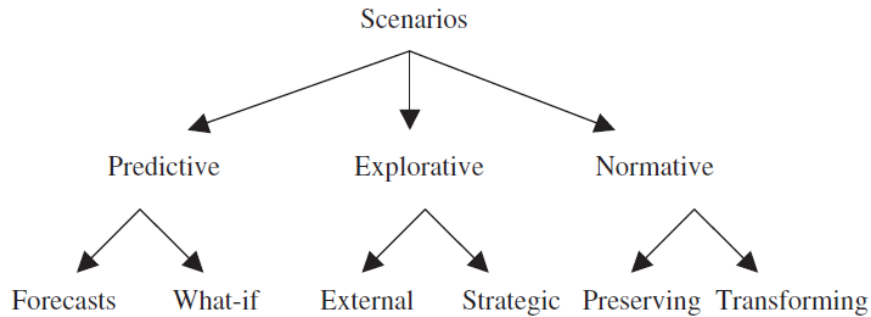


Figure 11 : Typologie de scénarios proposée par Börjeson et al. (2006) (figure extraite de la publication)

Dans cette partie 2.1.3, nous commencerons par étudier les deux exercices de la partie précédente qui se démarquaient selon notre critère d'analyse (a). Nous examinerons ensuite trois autres exercices ayant également adopté une approche qualitative pour élaborer leurs scénarios (b). Nous analyserons enfin cinq exercices au cours desquels l'élaboration de scénarios d'évolution des modes de vie s'est basée sur le formalisme d'un modèle (c). Nous concluons cette partie en dégagant des enseignements de l'analyse de l'ensemble de ces exercices (2.1.4).

a) Retour sur les deux exercices français « pionniers » identifiés

Selon la grille de lecture adoptée, deux des treize exercices français analysés dans la partie précédente constituent des exercices pionniers pour leur prise en considération d'évolutions profondes des modes de vie dans le cadre de démarches de prospective énergie-climat. Cette sous-partie est l'occasion de détailler leur déroulement et les choix méthodologiques effectués pour élaborer les scénarios.

Du point de vue méthodologique, la démarche prospective du programme « Repenser les villes dans une société postcarbone » (2009-2013) suit la logique de la méthode des scénarios que nous avons déjà mentionnée. Pour reprendre ses grandes étapes, celle-ci consiste à définir le système et ses variables, à formuler des hypothèses en se basant sur une analyse des tendances passées et une interprétation de signaux faibles avant d'élaborer des scénarios contrastés. Le nombre de variables décrites est considérable (une centaine) et elles portent sur des champs très variés (p. ex. « contexte économique national et international », « politiques publiques sectorielles », « systèmes urbains », « technologies des transports et de la communication » ou encore « modes de vie et valeurs ») (Theys et Vidalenc, 2013). Dans cet exercice, six scénarios ont été élaborés par un petit groupe d'experts. Un scénario parmi les six (nommé « Urbanité sobre ») fait de l'évolution des modes de vie un moteur de transformation essentiel qui aboutit finalement à une profonde mutation de l'organisation de la société et du système productif. Les autres envisagent des évolutions des modes de vie tendancielles ou résultant de changements du contexte (notamment économique, politique, technologique). Les scénarios élaborés devaient

s'inscrire dans une perspective de transition énergétique et d'atteinte du facteur 4. Bien que cette cible n'ait finalement été qu'une direction à suivre puisqu'elle n'est effectivement atteinte que dans un seul scénario, elle donne à l'élaboration de scénarios un caractère normatif. En revanche, cet exercice a proposé six scénarios contrastés, c'est-à-dire que pour une cible unique (la société post-carbone), plusieurs modalités d'atteinte et plusieurs chemins ont été envisagés. Ainsi, si l'on se restreint au sous-système des modes de vie, un seul scénario est véritablement normatif, c'est-à-dire que seul un scénario a été construit en commençant par décrire une image des modes de vie futurs.

La démarche prospective du projet de recherche PROMOV (2010-2012) a également été conduite selon une méthode s'apparentant à la méthode des scénarios. Pendant deux ans, l'exercice a réuni des experts et chercheurs provenant de différents horizons disciplinaires et thématiques. Bien que la question de la disponibilité des ressources ait été structurante pour l'élaboration de scénarios, les participants se sont affranchi de toute cible *a priori* vis-à-vis des scénarios à construire, et se situent en ce sens dans une attitude exploratoire. Le projet PROMOV a finalement abouti à la construction de cinq visions contrastées de la société française et de ses modes de vie, dont l'esprit est brièvement décrit dans le Tableau 10. Leur construction a été alimentée par une étude rétrospective des modes de vie en France ainsi que par des contributions sur les signaux faibles et l'émergence de nouveaux mouvement sociaux silencieux, sur les apports de la science-fiction pour une prospective des modes de vie ou encore sur l'essor des info-nano-bio-technologies (Blanc, 2010; Emelianoff, 2010; Mor, 2010a, 2010b). Les cinq visions construites résultent de la mise en avant de différents moteurs de changement, en s'autorisant la prise en compte d'hypothèses de rupture. En termes de contrastes, cet exercice est celui qui à notre connaissance va le plus loin tant dans la diversité des futurs explorés que dans les implications sur la transformation de la société – parmi les rares scénarios recensés ayant fait des changements intrinsèques des modes de vie la *driving force*. Ici la liberté de construction de scénarios offerte par une approche qualitative est pleinement exploitée.

Tableau 10 : Brève description des cinq scénarios du projet PROMOV (d'après [Emelianoff et al, 2012])

Nom du scénario	Courte description de l'esprit de la vision (citations extraites de [Emelianoff et al., 2013])
Société consumérisme vert	« La société consumérisme vert se situe dans un scénario tendanciel au regard des modes de vie en Europe, l'innovation technologique apporte certes de nouveaux biens et services, mais sans profonde transformation. Le moteur des changements est l'adaptation à la mondialisation de l'économie, sur fond d'individualisme. Le consumérisme est toujours à la base des rapports d'échange et de la matérialité de ceux-ci. Toutefois, la poursuite de cette tendance dans un contexte de contrainte sur les ressources matérielles (et de coûts élevés liés aux conséquences du changement climatique et à l'adaptation des infrastructures) impose de réduire l'impact écologique de la société de consommation, dont les émissions de gaz à effet de serre. »

Société individu augmenté	« La recherche de performance, tant au niveau individuel que systémique, est centrale dans ce scénario. (...) Le marché est devenu le modèle universel d'organisation sociale. » « Pour s'adapter à des rythmes temporels accélérés et augmenter leurs performances, les individus n'hésitent pas à incorporer des prothèses de plus en plus nombreuses » et « les progrès dans le domaine médical (génétique, rajeunissement des tissus, implants, chimie, etc.) conduisent à un allongement significatif de l'espérance de vie ». Ces prothèses et progrès « ne sont néanmoins pas accessibles à tous au même degré de sophistication » et les inégalités se creusent. « L'hyper-performance permet à une élite transnationale d'accéder aux places de prestige, aux choix de vie les plus enviables, à travers une forte dépendance aux artifices techniques. »
Société duale et sobriété plurielle	« Le changement social est piloté par une économie en crise chronique. » L'instabilité et les menaces d'effondrement conduisent « à une crise profonde de sens. (...) Une partie de la population se détourne du système économique dominant, dans le sillage des créatifs culturels et des décroissants qui avaient ouvert la voie au début du siècle. (...) En 2050, 60 % de la société continue d'alimenter le système économique historique, pour l'essentiel dans les métropoles, tandis que les 40 % restant ont décroché », de manière volontaire ou par nécessité, « en créant de nouvelles formes d'organisation sociale inspirées de la vie communautaire et en revitalisant le milieu rural et les petites villes. (...) Dès lors, les individus et les communautés se distinguent par la diversité de leurs préférences culturelles, de leurs hobbies et penchants existentiels. »
Société écocitoyenneté	« Ce scénario se caractérise par la prise de conscience des limites de l'anthropocentrisme et la reconnaissance de l'importance de la « vie avec les autres » pour préserver une qualité de vie. Les enjeux écologiques et sociaux sont passés au centre de l'action collective et de l'organisation sociale ; l'environnement est au cœur de la reformulation des principes de justice, ce qui transforme la société et les dynamiques sociales. (...) L'écologie implique aussi la responsabilité à l'égard de son propre mode de vie et un droit de regard sur celui des autres. L'écocitoyenneté a acquis ses lettres de noblesse et tente de combiner, si possible, lien, engagement, qualité de vie et éthique. »
Société âge de la connaissance	« Ce scénario suppose une crise économique et énergétique vigoureuse, qui entraîne une rupture dans le rapport à la consommation. Les mouvements et les sentiments anticonsuméristes se sont développés au Nord pour un ensemble de raisons : écologiques et sanitaires (pollutions chimiques, stress au travail affectant la santé), économiques (récession), géopolitiques, avec la prégnance des enjeux de justice environnementale sur la scène internationale et nationale (partage des ressources planétaires), et enfin culturelles, la sphère des NTIC occupant une place majeure dans la vie quotidienne, en bouleversant le clivage producteur/consommateur. (...) C'est l'âge de la connaissance au sens fort, la « noosphère », caractérisée par l'accès généralisé et démultiplié au savoir, la formation tout au long de la vie, une diversification et déhiérarchisation des formes de savoirs et de pédagogies. Les individus massivement connectés à l'Internet trouvent de nouvelles sources d'expression, de reconnaissance et d'identité sociales, mais aussi d'activités et de revenus. »

Ces visions du futur de la société française ont fait l'objet d'une évaluation quantitative des émissions de gaz à effet de serre *a posteriori* dans les deux cas, cela signifie que les modalités de quantification n'ont pas influencé l'élaboration des scénarios. Dans le premier exercice, l'évaluation a été réalisée à l'aide du modèle IMACLIM-R. Dans le second cas, elle a porté sur un jeu de ménages-types et été réalisée selon une méthode comptable. Les estimations ont montré que l'influence des modes de vie sur les émissions de gaz à effet de serre futures pouvait être du même ordre de grandeur que celle des technologies du système énergétique (Emelianoff et al., 2013; Theys et Vidalenc, 2013), que ce soit vers plus de sobriété ou vers des émissions croissantes.

b) Méthodes alternatives pour la construction de futurs modes de vie

Trois autres exercices recensés adoptent une approche qualitative pour construire une image des futurs modes de vie, mais celle-ci diffère de la méthode des scénarios. La première est proposée par Schipper et al. (1989) dont nous avons déjà présenté le cadre conceptuel dans le chapitre précédent. Celui-ci repose sur l'analyse de données d'usage du temps, de dépenses des ménages, d'équipements et de mobilité. Dans cette publication, les auteurs utilisent également ce cadre conceptuel pour discuter des futurs besoins en énergie. Ils se focalisent pour cela sur les changements de modes de vie qui peuvent avoir des impacts significatifs sur la future consommation d'énergie de chaque secteur. La démarche est avant tout qualitative puisque les influences de changement sont recensées sans être quantifiées. Les changements abordés sont classés en trois secteurs :

- Pour le secteur résidentiel, les auteurs évoquent la diminution attendue de la taille des ménages comme un facteur pouvant accroître la demande en énergie par personne. Ils mentionnent également plusieurs facteurs qui peuvent modifier le temps passé à la maison, et donc l'énergie qui y est consommé, en particulier : le vieillissement de la population et ses conséquences sur le temps passé devant la télévision, à la maison), l'augmentation de la part de télétravailleurs (envisagée à 15% en 2000 par Ambry (1988)) et le déplacement de certaines activités à domicile, alors qu'elles étaient effectuées à l'extérieur auparavant (sont évoqués : la blanchisserie, le visionnage de vidéos, la préparation des aliments ; à partir des tendances passées décrites par Gershuny et al. (1986)). L'augmentation envisagée de la part des femmes exerçant une profession rémunérée contrebalance cette tendance.
- Pour le secteur des transports, les auteurs identifient deux facteurs importants de l'accroissement de la demande énergétique : l'augmentation du taux de motorisation et l'augmentation du recours au transport aérien (même si une saturation de sa part modale est observée à l'époque aux États-Unis). Ils mentionnent la substitution de services de transport de personnes par des services

de livraison à domicile. Ils mettent également en avant l'existence de changements aux effets contradictoires, comme la réduction du temps de travail et la semaine de quatre jours qui auraient pour conséquence une diminution du nombre de trajets domicile-travail, mais un allongement de la durée des week-ends encourageant des déplacements plus lointains.

- Pour le secteur des services, les auteurs ont identifié plusieurs changements potentiellement influents, en particulier : l'allongement des horaires de travail qui pourrait allonger les périodes d'ouverture (et donc de chauffage) des services (p. ex. commerces) et le besoin accru en services de santé et de soin des personnes âgées qui sont intensifs en énergie. Toutefois, ceux-ci pourraient être davantage conduits à domicile et ainsi limiter leur impact.

Cette première approche pense ainsi les futurs usages de l'énergie à travers les changements de modes de vie à une époque où les déterminants habituels (p. ex. taux d'équipement en chauffage central, en eau chaude sanitaire) rencontrent certaines limites pour anticiper la consommation future du fait de phénomènes de saturation. La discussion des évolutions futures s'appuie sur le prolongement de tendances ou l'interprétation de signaux faibles relatifs aux activités des individus et des ménages, détectés dans les séries de données issues d'enquêtes (p. ex. usage du temps, taux d'équipement). La démarche est donc plutôt exploratoire, mais ne propose pas de véritables scénarios ni de quantification. L'approche démontrera alors ses limites dès que des changements aux conséquences antagonistes sur les usages de l'énergie interviennent. En effet, en l'absence de quantification, les auteurs ne peuvent se prononcer sur l'effet net sur la demande en énergie.

Une toute autre approche a été adoptée pour anticiper les futurs modes de vie et leurs conséquences sur les émissions de gaz à effet de serre dans le cadre du projet de recherche « Milieux urbains durables - Prospective des modes de vie dans des villes postcarbone » (2009-2011) piloté par la société Sociovision et l'*European Institute for Energy Research* (EIFER). Décrite par Huber et al. (2013), celle-ci consiste à tenir compte de la pluralité de la société. Alors que les démarches de prospective énergétique utilisent le plus souvent une société entière – dont la diversité et la complexité obligent à un regard général et macroscopique, à se reposer sur une analyse d'indicateurs moyens –, cette étude a utilisé une segmentation de la société pour envisager les changements de modes de vie. Le projet emploie la segmentation Sinus-Milieus® qui décompose la société française en neuf groupes sociaux établis (représentants pour la plupart entre 10 et 12% de la population) et trois groupes sociaux émergents (Figure 12). La segmentation Sinus-Milieus® de Sociovision « comporte deux dimensions principales : d'une part le niveau socioéconomique, qui inclut notamment le niveau d'études, de revenus et de statut social ainsi que la catégorie socioprofessionnelle, d'autre part la dynamique du changement socioculturel qui comprend les aspirations, les motivations et le système de valeurs des individus » (Girard et al., 2011). C'est

sur la segmentation que repose ici l'approche prospective : les auteurs tentent d'identifier dans la société actuelle des milieux en germination qui pourraient devenir des milieux à part entière à l'horizon 2025, les milieux émergents. La transformation de la société est alors provoquée par – et perçue à travers – l'émergence et le déclin de certains milieux et l'évolution de leur représentativité. Celle-ci entraîne une modification des pratiques en matière d'habitat, de mobilité, de consommation de biens et services à l'échelle agrégée. Toutefois, les auteurs ne proposent pas de véritables scénarios ni de vision agrégée de l'évolution de la société et la vision quantitative s'arrête à une évaluation à l'échelle individuelle. Dans ce projet, la quantification est opérée par l'estimation de l'empreinte carbone d'individus-types⁴⁸ des différents milieux à partir d'une reconstitution de leurs modes de vie. La variabilité entre les différents profils est considérable, atteignant un facteur neuf entre les profils les plus sobres (« consommateurs populaires », « précaires jeunes ») et les profils les plus émetteurs (« bourgeoisie installée »).

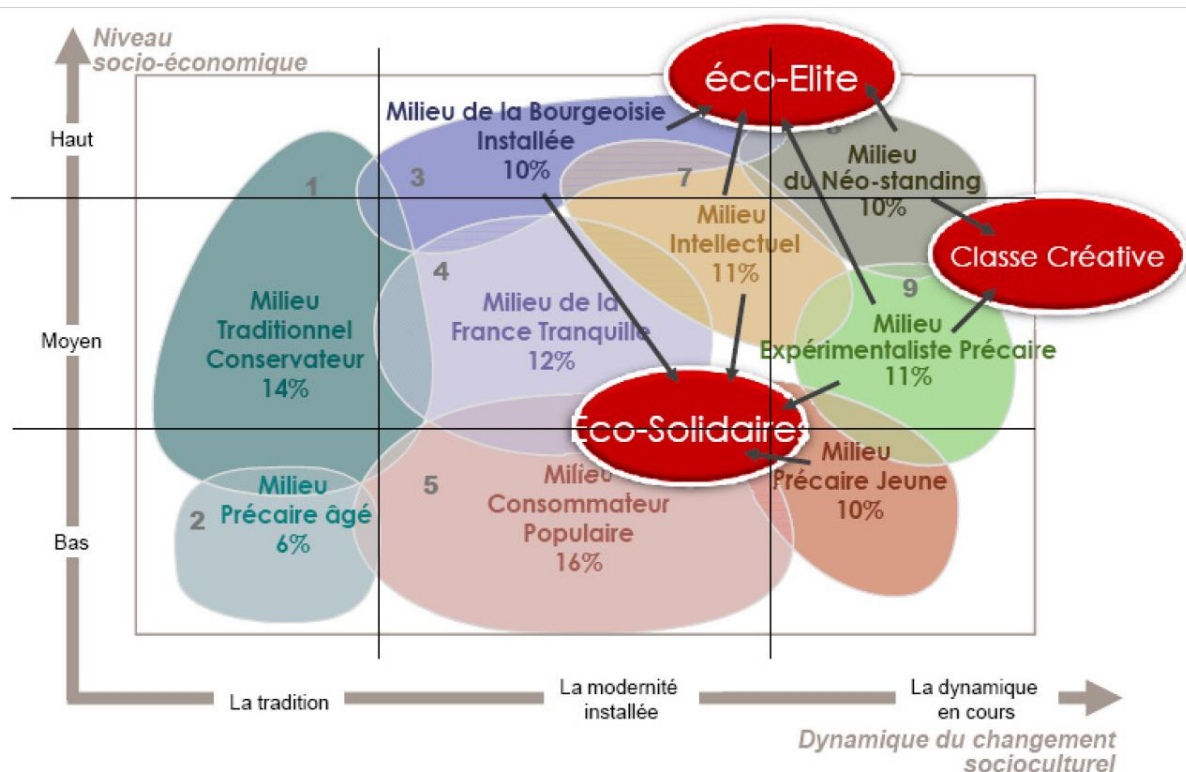


Figure 12 : Représentation des neuf milieux actuels et des trois milieux émergents selon le niveau socioéconomique et la dynamique du changement socioculturel (système de valeurs). Source : Sociovision (2011)

La dernière initiative a été menée à l'échelle européenne dans le cadre du projet de recherche interdisciplinaire « *SPREAD – Sustainable lifestyles* » (2011-2012). Pour esquisser de futurs modes de vie, les contributeurs au projet se focalisent sur les modalités de transitions de la société. Ils se sont dans un premier temps attachés à caractériser les modes

⁴⁸ A noter que les individus-types ne sont pas statistiquement représentatifs de chaque milieu, par choix méthodologique. L'utilisation d'un individu moyen par milieu conduit en effet à une atténuation des variations marginales.

de vie actuels et leurs impacts environnementaux. Ce travail a été alimenté à la fois par une revue de littérature et des contributions citoyennes⁴⁹. Parmi les pratiques actuelles, une attention toute particulière a été portée à l'identification de signaux faibles et de pratiques prometteuses dans une perspective de modes de vie durables. Parmi les pratiques recensées figurent par exemple le choix d'une alimentation locale, l'accession aux biens par la location ou la copropriété plutôt que par la propriété exclusive, le choix systématique des transports collectifs pour les déplacements quotidiens ou encore la gestion coopérative et locale d'unités de production d'électricité renouvelable. Au-delà du recensement, il s'agissait d'évaluer le potentiel et les modalités de diffusion au sein de la société de ces pratiques (Backhaus et al., 2012). Les auteurs du projet ont ensuite accompagné les citoyens ayant participé au projet dans la construction de trajectoires individuelles de transition aboutissant à une réduction drastique de l'empreinte matérielle à l'horizon 2050 (voir l'exemple de la Figure 13). Ces travaux ont permis d'identifier concrètement les enjeux collectifs de la transition vers des modes de vie durables en termes de structure de l'économie, d'infrastructures, de lois, etc. Ils ont ainsi alimenté la construction de quatre visions contrastées d'évolution de la société à l'horizon 2050 par les experts. "*Singular super champion*" est un scénario de type « croissance verte », c'est-à-dire reposant sur de meilleures technologies, où le marché et les institutions européennes et nationales jouent un rôle important. "*Governing the commons*" est un scénario de changement de paradigme de la société vers un monde digital et virtuel, où les biens matériels perdent de leur importance. "*Local loops*" est un monde qui s'organise à l'échelle locale et à travers des boucles de réutilisation suite à la survenue d'une crise énergétique majeure. "*Empathetics communities*" est un scénario où la société s'organise de manière collaborative à l'échelle de villes et de bassins de vie, échelle à laquelle la plupart des décisions publiques sont prises. Si elles reposent sur des moteurs d'évolution différents, ces quatre visions sont toutes bornées par une contrainte : la nécessité d'aboutir à une généralisation des modes de vie durables. Ainsi, chacune des quatre visions permet aux membres de la population de vivre avec une empreinte matérielle divisée par près de quatre à l'horizon 2050 (Hicks et al., 2012). L'attitude est donc normative. L'approche quantitative reposait quant à elle sur le concept d'empreinte matérielle. L'empreinte matérielle représente l'usage de ressources matérielles renouvelables et non renouvelables (ex. énergies fossiles) à laquelle est ajoutée l'érosion causée par l'agriculture et la sylviculture. Elle couvre l'ensemble du cycle de vie : extraction des matières premières, procédés industriels, distribution, consommation, recyclage et traitement des déchets résiduels⁵⁰ (Hicks et al., 2012).

⁴⁹ Des groupes de travail et une plateforme collaborative ont été mis en place à cette fin.

⁵⁰ Pour une application de l'empreinte matérielle, voir par exemple l'article de Lettenmeier et al. (2012).

YOUR MATERIAL FOOTPRINT FROM 2011 TO 2050

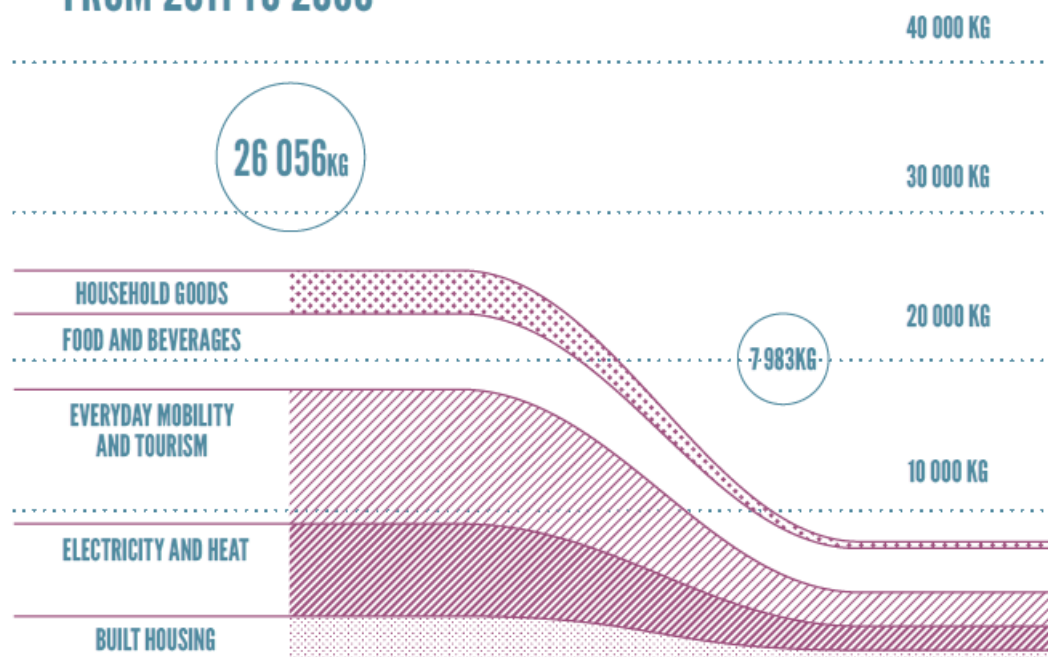


Figure 13 : Exemple de trajectoire d'évolution de l'empreinte matérielle pour Inke, citoyenne Finlandaise ayant participé au projet (figure extraite de [Hicks et al., 2012]).

Ces trois initiatives mobilisent plusieurs méthodes pour construire une image des futurs modes de vie. Elles ont en commun de s'appuyer sur la situation actuelle, des signaux faibles ou pratiques émergentes et sur des tendances passées, tout comme les deux initiatives précédemment décrites. En revanche, la grille de lecture et le cadre d'élaboration des scénarios diffèrent. Pour Schipper et al. (1989), les séries rétrospectives de données sur les activités (p. ex. usage du temps, taux d'équipements) sont essentielles ; Huber et al. (2013) s'appuient sur une segmentation de la population ; les contributeurs du projet SPREAD trouvent directement les fondements des scénarios qu'ils construisent dans les pratiques et leviers de changements actuels, à l'échelle individuelle. Aucune de ces cinq expériences ne s'appuie toutefois sur le formalisme d'un modèle afin d'élaborer des scénarios. Les approches quantitatives utilisées pour ces différentes initiatives sont de type évaluation *a posteriori*, la plupart du temps sans une modélisation explicite. Si un modèle a bien été utilisé dans un cas (modèle IMACLIM-R pour la démarche du programme « Repenser les villes dans une société post-carbone »), le formalisme de celui-ci n'avait pas été pensé pour intégrer explicitement les mutations de modes de vie envisagés dans les scénarios. Ainsi, il est estimé que la modélisation mise en œuvre « *ne rend compte que d'une partie de la complexité des cheminements construits par l'atelier de prospective* » et que deux des scénarios élaborés (dont « Urbanité sobre ») se situent, selon les modélisateurs, « *en limite de validité [du] modèle* » (Theys et Vidalenc, 2013). Ces exercices ne proposent donc pas de solutions pour élaborer des scénarios d'évolution des modes de vie basés sur le formalisme

d'un modèle. Dans la sous-partie suivante, nous proposons d'aborder des expériences qui répondent à cet enjeu.

c) Cas d'élaboration de scénarios d'évolution des modes de vie basés sur un formalisme de modélisation

D'après notre recensement, les cas de formalismes de modélisation autorisant explicitement la simulation de changements de modes de vie sont rares. Dans de nombreux travaux, les évolutions des modes de vie sont traduites par (et réduites à) des indicateurs agrégés, tels que les revenus dont l'évolution permet d'envisager seulement indirectement des changements de comportements (p. ex. modification de la structure de la consommation de biens et services, croissance de la demande de voyages par avion). Dans d'autres cas, les changements de modes de vie peuvent être simulés par la formulation d'hypothèses portant sur des indicateurs relatifs à des pratiques (p. ex. distance moyenne parcourue par individu par an) mais de manière implicite, partielle et pas nécessairement structurée. Ces deux modalités de prise en compte par la modélisation sont celles que nous avons notamment observées dans une partie des exercices de modélisation français analysés dans la partie 2.1.2. Les cinq expériences que nous relatons ici tentent de dépasser ces modalités en cherchant à intégrer explicitement les modes de vie dans le formalisme de modélisation.

Dans le cadre du projet européen « *"Consumers" – Lifestyles and Pollutant Emissions* », Weber et Perrels (2000) proposent une méthode pour quantifier les impacts de facteurs relatifs aux modes de vie sur la consommation d'énergie et les émissions actuelles et futures. Cette méthode traite à la fois des consommations d'énergie directe (p. ex. chauffage, déplacements) et indirecte (c'est-à-dire l'énergie nécessaire à produire les biens et services consommés). Elle combine différents modèles comme l'illustre la Figure 14. Les modes de vie y sont représentés pour une part par (1) un modèle qui détermine les caractéristiques des ménages (composition, revenus, âge de la personne de référence du ménage), pour une autre par (2) un modèle représentant les équipements des ménages (véhicules, équipements domestiques électriques et à usage thermique) et enfin par (3) un modèle des dépenses des ménages et (4) un modèle de la consommation d'énergie des ménages. Ces trois derniers modèles sont liés par des relations statistiques au modèle représentant les caractéristiques des ménages. Ainsi la structure des ménages influence les équipements et les dépenses à l'échelle de l'ensemble de la population par exemple.

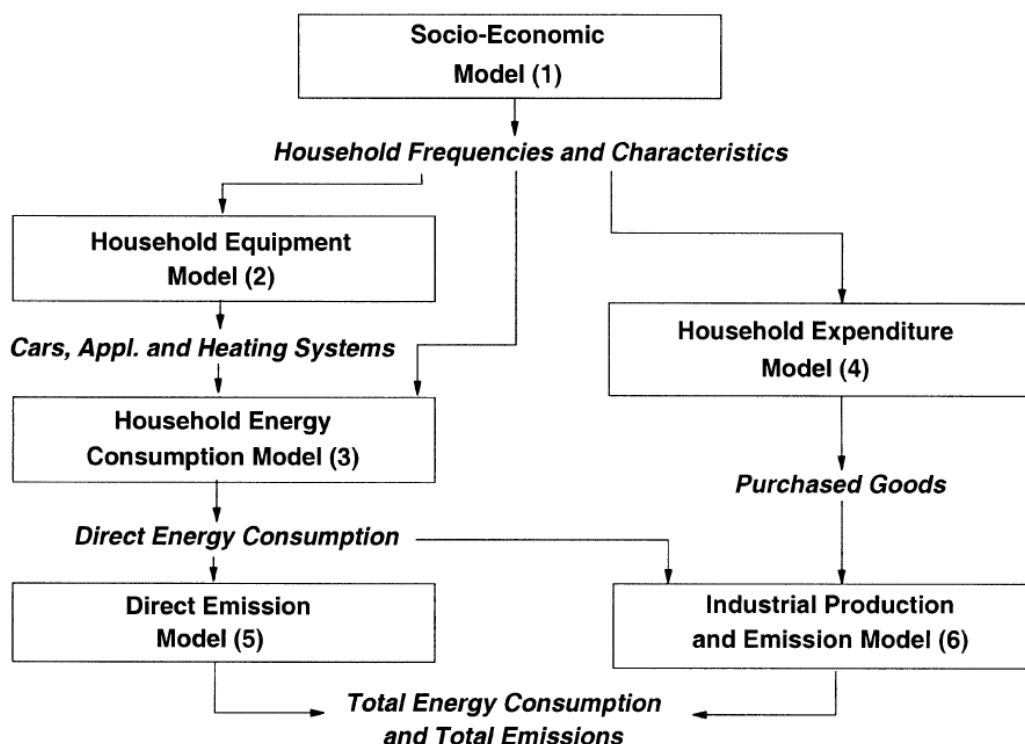


Figure 14 : Représentation du modèle énergétique (et des émissions) orienté "modes de vie" (extrait de [Weber et Perrels, 2000]).

La méthode proposée est utilisée pour analyser les situations actuelles (année 1990) en Allemagne, en France et aux Pays-Bas et pour simuler la demande énergétique future (horizon 2010). L'exercice prospectif a consisté à élaborer dans un premier temps des scénarios d'évolution selon une approche qualitative en mobilisant le groupe d'experts impliqué dans l'élaboration de la plateforme de modélisation puis à traduire les hypothèses dans le modèle. Quatre scénarios sont explorés : deux d'entre eux sont de type « tendanciel », l'un étant plus optimiste que l'autre sur la situation économique (production de richesse, inégalités) ; les deux autres, plus normatifs, comprennent des ruptures et sont considérés comme répondant davantage aux objectifs du développement durable. Le premier s'appuie sur des changements plutôt technologiques, le second sur des changements de valeurs et de l'organisation sociale tournée vers les enjeux environnementaux et de justice sociale. Les principaux contrastes relatifs aux modes de vie dans ce dernier scénario portent sur l'hypothèse de temps de travail (réduction plus importante), de distribution des revenus (moins de disparités), sur une moindre hausse de la productivité du travail et sur un taux de croissance moins élevé. Les changements sociétaux sont donc avant tout traduits en termes macroéconomiques, et ne concernent qu'un nombre limité de champs relatifs aux modes de vie (pour la traduction des hypothèses, voir le Tableau 11). Les scénarios n'envisagent pas d'hypothèses contrastées portant sur la structure des ménages et leurs préférences (p. ex. vieillissement, diminution de la taille des ménages) mais notons que l'horizon temporel est relativement court. La méthode a

également été utilisée et rapportée dans d'autres publications citées par les auteurs dans l'article susmentionné.

Tableau 11 : Traduction formelle des hypothèses des quatre scénarios (extrait de Weber et Perrels, 2000).

	Stagn.	BaU	Sust. Techn.	Sust. Cons.
Population and household growth	Medium official forecasts			
Economic growth p.a.	1990–2000: 1.5% After 2000: 1.0%	2.0%	1990–2000: 2.0% After 2000: 3.0%	1990–2000: 1.5% After 2000: 1.0%
Income distribution	More disparities	Unchanged	Unchanged	Less disparities
Labour productivity growth p.a. ^a	2.0%	2.5%	1990–2000: 2.0% After 2000: 3.5%	0.5%
Labour time change p.a.	0%	– 0.5%	– 0.5%	– 1.0%
Prices of other goods	Specific developments, see Weber <i>et al.</i> (1996a)			
Energy efficiency households	No improvements	Moderate improvements	Important improvements	Important improvements
Production structure	Unchanged except energy sectors and energy inputs in other sectors			
Energy efficiency industry and abatement technology	Moderate improvements	Moderate improvements	Important improvements	Important improvements
Fuel mix	Unchanged	Tendencial	More nuclear	More renewables
Consumers' preferences	Unchanged			

^aPer full time equivalent in base year.

La deuxième expérience est menée à l'échelle de la France dans le cadre du projet « Analyse et modélisation des comportements transports-habitat-localisations » (ETHEL) (Raux et al., 2006)⁵¹. Ce projet vise à simuler les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre des secteurs résidentiel et de la mobilité, en fonction d'hypothèses « *concernant les modes de vie, les localisations d'activités, les types de logements, les offres de transport et les comportements de déplacements associés à l'horizon 2020-2030* » (Raux et Traisnel, 2007). Pour cela, une architecture de quatre modèles a été développée, valorisant plusieurs bases de données nationales (recensement de la population, enquête nationale transport et déplacements, panels de suivi de la demande touristique). Elle comprend un modèle de la dynamique du parc de logements, deux modèles de demande en mobilité (un pour la mobilité locale, un autre pour la mobilité longue distance) et un modèle de la localisation des ménages qui lie les autres modèles par l'intermédiaire de la densité de population. Le dispositif de modélisation ainsi construit a été exploité pour élaborer un scénario tendanciel à l'horizon 2030 avec pour objectif de quantifier l'influence relative de l'évolution tendancielle de différents facteurs techniques d'une part (p. ex. émissions des véhicules par kilomètre, consommation d'énergie par mètre carré de logements) et relatifs aux caractéristiques des individus et ménages d'autre part (p. ex. âge, statut professionnel, localisation, revenus) (Raux et Traisnel, 2007). L'introduction des hypothèses d'évolution tendancielle est effectué par prolongement de tendances passées, telles que la tendance à

⁵¹ Rappelons que cette expérience n'a pas été analysée dans la partie 2.1.2 parmi les cas français car les publications qui y sont relatives ne proposent pas de scénarios globaux pour la France. Le seul scénario disponible s'intéresse uniquement au cas de l'extension des zones périurbaines et ne proposent pas de simulations d'ensemble.

l'accroissement des distances parcourues par actif, la tendance à un accroissement (léger) du taux de motorisation ou encore la tendance à la diminution de la taille des ménages. D'autres hypothèses de déploiement de technologies sont également introduites (p. ex. réglementation technique, réduction des émissions par kilomètre). Les simulations effectuées pour 2030 n'explorent finalement pas d'hypothèses contrastées d'évolution des modes de vie et il s'agit donc plutôt d'un scénario prédictif. Les auteurs ont accordé une attention particulière à l'étude du rôle de la localisation résidentielle. En distinguant trois catégories de localisation (selon la densité de population et l'éloignement d'un centre urbain), ils ont ainsi mis en évidence des émissions plus de 1,5 fois supérieures pour la catégorie la moins dense par rapport à la catégorie la plus dense pour la mobilité locale et l'habitat.

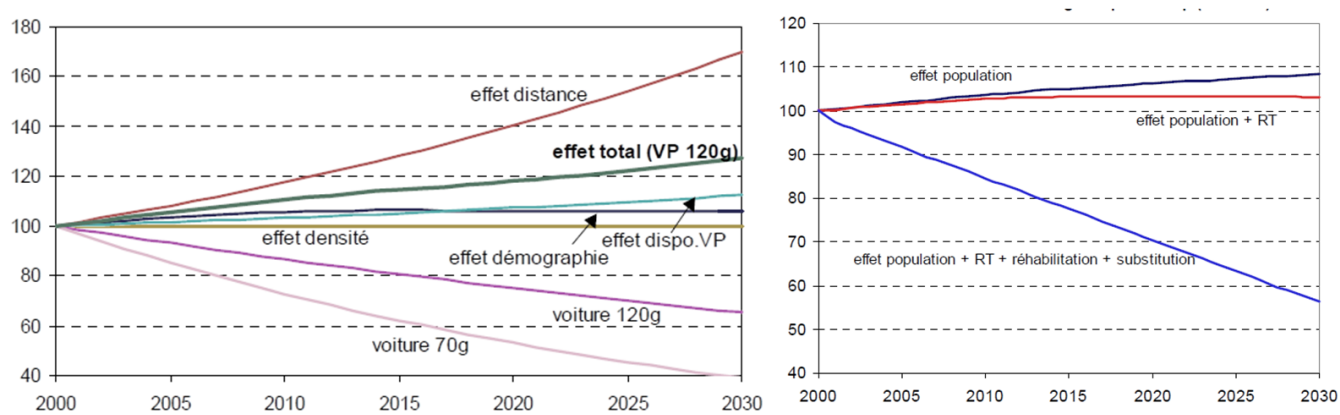


Figure 15. Projections issues du projet ETHEL (extrait de [Raux et Traisnel, 2007]). A gauche : émissions de CO₂ des déplacements locaux des actifs ; à droite émissions de CO₂ du parc de résidences principales.

La troisième expérience a été menée à l'échelle du Royaume-Uni dans le cadre de travaux de prospective de l'*United Kingdom Energy Research Center* (UKERC). Décrite dans un rapport nommé « *The way we live from now on: lifestyle et energy consumption* » (Eyre et al., 2011), les auteurs annoncent avoir pris comme postulat de départ « *une hypothèse souvent oubliée ou ignorée dans les études sur le futur énergétique* » : les comportements des usagers de l'énergie ne sont pas fixes et sont la résultantes d'évolutions de la société ; ces évolution sont empreintes d'incertitudes, incertitudes croissantes à mesure que l'on observe un horizon temporel lointain. La méthodologie adoptée combine deux modèles des usages finaux de l'énergie de type « comptables » (le *UK domestic Carbon Model* et le *UK Transport Carbon Model*, tous deux développés à l'*Environmental Change Institute* de l'Université d'Oxford) et un modèle d'optimisation des coûts du système énergétique du Royaume-Uni (*MarkAl Elastic Demand*, développé à l'*University College London*).

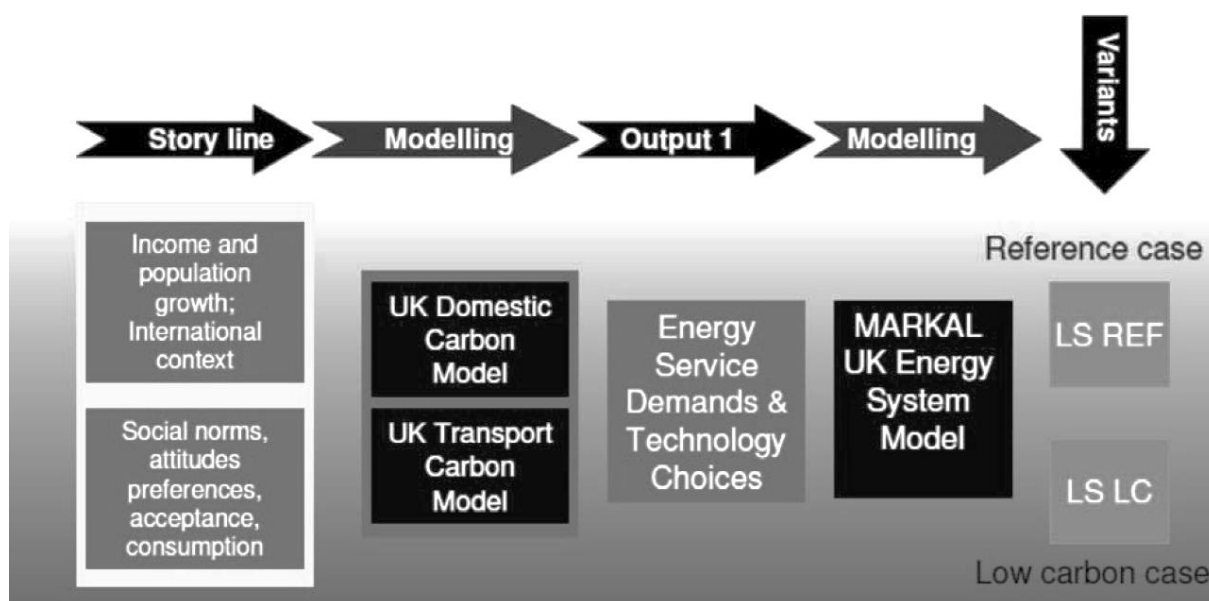


Figure 16 : Représentation du processus de modélisation mis en œuvre par Eyre et al. (2011) (extrait de cette publication).

Deux scénarios sont explorés : un tendanciel et un considérant une transformation des modes de vie. Pour ce deuxième scénario, le choix des auteurs est de considérer des changements guidés par les enjeux énergétique et climatique : les investissements des ménages sont davantage orientés vers des travaux d'isolation, les individus préfèrent « vivre localement », évitent les déplacements en voiture, les déplacements en avion sont mal perçus par la société, etc. Il s'agit donc d'un scénario normatif. À partir d'un scénario dont les grandes lignes sont esquissées selon une approche qualitative, les hypothèses sont traduites en chiffres à travers les déterminants d'entrée des modèles (p. ex. nombre de déplacements par motif, distance parcourues). La formulation des hypothèses prend appui sur les tendances passées (voir l'exemple du Tableau 12 ci-dessous). Étant donné le format des paramètres d'entrée, les hypothèses sont en fait le plus souvent formulées directement sous la forme d'indicateurs des usages énergétiques. Les comportements ne sont donc pas véritablement simulés, mais leur résultante définie de manière exogène. D'après les résultats obtenus, le potentiel de réduction de la consommation d'énergie de changements des modes de vie et de changements sociétaux est de l'ordre de 30% de la consommation d'énergie nationale par rapport à un scénario tendanciel. Les principaux secteurs concernés par cette réduction sont le secteur résidentiel et celui des transports.

Tableau 12 : Exemple de justification d'hypothèses du scénario de transformation des modes de vie. Les hypothèses portent sur le nombre de déplacements par jour et la distance par déplacement (respectivement deuxième et troisième colonnes (extrait de Eyre et al. (2011)).

Business	Evidence concludes tele/ video conferencing could reduce business trips by 18% after 10 years (Cairns et al., 2004). This was extrapolated to reach 30% maximum reduction in trips on the basis there are many business trips which cannot and will not be avoided.	There is no obvious reason why the average distance of the majority business trips remaining should change. However we assume a disproportionate number of longest trips are substituted by tele/video conferencing encouraged by better facilities, higher travel costs and the drive to corporate social responsibility.
Shopping	Those aged 65+ make 46% more trips for food shopping. Food shopping accounts for around half shopping trips (= 23% extra) (Solomon and Titheridge, 2006). Cairns et al., (2004) suggest home shopping could reduce vehicle mileage for shopping by 4% after 10 years. Here we assume 5% fewer trips by 2020 and 20% by 2050. However, this will also increase van use but will be facilitated by co-ordinated distribution.	A shift towards more local shopping patterns is assumed due to more elderly who tend to shop locally, the introduction of parking charges in all public spaces and the move towards use of walking and cycling which increases frequency but reduces ave. trip distance. Restriction of cars in urban areas means shorter, local journeys become more attractive.

La quatrième expérience recensée, réalisée et décrite par Van Sluisveld et al. (2015), avait pour principal objectif d'évaluer les conséquences de l'introduction de changements des modes de vie dans des scénarios d'atténuation du changement climatique à l'échelle mondiale. Ce projet offrait également aux auteurs l'opportunité d'expérimenter l'inclusion de changements de modes de vie dans le formalisme du modèle d'évaluation intégré (*Integrated Assessment Model*) dont ils disposent, le modèle IMAGE. La structure de modélisation utilisée (Figure 17) fait intervenir un modèle du système énergétique (TIMER), un modèle des politiques climatiques FAIR (SiMCoP) et le modèle d'usage du sol d'IMAGE (ces modèles sont décrits dans Stehfest et al., 2014).

IMAGE 3.0 framework

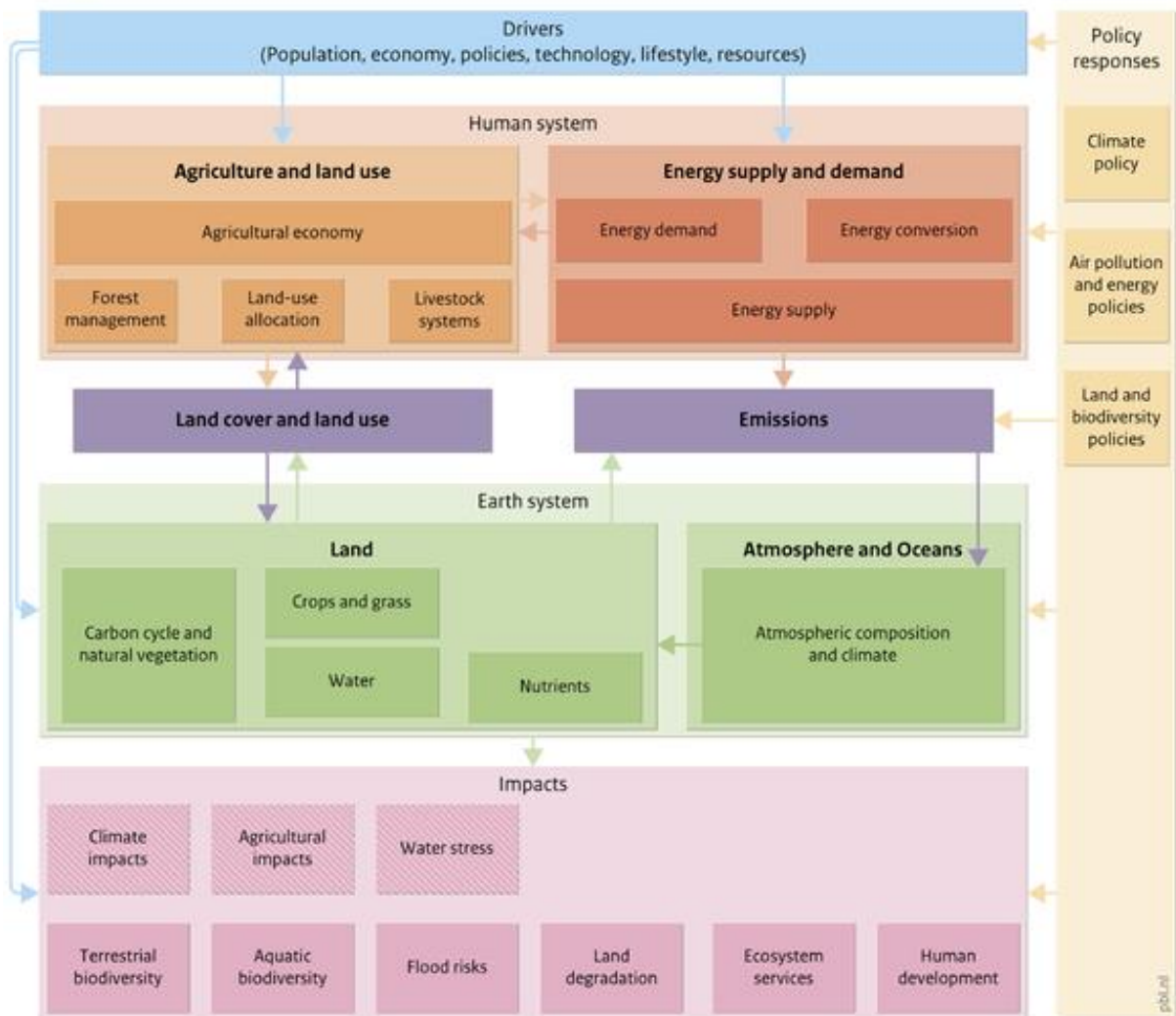


Figure 17 : Représentation de l'articulation des modules du modèle IMAGE (source : PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, extrait de [Stehfest et al., 2014]).

La structure de modélisation ne représente toutefois pas directement les processus de décisions qui pourraient être influencés par les changements de modes de vie, ce qui engendre une difficulté pour simuler leurs changements. Pour la contourner, les auteurs ont eu recours à trois stratégies indirectes :

- L'ajustement de paramètres de fonctions logit⁵² (multinomiales) pour modifier les ordres de préférences de choix spécifiques (p. ex. modes de transports) ;
- La possibilité offerte pour les paramètres de demande énergétique régionale de converger vers ceux des régions les plus performantes ;

⁵² Dans le modèle, les fonctions logit (multinomiales) représentent de nombreuses décisions par l'attribution de « parts de marchés » à différentes options. Les parts de marchés sont déterminées à partir de paramètres simulant la sensibilité au prix.

- Le plafonnement de la valeur de certains paramètres (p. ex. le taux de motorisation).

Les changements de modes de vie envisagés dans cet exercice sont :

- Dans le secteur résidentiel : un plafonnement de la surface de logement par personne (à 40 m² en zone urbaine, 50 m² en zone rurale), une limitation du taux d'équipements électriques (électroménager, télévision), une baisse de 1°C de la température de confort lors du chauffage (et une hausse de 1°C pour le refroidissement), une réduction de la demande d'eau chaude, un arrêt de la consommation d'énergie liée à la veille des appareils, un usage plus efficient de certains équipements (p. ex. machine à laver, four) ;
- Dans le secteur des déchets : une réduction de la consommation de plastique et un accroissement de son taux de recyclage ;
- Dans le domaine de la mobilité : la convergence, notamment pour les pays en voie de développement, vers le budget consacré au transport observé au Japon (7%), qui est le plus faible des pays développés (sachant que le budget consacré au transport est un proxy de l'usage de la voiture) ; l'accroissement du budget-temps alloué au transport de 0,5 min par an, rendant les transports publics et l'usage de modes doux plus compétitif.

Notons que selon notre définition, les quatre derniers changements envisagés par les auteurs dans le secteur résidentiel ne relèvent pas de changements des modes de vie mais plutôt d'autres changements de comportements.

Les résultats de cet exercice sont évalués en termes de contribution à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (35% de réduction dans le secteur des transports, 13% dans le secteur résidentiel) et de coûts des stratégies d'atténuation. Du point de vue des modes de vie, nous pouvons considérer que deux scénarios sont envisagés : l'un tendanciel, l'autre normatif, fixant comme objectif des modes de vie bas carbone. La méthode mise en œuvre est considérée par les auteurs comme un moyen relativement simple d'évaluer les conséquences des « mesures » de changements de modes de vie avec le modèle IMAGE.

Une cinquième expérience a été menée récemment par le laboratoire de sociologie urbaine de l'EPFL (LASUR, sous la direction du Prof. Vincent Kaufmann) et l'équipe Recherche & Développement d'EDF. Intitulé « Prospective des modes de vie et évolutions des consommations énergétiques » et décrit par Ravalet et al. (2016)⁵³, cet exercice de prospective s'inscrit dans la continuité des travaux évoqués dans la partie 1.2.1 (chapitre 1) et décrit notamment par Tabbone et al. (2016). Les analyses s'appuient donc sur la

⁵³ Rapport non publié.

segmentation de la population selon leurs modes de vie et leur localisation en six segments (p. ex. parents carriéristes, travailleurs casaniers). Indépendamment de cette segmentation, les auteurs ont identifié à partir de la littérature seize tendances auxquelles il est possible de s'attendre dans les années à venir. Ces changements envisagés sont relatifs pour une partie aux comportements et aux modes de vie et pour l'autre aux technologies. Les huit paramètres relatifs aux modes de vie considérés sont : la densification des espaces résidentiels, l'ancrage géographique accru des ménages, la surface habitée par personne, les reports de la voiture vers d'autres modes de déplacement, le développement du covoiturage, la baisse de la demande globale de mobilité, le développement du télétravail et le développement de l'achat de proximité⁵⁴. Pour chacun de ces changements, les auteurs effectuent une analyse de la sensibilité des six types de ménages à un changement élémentaire, par exemple, l'augmentation de 1% de la part de télétravailleurs. Ce changement conduit ainsi par exemple à une baisse de 0,04% de la consommation d'énergie du segment « travailleurs casaniers ». Les auteurs s'appuient ensuite sur cette analyse de sensibilité pour quantifier quatre scénarios.

Les quatre scénarios sont d'abord esquissés de manière qualitative, et décrits suivant les seize tendances identifiées. Deux des scénarios envisagent une continuité des grandes tendances observées et deux autres considèrent des ruptures. Parmi ces deux paires, l'une considère une rupture technologique et l'autre non. Le premier scénario serait donc un scénario tendanciel dont le moteur est le libéralisme économique. Le facteur 4 n'y est pas atteint en 2050 et les progrès sont essentiellement technologiques (réduction de la consommation d'énergie insuffisante). Le second, de type exploratoire, envisage une société où de nouvelles sources d'énergie (de type renouvelables) sont découvertes et développées, contribuant à l'émergence d'une société de l'abondance énergétique tout en n'étant plus préoccupée par le changement climatique. Le troisième scénario envisage une société décentralisée et avec un fort ancrage local, en réaction à la forte élévation du prix de l'énergie notamment. Le quatrième s'inscrit également dans ce contexte mais les solutions politiques et technologiques (stockage notamment) contribuent à atténuer les effets de cette hausse. Ces deux derniers scénarios ont un caractère plutôt normatif car ils ciblent l'atteinte d'objectifs de durabilité, mais possèdent également un caractère exploratoire. Les hypothèses de chaque scénario sont traduites semi-quantitativement en changements sur les seize tendances qui ont fait l'objet d'une analyse de sensibilité ainsi qu'en termes de représentativité de chaque segment de la population (p. ex. "-" ou "++"). Cette traduction permet aux auteurs d'évaluer les évolutions des consommations d'énergie résidentielle et liée à la mobilité pour six segments et pour quatre scénarios.

⁵⁴ À ces paramètres s'ajoute un autre paramètre comportemental que nous ne considérons a priori pas comme faisant partie des modes de vie : l'évolution de la consommation selon les gestes d'attention énergétiques.

2.1.4 Conclusion et enseignements pour nos recherches

La démarche prospective, consistant à porter le regard sur le futur pour éclairer les décisions actuelles, est régulièrement mobilisée face aux enjeux énergétique et du changement climatique. Reflet temporel de la démarche des historiens, cette démarche née au milieu du XX^{ème} siècle a été marquée par deux grands courants : l'un s'appuyant sur des outils et modèles mathématiques ; l'autre reposant sur un processus de structuration de la pensée prospective, considérant le futur comme pluriel et comme un objet *à construire*. Ces deux courants se sont peu à peu hybridés et les exercices de prospective énergétique récents font régulièrement appel à la fois à certains aspects de la démarche qualitative, ouverte à différents futurs possibles, et à des modèles qui permettent de représenter tout ou partie du système énergétique.

Afin d'appréhender la manière dont la pratique récente de la prospective énergétique saisissent les évolutions des modes de vie, nous avons étudié treize exercices réalisés à l'échelle de la France entre 1998 et 2013 (cf. 2.1.2). Nous avons constaté que dans la plupart des cas, les modes de vie ne sont pas considérés de manière explicite et qu'ils n'étaient pas considérés comme un facteur variable à part entière, et ce malgré la reconnaissance depuis plusieurs décennies de leur rôle dans la construction de la demande énergétique (section 1.2). Nous avons vu que cela tient notamment aux contraintes apportées par les modèles mis en jeu. Deux démarches font toutefois exception à ce constat car les modes de vie y sont considérés comme une *driving force* de l'évolution des sociétés, conduisant à envisager des futurs très contrastés (projet PROMOV et prospective du programme « Repenser les villes dans une société post-carbone »). Ces futurs ont été construits au cours d'une démarche prospective de type qualitative.

Dans le sillage de ces deux exemples, nous avons ensuite élargi notre revue d'exercices pionniers pour leur prise en compte des modes de vie à d'autres initiatives à caractère prospectif menés en France ou sur d'autres territoires. Les cinq exercices à dominante qualitative nous ont permis d'identifier différentes alternatives pour construire des scénarios d'évolution des modes de vie. Les cinq autres exercices avaient pour particularité d'intégrer explicitement les modes de vie dans un formalisme de modélisation. La revue de ces dix exercices pionniers nous permet de tirer des enseignements sous la forme d'un ensemble de questionnements qui nous seront utiles au positionnement de notre recherche.

Un cadre pour positionner notre contribution

À travers nos travaux, notre intention est de proposer des développements méthodologiques pour encourager la prise en compte des évolutions de modes de vie dans les exercices de prospective énergie-climat. Le panel d'expériences décrites dans cette

section nous permet d'esquisser un cadre dans lequel nous situerons notre contribution (cf. section 2.3).

Les dix exercices pionniers permettent de dresser un panorama des types de scénarios d'évolutions des modes de vie élaborés : scénarios prolongeant des tendances (de type prédictifs), scénarios expérimentant des changements vers des modes de vie durables (attitude plutôt normative) ou scénarios explorant d'autres types de ruptures (attitude plutôt exploratoire). Le choix d'un type de scénarios doit être adapté aux buts poursuivis au cours d'un exercice et est révélateur de la manière de considérer les modes de vie (p. ex. tendance lourde, facteur d'incertitudes, levier de durabilité). Il est également déterminant pour le choix des méthodologies à employer (Börjeson et al., 2006). Étant donné que nous nous situons dans le cadre du développement de méthodologie (et non d'un exercice particulier), nous nous posons la question suivante : **quels types d'évolution des modes de vie souhaite-t-on pouvoir anticiper ?**

Comme le récapitule le Tableau 13, les cas de figure rencontrés parmi les expériences recensées sont variés : de la construction d'un seul scénario tendanciel à l'élaboration de scénarios de chaque type⁵⁵. Dans ce tableau, nous précisons également si les scénarios ont été construits selon une approche *backcasting*, c'est-à-dire en commençant par décrire l'image du futur avant de construire (ou non) les trajectoires qui y conduisent, ou *forecasting*, c'est-à-dire en partant de l'état initial du système et en décrivant les transformations successives dont il fait l'objet. Dans certains cas, il n'est toutefois pas toujours évident de distinguer les deux approches. Remarquons que l'approche de type *forecasting* est plutôt appliquée aux approches de type prédictives et à des horizons de plus court terme. Rappelons enfin que la démarche de Schipper et al. (1989) ne conduit pas à l'élaboration d'un véritable scénario mais plutôt de tendances concernant différentes pratiques (d'où la valeur « o » dans le tableau).

⁵⁵ Rappelons que les types sont définis vis-à-vis des évolutions des modes de vie, et pas de manière générale. Par exemple, les six scénarios du programme « Repenser les villes dans une société post-carbone » sont plutôt normatifs, mais seul(s) un voire deux d'entre eux le sont vis-à-vis des modes de vie.

Tableau 13 : Buts des exercices de prospectives, nombre et types de scénarios d'évolution des modes de vie élaborés. Dans la dernière colonne, *F* et *B* signifient respectivement « forecasting » et « backcasting ». Les astérisques indiquent des scénarios où une transition vers une société durable est visée tout en considérant une évolution tendancielle des modes de vie.

Exercice (publication correspondante)	But poursuivi	Modes de vie			Approche dominante
		Tendance	Durable	Autre	
Schipper et al., 1989	Anticiper l'évolution de la demande énergétique à court et moyen termes	0			<i>F</i>
Projet SPREAD 2011-2012	Identifier différentes trajectoires et scénarios de modes de vie durables		4		<i>F/B</i>
Emelianoff et al., 2012	Proposer des scénarios contrastés d'évolution des modes de vie et quantifier les émissions à l'échelle de ménages	1		4	<i>B</i>
Girard et al., 2013	Identifier des modes de vie-type actuels et futurs, estimer et comparer leur bilan carbone personnel®	1			<i>F</i>
Theys et Vidalenc, 2013	Proposer des scénarios visant le Facteur 4, en faisant des modes de vie une <i>driving force</i> ou non	4*	2		<i>B</i>
Weber et Perrels, 2000	Proposer des scénarios de futurs énergétiques explorant différents leviers (technologique, économique, modes de vie)	2+1*	1		<i>B</i>
Raux et Trainel, 2007	Explorer un scénario d'accroissement de la périurbanisation	1			<i>F</i>
Eyre et al., 2011	Identifier la contribution de modes de vie durables à la transition vers une société bas carbone	1	1		<i>B</i>
van Sluisveld et al., 2015	Quantifier l'impact potentiel de modification des modes de vie vers des modes de vie durables	1	1		<i>B</i>
Ravalet et al., 2016	Proposer des scénarios contrastés d'évolution des modes de vie et évaluer leurs conséquences à l'échelle d'individus-type	1	2	1	<i>B</i>

Les cinq premiers exercices du tableau sont ceux dont les scénarios ont été élaborés sans tenir compte du formalisme de modèles et l'éventuelle évaluation quantitative des scénarios est intervenue *a posteriori* (p. ex. Bilan Carbone personnel®, modèle IMACLIM-R), au contraire des cinq suivants. Tous les types de scénarios ont été élaborés dans chacune des approches, démontrant qu'il n'y a pas d'incompatibilité entre approche et type de scénario. Toutefois, les approches par la modélisation prospective comprennent généralement une étape préalable d'élaboration de scénario de type qualitative, qu'elle ait consisté à définir informellement de grandes lignes des scénarios (Eyre et al., 2011 ; van Sluisveld et al., 2015) ou qu'elle ait été plus aboutie (Ravalet et al., 2016; Weber et Perrels, 2000). Lors de l'élaboration de plusieurs scénarios contrastés, cette étape préalable revêt une importance accrue. Le récit facilite en effet la structuration d'images cohérentes et distinctes du futur. Dans le cadre de nos travaux où nous envisageons de mobiliser les deux approches, il conviendra de poser la question suivante : **comment faire en sorte de valoriser au mieux les atouts des deux approches ?**

Le recours à la modélisation auquel nous ferons appel (cf. section 2.3) soulève plusieurs questions spécifiques. Nous avons notamment vu que plusieurs formalismes de modélisation ont été utilisés dans les expériences recensées, et que ceux-ci se distinguaient notamment par la manière de représenter les comportements. Dans deux cas (Eyre et al., 2011; van Sluisveld et al., 2015), les comportements sont saisis à travers une série d'indicateurs relatifs à leur conséquences sur les usages énergétiques (p. ex. distance parcourue par an par individu, surface de logement par personne). Dans les autres cas (Raux et al., 2006; Ravalet et al., 2016; Weber et Perrels, 2000), ces indicateurs sont mis en relation avec d'autres variables relatives aux individus et à leur mode de vie (p. ex. localisation, âge, composition du ménage), et le modèle représente les relations statistiques entre ces variables et ces déterminants. Cette distinction – bien qu'elle puisse être nuancée – traduit bien deux voies possibles pour représenter les comportements et les modes de vie dans un modèle : une représentation endogène des comportements et de leurs déterminants (Figure 18) et une représentation exogène (Figure 19)⁵⁶. Dans le premier cas, les relations entre les caractéristiques des modes de vie et les usages énergétiques sont intégrées au formalisme du modèle. Dans le second cas, les modes de vie et d'autres facteurs servent de toile de fond à la modification exogène des variables d'entrée (ou paramètres) du modèle, qui sont généralement proches d'indicateurs des usages de l'énergie.

⁵⁶ Signalons que dans tous ces modèles, les modes de vie et les usages ne sont pas l'unique composante du système énergétique représenté contrairement à ce que peuvent laisser penser les Figure 19 et Figure 18.

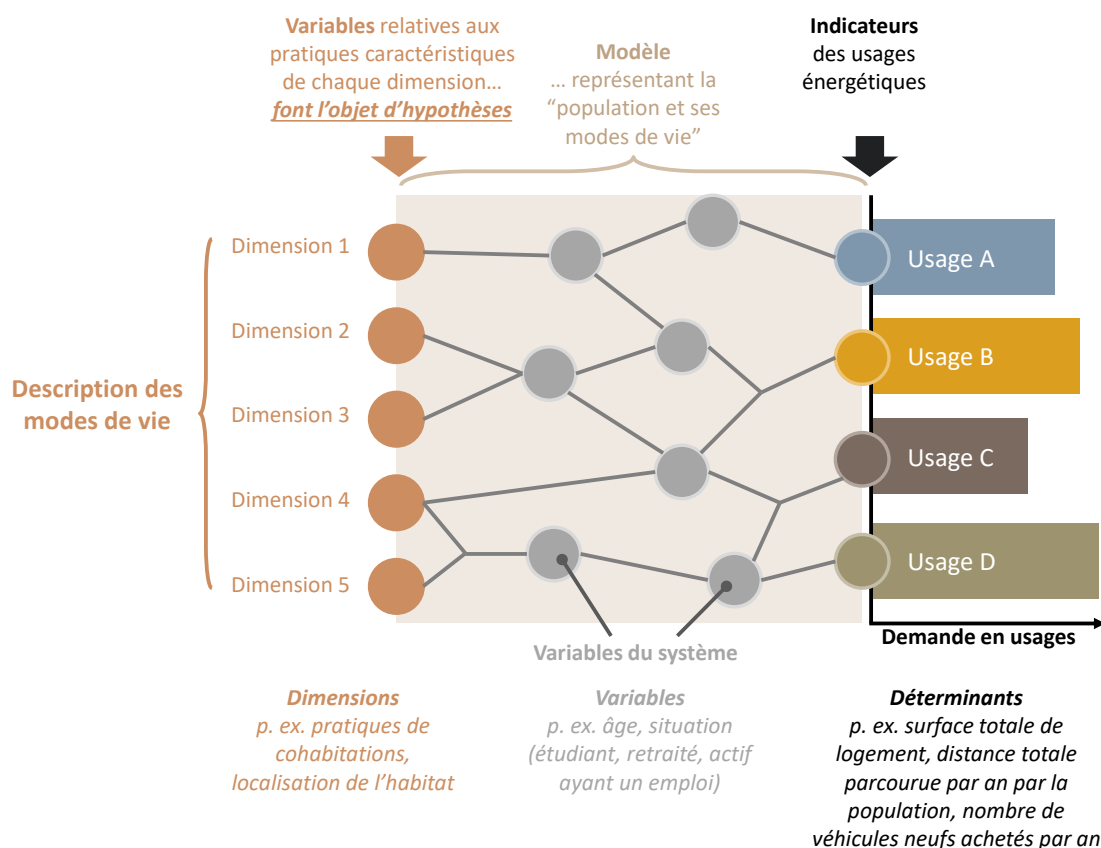


Figure 18 : Cas des modèles proposant une représentation explicite des modes de vie.

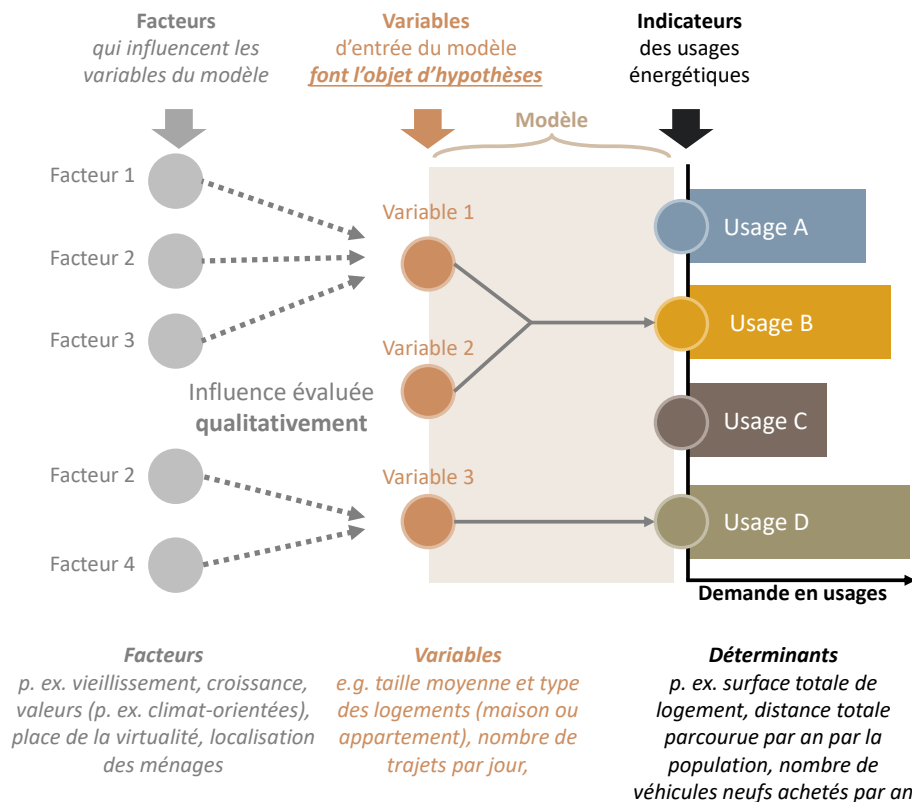


Figure 19 : Cas d'une représentation des modes de vie à partir d'indicateurs relatifs aux usages.

L'identification de ces deux voies nous incitera à nous poser la question suivante : **quelles modalités de représentation des comportements retenir pour notre modèle ?** Afin d'éclairer le choix que nous effectuerons, nous procéderons à un état de l'art consacré à cette question dans la section 2.2.

Enfin, les choix de modélisation posent également la question du périmètre d'investigation que l'on peut formuler ainsi : **quelles composantes du système énergétique – au sens large – désire-t-on représenter par la modélisation ?** Le Tableau 14 positionne les exercices décrits précédemment vis-à-vis de cette question. Dans ce tableau, nous reprenons la décomposition du système énergétique en quatre composantes introduite dans la partie 1.2.4 (chapitre 1).

Tableau 14 : Composantes du système énergétique représentées dans les approches formelles des modes de vie recensées. Le chiffre dans la colonne « Usages » correspond au nombre de postes considérés parmi les postes « habitat », « mobilité » et « biens & services » (abrégés "B&S" dans le tableau). Les cellules vides indiquent que la composante n'est pas représentée. Les formalismes sont identifiés à partir d'une publication majeure où ils sont présentés.

	Population et modes de vie	Usages <i>habitat, mobilité, B&S</i>	Appareil productif	Secteur énergétique	
Weber et Perrels, 2000	Description des modes de vie futurs				Consommation d'énergie et/ou émissions de gaz à effet de serre
Raux et al, 2006		3			
Eyre et al, 2011		2			
van Sluisveld et al, 2015		3			
Ravalet et al, 2016		2			

Dans ce tableau, la représentation des comportements par le seul biais de leurs conséquences sur les usages (type représenté par la Figure 19) est considérée comme une absence de représentation formelle de la population et de ses modes de vie. Dans tous les cas, les modes de vie mènent aux usages de l'énergie, dont les postes « mobilité », « habitat », et parfois « biens et services » (hors mobilité et habitat) sont représentés. L'appareil productif n'est pas représenté dans trois cas sur cinq mais il est en fait nécessaire de le représenter uniquement si le poste « biens et services » est pris en considération. Pour Weber et Perrels (2000) et van Sluisveld et al. (2015), l'appareil productif et le poste « biens et services » sont représentés à l'aide de variables macroéconomiques. Notons que dans la partie 1.2.2, nous avons recensé une autre modalité de représentation de ces composantes, à partir des dépenses des ménages et de tableaux entrées-sorties (Bin et Dowlatabadi, 2005; Jalas, 2002; Pourouchottamin et al., 2013). Enfin, le secteur énergétique et les

différentes technologies auxquelles il renvoie sont représentés explicitement dans les cinq exercices prospectifs, selon différentes modalités (p. ex. paradigme d'optimisation, statistiques).

Avant de répondre à ces questions afin de définir les grandes orientations de notre contribution (section 2.3), la section suivante (2.2) est consacrée à l'analyse de modalités de représentation des comportements dans les modèles utilisés face aux questions de l'énergie et du changement climatique.

2.2 MODELISATION ENERGETIQUE ET REPRESENTATION DES COMPORTEMENTS

Tout modèle repose sur un paradigme, c'est-à-dire sur « *un ensemble d'éléments épistémologiques, théoriques et conceptuels, cohérents, "qui servent de cadre de référence à la communauté des chercheurs de telle ou telle branche scientifique"*⁵⁷ (Kuhn, 1962) » (Mucchielli, 1995). Dans le contexte de la modélisation au service de la transition énergétique et de l'atténuation du changement climatique, les paradigmes en questions visent à expliquer, comprendre ou reproduire des comportements humains à travers la représentation de décisions (p. ex. décisions d'activités à l'origine d'usages, décisions d'investissements). Ces paradigmes reposent sur des hypothèses issues des sciences humaines et sociales, en particulier de l'économie, de la sociologie ou encore de la psychologie ainsi que de travaux en ingénierie ou mathématiques appliquées. Nous proposons de revenir sur les principales hypothèses et paradigmes utilisés dans notre champ de recherche pour représenter les comportements des individus et des ménages afin de mettre en perspective celles qui régiront nos choix de modélisation.

Nous aurons dans cette section une lecture du paysage de la modélisation énergétique focalisée sur la représentation des comportements des individus et ménages. Le périmètre d'investigation des modèles que nous évoquons ici inclut donc nécessairement la question de la demande en énergie⁵⁸. Les comportements en questions sont d'une part ceux qui mènent aux usages tels que nous les avons définis (et dont les modes de vie constituent une grille de lecture) et d'autre part ceux qui ont des conséquences directes sur le secteur énergétique (p. ex. choix d'équipements énergétiques ou d'un véhicule, choix du type d'énergie de chauffage, décisions de rénovation d'un logement). Ce deuxième type de comportements ne relève généralement pas directement des modes de vie tels que nous les avons définis mais sont davantage étudiés par les modèles énergétiques, ce qui nous a incité à les examiner également.

2.2.1 Paradigmes associés à l'hypothèse de rationalité

a) *L'hypothèse de rationalité*

Une grande partie des modèles mis en œuvre dans notre champ de recherche reposent d'une manière ou d'une autre sur une hypothèse de *rationalité* des agents. Pour en donner une image simplifiée mais intuitive, tout se passe comme si les individus confrontés à un choix effectuent un calcul comparatif des différentes alternatives et retiennent celle qui est

⁵⁷ Traduction issue de l'édition française (Kuhn, 1972).

⁵⁸ Bien que le modèle du ménage producteur d'énergie puisse à terme remettre en cause ce constat.

la plus avantageuse. Le paradigme de la rationalité est l'un des fondements des théories microéconomiques et est à rapprocher directement du paradigme de *l'individualisme méthodologique* en sociologie. Développé par opposition au holisme qui entend expliquer les phénomènes sociaux à partir de la structure sociale et de concepts collectifs, le paradigme de l'individualisme méthodologique les explique par des causes individuelles. Le sociologue Raymond Boudon a consacré une grande part de son œuvre à la théorisation du paradigme de l'individualisme méthodologique. Selon lui, l'hypothèse de rationalité utilisée en microéconomie et qui sous-tend donc une partie des modèles peut être définie par six postulats énoncés dans le Tableau 15 ci-dessous.

Tableau 15 : Les six postulats de la théorie du choix rationnel selon Boudon (2002)

P ₁	Postulat de l'individualisme	« <i>tout phénomène social résulte de la combinaison d'actions, de croyances ou d'attitudes individuelles</i> »
P ₂	Postulat de la compréhension	« <i>"comprendre" les actions, croyances et attitudes de l'acteur individuel, c'est en reconstruire le sens qu'elles ont pour lui</i> »
P ₃	Postulat de la rationalité	« <i>l'acteur adhère à une croyance, ou entreprend une action parce qu'elle a du sens pour lui</i> »
P ₄	Postulat conséquentialiste	« <i>le sens de l'action pour l'acteur réside toujours pour lui dans les conséquences de ses actions</i> »
P ₅	Postulat de l'égoïsme	« <i>parmi les conséquences de son action, les seules qui intéressent l'acteur sont celles qui le concernent personnellement</i> »
P ₆	Postulat du calcul coût bénéfice	« <i>toute action comporte un coût et un bénéfice et que l'acteur se décide toujours pour la ligne d'action qui maximise la différence entre les deux</i> »

Ces six postulats fondent la *Théorie du Choix Rationnel* qui a prouvé sa capacité à expliquer une multitude de phénomènes sociaux, conduisant certains sociologues à l'ériger au rang de théorie générale. Toutefois les limites de cette théorie ont également été démontrées dans de nombreux cas expérimentaux (p. ex. jeu dit « de l'ultimatum » (Güth et al., 1982; Hoffman et Spitzer, 1985), paradoxe d'Allais⁵⁹ initialement présenté par Allais (1953)) ou de phénomènes sociaux observés (p. ex. corruption, vote) (Boudon, 2002). Tout en demeurant dans le paradigme de l'individualisme méthodologique, Boudon propose pour sa part une conception élargie de la rationalité en réaction au caractère restrictif de sa conception utilitariste (*i.e.* Théorie du Choix Rationnel). Ses travaux tentent de resituer les différents niveaux de la rationalité et il considère pour sa part qu'un individualisme méthodologique restreint aux postulats P₁ à P₃ (cf. Tableau 15) peut être érigée au rang de théorie générale (Boudon, 2010). Il nomme cette version *Théorie de la Rationalité Ordinaire*. Il l'explique par le fait que l'individu a toujours de bonnes raisons d'agir, bien qu'elles ne répondent pas nécessairement à la logique de la maximisation de l'utilité. La thèse et les travaux de Boudon introduisent la pluralité des acceptions de l'hypothèse de rationalité. Mais malgré ses limites dont une large partie des utilisateurs sont conscients, l'hypothèse de rationalité

⁵⁹ Bien que présentant une rigueur expérimentale contestable, l'expérience initiale de Allais est restée particulièrement célèbre par sa mise en cause de la théorie de l'utilité espérée de Von Neumann et Morgenstern (1944). Elle mettait en jeu des individus considérés comme rationnels en situation de jeu de loterie et dont les choix ne suivaient pas les prédictions de la théorie. Plusieurs auteurs – dont Allais lui-même – proposeront ultérieurement d'autres expériences fondées sur le même principe et aboutissant à des résultats comparables (Mongin, 2014).

au sens le plus restreint (Théorie du Choix Rationnel) est considérée comme une hypothèse de « travail » particulièrement féconde et utile.

b) Une hypothèse-clé pour la modélisation

L'hypothèse de rationalité ouvre la voie à la formalisation mathématique des comportements, ce qui a été à l'origine d'importants développements, en particulier en économie. En effet, l'hypothèse de rationalité permet de prédire le comportement d'un agent : face à un choix, il prendra systématiquement la décision qui lui apporte la plus grande satisfaction en fonction de ses préférences. Elle permet de se situer dans le paradigme mathématique de l'optimisation, puisqu'un individu ou un ménage⁶⁰ cherchera alors à maximiser son *utilité*⁶¹. Ce principe est à la base de la *théorie microéconomique du consommateur* et de la *théorie de la décision*, qui considèrent à partir de l'hypothèse de rationalité le paradigme de l'*homo œconomicus* pour représenter les comportements des individus. Celui-ci considère, outre cette hypothèse, une hypothèse de connaissance parfaite par l'individu de ses préférences et de leur stabilité dans le temps. La théorie de la décision s'intéresse plus particulièrement aux situations de décisions face au risque ou en contexte incertain. La rationalité est déclinée sous une forme probabiliste à travers la notion d'*utilité espérée*.

La théorie microéconomique du consommateur est celle qui sous-tend de nombreux développements en modélisation des comportements. Elle considère généralement un agent omniscient, ayant conscience de toutes les options possibles et de leurs conséquences. En se situant dans ce paradigme, il est par exemple possible de déterminer la consommation d'un individu à partir de ses préférences et de ses contraintes budgétaires. Cette détermination s'adaptera ainsi aux différents contextes de prix des produits ou de niveaux de revenus en utilisant une même fonction (la fonction d'utilité). L'usage d'un formalisme mettant en relation la décision avec les critères et l'environnement décisionnels rend ainsi explicite la représentation des comportements. Le paradigme de l'*homo œconomicus*, et l'hypothèse de rationalité, sont ainsi à la base de nombreux modèles économiques puisque l'approche macroéconomique s'en est également emparée (Malinvaud, 1995). Elle est donc aussi sous-jacente à plusieurs modèles utilisés face aux enjeux de la transition énergétique et du changement climatique. Toutefois malgré son importance, le réalisme de cette hypothèse n'a cessé d'être remis en cause. Avant de donner des exemples d'application (d), nous proposons de revenir sur certaines de ces critiques qui ont été à l'origine d'adaptation des modalités de mise en œuvre de l'hypothèse dans les modèles.

⁶⁰ Les individus et les ménages sont les agents économiques d'intérêt dans notre contexte. Notons toutefois que la rationalité s'applique aux différents agents économiques tels que les producteurs dont la maximisation porte alors sur le profit.

⁶¹ En économie classique, cette notion d'utilité est assimilée à une forme de mesure ou de proxy du bien-être ou de la satisfaction associé(e) à la consommation de biens et de services.

La discussion de la validité de l'hypothèse de rationalité qui fonde la représentation des comportements dans de nombreux modèles a généré une imposante littérature et traverse la plupart des disciplines des sciences humaines et sociales. Son importance est telle qu'elle dessine des lignes de démarcation entre et au sein de certaines disciplines, au premier rang desquels l'économie. L'œuvre de H. Simon fait partie des contributions majeures à cette discussion, ce qui lui a valu le « prix Nobel » d'économie en 1978. Par la confrontation de l'hypothèse de rationalité à la réalité par l'expérience, son projet est de « *formuler un modèle de comportement qui assouplit les exigences irréalistes que pose le modèle économique du comportement rationnel en termes d'information détenue et de capacité à la traiter* » (Quinet, 1994). Ses travaux l'amènent à définir la notion de rationalité limitée, qu'il distingue de la rationalité parfaite (ou substantielle) notamment par (1) le fait que la rationalité est bornée par la faculté d'un sujet à traiter l'information face à la complexité de situations de choix de comportements (Simon, 1957), (2) le fait que le sujet opte pour la première option satisfaisante plutôt que pour le choix optimal, conférant à la rationalité un caractère procédural (Simon, 1976). Ses recherches le conduisent globalement à considérer la rationalité comme un concept multifacette qui s'avérera *a priori* incompatible avec l'approche optimisatrice⁶² (Mongin, 1988), cadre privilégié de la modélisation.

Les travaux des psychologues Kahneman et Tversky confirment cette incompatibilité en particulier en identifiant d'autres mécanismes cognitifs intervenant dans la prise de décision : les heuristiques. Il s'agit de raccourcis mentaux qui conduisent les individus à prendre des décisions sans traiter l'ensemble de l'information disponible et sans tenir compte de la complexité d'une situation donnée (Tversky et Kahneman, 1974). Lorsqu'ils sont mis en jeu, ces mécanismes peuvent court-circuiter une potentielle étape délibérative propice à un raisonnement rationnel et induisent en outre des biais cognitifs incompatibles avec une approche optimisatrice. Deux exemples peuvent l'illustrer Betsch et al. (1998) étudient les routines cognitives qui consistent à faire appel à des lignes de conduites mémorisées et qui vont donc à l'encontre du principe de résolution systématique d'un problème, principe qui sous-tend la traduction de l'hypothèse de rationalité dans les modèles. Autre exemple, les heuristiques affectives⁶³ conduisent un individu face à un jugement ou une décision à se baser dans un premier temps sur un ressenti associé à un objet ou à une situation, en se référant généralement à une expérience passée. Après avoir mis en évidence plusieurs heuristiques, Kahneman et Tversky contesteront la théorie de l'utilité espérée et y proposeront une alternative tenant compte de ces mécanismes et des biais de traitement de l'information, la théorie des perspectives (Kahneman et Tversky, 1979) qui vaudra à Kahneman le « prix Nobel » d'économie en 2002⁶⁴. La finalité de cette

⁶² Bien que certains considèrent qu'il s'agit simplement de l'ajout d'un critère d'effort cognitif à l'optimisation, Mongin (1986) formule plusieurs objections à un modèle optimisateur de la rationalité limitée.

⁶³ Sur lesquelles n'ont que peu travaillé Kahneman et Tversky.

⁶⁴ Ce prix ne pouvait alors plus être attribué conjointement à Tversky, décédé en 1997.

théorie, plus descriptive que prédictive, et le type d'information auquel elle fait référence (*i.e.* potentielles données requises) la rendent toutefois difficile à adapter à la modélisation.

Finalement, de nombreux travaux remettent en cause l'hypothèse de rationalité et le paradigme de l'*homo œconomicus* à la fois sur ce qui fait l'objet de l'optimisation (contestation de la restriction au seul calcul coût-bénéfice, par exemple par Boudon (2002)), sur le fait qu'il puisse y avoir optimisation (information imparfaite, limites cognitives des individus) ou encore sur son caractère systématique et immédiat (certaines décisions ne font pas appel à un mécanisme de raisonnement et de délibération, à l'inverse, un contexte d'habitude peut inciter à s'y opposer). Le postulat de l'individualisme qui pose « *que tout phénomène social résulte de la combinaison d'actions, de croyances ou d'attitudes individuelles* » Boudon (2002) est lui-même contesté par une partie des sociologues, mettant par nature en défaut l'hypothèse de rationalité. Les modèles que nous présentons ci-dessous (d) reposent sur l'hypothèse de rationalité mais proposent le plus souvent des modalités d'application qui permettent d'intégrer une partie des limites évoquées ci-dessus. Mais il existe également des modèles qui représentent les comportements sans reposer sur l'hypothèse de rationalité ni véritablement se définir par rapport à celle-ci, ce que nous verrons dans la partie 2.2.2.

d) Exemples de mise en œuvre dans les modèles

Le modèle IMACLIM-R⁶⁵ fournit un exemple de modèle macroéconomique s'inspirant de la théorie microéconomique du consommateur et de l'hypothèse de rationalité pour simuler le comportement des ménages. Ce modèle est notamment utilisé pour élaborer des scénarios globaux d'émissions de gaz à effet de serre. Dans la version présentée par Crassous (2008), la demande en biens et services des ménages est calculée sur le principe de maximisation de l'utilité d'un individu représentatif (un individu par région du monde). La fonction d'utilité utilisée comporte des paramètres relatifs aux biens issus des secteurs de l'agriculture, de l'industrie et des services, un paramètre relatif à la surface d'habitat et un paramètre relatif à la mobilité (en kilomètres-passagers). Le calcul de ces paramètres permet ensuite le calcul de la consommation d'énergie des ménages en utilisant des coefficients relatifs aux équipements (p. ex. performance énergétique des logements, du parc de véhicules). Signalons que si la représentation des comportements des ménages repose fondamentalement sur l'hypothèse de rationalité, le modèle prend ses distances avec cette dernière pour représenter le comportement d'autres agents. Ainsi, les décisions de politiques et de dépenses publiques sont par exemple basées sur des routines de décision.

De nombreux modèles proposent une représentation de la demande énergétique liée à l'occupation de logements. Dans ce secteur, les comportements de renouvellement des

⁶⁵ Le modèle repose sur une structure d'équilibre général dynamique récursif. À chaque période, un nouvel équilibre statique est calculé. Les paramètres utilisés pour déterminer les conditions de cet équilibre sont fixes durant la phase d'établissement de l'équilibre puis peuvent être modifiés par des modules dynamiques entre deux périodes d'équilibre.

technologies (p. ex. système de chauffages, équipements énergétiques tels les appareils électroménagers, isolation du bâtiment) font l'objet d'une grande attention et sont régulièrement modélisés dans des exercices à caractère prospectif. L'objectif est généralement de simuler la demande énergétique future du secteur résidentiel en fonction des modalités de renouvellement dans différentes situations, tels que des scénarios d'évolution des prix des différentes énergies, l'introduction de mesures politiques et d'instruments économiques. De tels modèles peuvent donc par exemple être utilisés dans le cadre d'évaluation *ex ante* de politiques publiques. Une partie des modèles posent l'hypothèse de rationalité comme base de représentation des comportements des ménages. Le modèle développé par Allibe (2012) en fournit un exemple relativement sophistiqué. Chaque ménage d'une population donnée et chaque système de chauffage y est explicitement représenté. Lorsque ce dernier arrive à l'issue de sa durée de vie, le ménage effectue un choix de remplacement de l'équipement. L'hypothèse de rationalité est ici appliquée à l'échelle de chaque ménage et se traduit par le fait que parmi trois options, le ménage choisit celle qui présente le coût global actualisé le plus faible. L'originalité et la richesse de l'approche réside dans ce cas précis dans les modalités de construction de la fonction de coût⁶⁶.

Le paradigme d'optimalité faisant référence à l'hypothèse de rationalité est également à l'œuvre dans un autre type de modèle très répandu : les modèles technico-économiques de type MarkAl, MESSAGE ou PRIMES. Ces modèles sont utilisés face à la question des choix technologiques mais cette fois-ci à l'échelle de l'ensemble du secteur énergétique⁶⁷. À partir de la définition d'une demande en services énergétiques en dehors du modèle (p. ex. hypothèses exogènes sur le principe des modèles de comptabilité) et en tenant compte d'éventuelles contraintes (p. ex. réduction d'émissions de gaz à effet de serre, part minimale d'énergies renouvelables), le modèle calcule le scénario qui minimise le coût global du système (qui peut intégrer des coûts environnementaux). Dans ce cas, l'agent optimisateur – pour lequel l'hypothèse de rationalité est formulée – est un planificateur omniscient. L'hypothèse de rationalité ne concerne donc cette fois qu'indirectement les ménages dont la représentation est bien souvent agrégée et qui ne maximisent pas à l'échelle individuelle leur utilité. À partir du modèle MarkAl-TIMES pour la France, mentionnons les travaux de Cayla(2011) dans lesquels l'auteur a cherché à affiner la représentation des comportements des ménages. La méthode employée a consisté à segmenter la population en fonction des caractéristiques socio-démographiques des ménages, et de variables influençant la demande énergétique liée au logement (p. ex. statut d'occupation, type de logement) ou à la mobilité (p. ex. tissus urbain, possession d'une voiture particulière). Ceci a permis de détailler les options à la disposition de chaque type de ménages en termes d'usages ou de choix énergétiques, par exemple la capacité et les préférences en termes d'investissements

⁶⁶ Elle inclut le coût d'investissement (avec un paramètre aléatoire afin de reproduire l'hétérogénéité des coûts des équipements dans la réalité), le coût énergétique sur la durée de vie de l'équipement ainsi que des coûts non énergétiques (p. ex. avantage environnemental, confort).

⁶⁷ Notons que selon les versions, ces modèles peuvent aussi couvrir un seul secteur ou sous-secteur.

dans de nouveaux équipements, les critères de choix d'un nouveau véhicule, les possibilités de report modal. Cette représentation désagrégée des ménages est au service d'une meilleure représentation de leurs comportements. Le paradigme sur lequel reposent les décisions est toutefois toujours fondé sur l'hypothèse de rationalité puisque le moteur des choix est la minimisation des coûts.

Les modèles d'étude et de prévision des comportements de mobilité constituent un autre exemple d'application de l'hypothèse de rationalité. Les travaux de modélisation dans ce domaine ont été initiés aux Etats-Unis dans les années 50 et se sont développés en France à partir des années 60⁶⁸. L'hypothèse de rationalité et la théorie microéconomique du consommateur ont été introduites en économie des transports peu après suite notamment aux travaux de MacFadden sur les choix discrets (cf. MacFadden, 1974). Elles sont à la base d'une grande partie des modèles développés, en particulier parmi les modèles « classiques », ou modèles à quatre étapes, qui sont courants et reposent généralement sur le principe de maximisation de l'utilité des individus⁶⁹. Dans ces modèles, la troisième étape consiste à définir la répartition modale des déplacements et repose bien souvent sur une équation de minimisation du coût mettant en jeu le prix d'un déplacement selon les modes et le temps de déplacement. Proposant des alternatives à la rationalité parfaite tout en conservant le principe de rationalité, les modalités d'application et variantes de ces modèles sont nombreuses (Bonnel, 2002). Ces alternatives passent par l'usage de modèles de choix discrets, mais aussi par des adaptations ponctuelles (p. ex. ajout d'une hypothèse de montée en charge dans le cadre de la construction d'une nouvelle infrastructure plutôt qu'un report immédiat du trafic, pour rendre compte d'une information imparfaite (Bonnel, 2002)). L'hypothèse de rationalité peut par ailleurs être appliquée à un individu moyen (approches agrégée) ou à chaque individu lorsqu'ils sont tous représentés (approche désagrégée). Toujours dans le champ de la prévision des déplacements, une nouvelle génération de modèles a émergé un peu plus tard et s'est largement développée comme une alternative aux modèles à quatre étapes. Basés sur la notion d'activité⁷⁰ et d'espace d'activité (assimilable à la notion d'espace de vie évoquée notamment dans la section 1.1), ces modèles représentent les comportements en se basant sur différents principes de décisions. Parmi ceux-ci, certains modèles comme le modèle STARCHILD (Recker et al., 1986), retiennent l'hypothèse de rationalité. Dans ce modèle, les individus sont représentés « *comme munis de plusieurs options d'espace d'activités/déplacements. Celle qui est en définitive mise en œuvre est celle qui minimise le temps de déplacement pour se rendre d'une*

⁶⁸ Signalons que ces modèles n'étaient pas développés initialement pour répondre à des enjeux énergétiques ou liés au changement climatique, mais selon les périodes pour éclairer des décisions d'investissement et de dimensionnement d'infrastructures, de congestion, d'urbanisation et seulement plus récemment pour favoriser une mobilité durable. Rappelons que la mobilité des individus est à l'origine d'un quart à un tiers de la consommation d'énergie dans les pays industrialisés.

⁶⁹ Le modèle GLOBAL de la Régie autonome des transports parisiens (RATP) en constitue un exemple en France.

⁷⁰ L'approche par les activités « *substitue l'activité au déplacement, ce dernier n'étant qu'une demande dérivée du besoin de réalisation d'activités en permettant de faire la jonction entre des activités séparées dans l'espace et le temps* » (Jones, 1979, à partir de Enaux (2009)).

activité à l'autre. » (Enaux, 2009). L'utilité est ici assimilée au temps gagné lors d'un déplacement.

Ces exemples de modèles traitant des problématiques les plus étudiées dans le contexte énergétique et reposent toutes sur le principe de rationalité, tout en essayant de proposer des adaptations ou des modalités d'application qui contournent le caractère irréaliste de l'hypothèse de rationalité parfaite. Cette rationalité peut s'exprimer à une échelle individuelle ou à l'échelle agrégée, le cas extrême étant l'usage d'un individu représentatif pour une population. Mais il existe également des modèles qui représentent les comportements sans avoir recours à l'hypothèse de rationalité ni véritablement se définir par rapport à celle-ci.

2.2.2 Autres principes de représentation des comportements

Dans le contexte énergétique et de l'atténuation du changement climatique, il existe des modèles qui s'affranchissent de l'hypothèse de rationalité, ainsi que du paradigme mathématique d'optimisation.

La manière la plus simple de représenter ces comportements et leurs changements dans un modèle peut être illustrée par les modèles de comptabilité, dont le modèle MEDEE (Lapillonne, 1978)⁷¹ constitue un exemple emblématique. Dans ces modèles, la demande énergétique est désagrégée afin de faire apparaître et contrôler les facteurs qui l'expliquent. Par exemple, la décomposition de la consommation liée à la mobilité en voiture des individus rendra explicite communément le nombre d'individus de la population étudiée, la taille moyenne des ménages, le taux de motorisation des ménages (*i.e.* nombre de véhicules) et la distance moyenne annuelle par parcourue par véhicule. Cette décomposition peut être très poussée selon la problématique étudiée (p. ex. distinction de dizaines de catégories de véhicules et de types de motorisation). C'est le principe que l'on retrouve, pour ne citer que des exercices évoqués dans cette thèse, dans deux des trois modèles utilisés par Eyre et al. (2011), ou encore pour l'élaboration du scénario négaWatt (Association Négawatt, 2014).

Lorsque ce type de formalisme est utilisé, la simulation de changements de comportements repose sur la modification « manuelle » de paramètres du modèle qui constituent en fait la résultante de comportements (p. ex. distance par véhicule résultant des comportements de mobilité, taille des ménages résultant des comportements de cohabitation). Cette pratique correspond à une définition *exogène* d'hypothèses d'évolution des comportements et des parts de marchés des différentes technologies (qui résultent de comportements). Les déterminants des comportements (p. ex. contexte individuel, contexte de prix) ne sont pas simulés directement, seuls sont représentés leurs effets.

⁷¹ La référence mentionnée est une description de la version 2 du modèle.

À l'instar des modèles reposant sur le principe de rationalité et présentés ci-dessus, d'autres modèles *endogénéisent* une partie des déterminants des comportements. Il s'agit cette fois d'explicitier des paramètres influençant la décision (p. ex. prix de l'énergie, situation professionnelle) afin de simuler les effets de changements de ces paramètres. Mais nous présenterons donc ici ceux qui s'affranchissent du principe de rationalité. Les modèles énergie-économie de ce type sont regroupés par Mundaca et al. (2010) sous l'appellation de modèles de simulation, qui constituent toutefois un groupe relativement hétérogène. Ces modèles ne s'appuient pas sur une théorie explicite mais proposent une reconstruction exclusivement empirique du cadre de la décision (contexte et déterminants des comportements). Les méthodes employées reposent généralement sur l'exploitation d'enquêtes et l'élaboration de modèles statistiques de prédiction des comportements en fonction des paramètres les plus influents. Dans ce cas, l'hypothèse de rationalité n'est pas nécessaire : il n'importe pas de savoir si les individus agissent selon un principe de rationalité, font appel à des heuristiques ou encore agissent de manière socialement déterminée. Le résultat n'est pas interprété en termes théoriques et la part de rationalité qui régit ces comportements est donc implicitement endogénéisée. L'analyse statistique permet d'identifier des schèmes de comportements en fonction des caractéristiques des ménages ou des individus. Ces schèmes peuvent traduire par exemple des opportunités ou contraintes liées à la position dans le cycle de vie (p. ex. enfant, retraité) ou à la localisation (p. ex. éloignement des magasins en milieu rural). À partir d'un niveau de représentativité, ces schèmes sont considérées comme prédictifs et peuvent être transcrits de manière formelle. Si la formalisation ne nécessite pas de théorie particulière, son usage dans le cadre d'une simulation (p. ex. situation fictive, situation future) implique de considérer une certaine persistance de sa validité. Implicitement, une hypothèse de stabilité de l'influence de l'ensemble des processus sociaux, biophysiques ou économiques qui expliquent le cadre formel est donc formulée.

La plateforme de modélisation élaborée dans le cadre du projet ETHEL constitue un exemple de ce type de modèle (Raux et al., 2006). Le modèle de simulation de la demande en mobilité a été construit à partir de l'enquête nationale transport déplacement. L'analyse de la mobilité locale des individus permet d'identifier plusieurs déterminants statistiquement influents : la situation (p. ex. actif ayant un emploi, retraité, élève), la densité de la commune de résidence, l'âge, l'équipement en voiture ou encore le revenu. La formalisation mathématique permet alors de reconstruire la mobilité de la population actuelle à partir de ses caractéristiques (p. ex. structure des âges, niveaux de revenus). La réalisation de projection à l'aide de ce modèle consiste donc (1) à définir l'évolution de la population et de ses caractéristiques d'une part ; (2) à éventuellement faire évoluer les coefficients associés en s'appuyant sur une démarche rétrospective. Le modèle a été utilisé pour réaliser des prévisions, c'est-à-dire pour décrire un futur tendanciel (sans rupture ou discontinuité). Le principe de modélisation mis en œuvre et décrit par (Weber et Perrels, 2000) est comparable. Les influences de paramètres tels que les revenus, la composition des ménages ou encore la taille du logement sur différentes composantes de la consommation

d'énergie (p. ex. usage de la voiture, niveau d'équipement en audiovisuel et consommation d'électricité associée) sont analysées. L'ensemble de ces déterminants et de leurs influences sont mis en relations dans un cadre formel qui permet de simuler la consommation d'énergie de la population. Des hypothèses d'évolution contrastées de la population et de ses caractéristiques permettront de simuler différents scénarios de consommation d'énergie. Le principe mis en œuvre par Ravalet et al. (2016), bien que différents dans les modalités d'application par la segmentation de la population, reprend le même principe d'identification de déterminants de la consommation d'énergie pour la formalisation. Enfin, Mundaca et al. (2010) citent plusieurs modèles basés sur ce principe et destinés à simuler les comportements de choix technologiques au moment de l'investissement dans un équipement (modèles REEPS, NEMS).

Ces exemples de modèles représentant des comportements qui déterminent la consommation d'énergie montre qu'il est possible de s'affranchir de l'hypothèse de rationalité. La réalisation de simulation requiert toutefois de se reporter sur d'autres hypothèses, même implicites, qui ont également leurs limites. Pour les modèles de simulation, qui rendent explicites les déterminants des comportements, les modalités d'application sont variées et peuvent mettre en jeu des formalismes plus ou moins sophistiqués. Il semble toutefois que deux grandes caractéristiques les rassemblent. Ils ont en effet en commun d'une part de reposer sur des enquêtes et des analyses statistiques et d'autre part de proposer une représentation désagrégée de la population. C'est cette représentation désagrégée qui permet la mise en relation des comportements avec leurs déterminants individuels (p. ex. âge, situation professionnelle, revenus, localisation).

2.2.3 Conclusion

L'analyse de modèles utilisés face aux problématiques énergétiques permet d'identifier plusieurs modalités de représentation des comportements. Parmi ces modalités, l'hypothèse de rationalité régit une grande partie des modèles et probablement les plus utilisés. Elle ouvre en effet la voie à la simulation d'une décision à partir de la description de son contexte (p. ex. contexte individuel, système de prix), notamment dans le cadre du paradigme mathématique de l'optimalité. L'hypothèse historique de rationalité parfaite considérée comme « *repère incontournable à partir duquel on peut évaluer les approches alternatives du comportement individuel* » (Thisse et Billot, 1995) a toutefois été largement critiqué, et engendré d'autres acceptions du principe de rationalité. Ces différentes acceptions ont été à l'origine de nombreux formalismes de modélisation qui cherchent à tenir compte tantôt des limites à l'information parfaite, tantôt du principe de rationalité limité voire d'autres mécanismes cognitifs intervenant dans la décision. D'autres types de modèles s'affranchissent de l'hypothèse de rationalité. Ceux-ci reposent soit sur une approche purement descriptive où les comportements sont essentiellement représentés à partir de leurs conséquences sur les usages énergétiques, soit sur une approche empirique

permettant la simulation de modification du contexte (individuel ou extérieur) des décisions relatives aux usages énergétiques. Nous retrouvons ici la distinction relevée dans la conclusion de la section précédente (et exprimée à l'aide des Figure 18 et Figure 19).

Ce panorama soulève donc à nouveau cette question tout en identifiant d'autres points auxquels nous devons répondre par des choix de modélisation, en particulier : quelles modalités de représentation des comportements retenir ? Sur quel principe repose-elle ? Quel niveau de désagrégation de la population adopter ? Sur quelles données se baser ?

La section suivante est dédiée au positionnement de notre contribution qui définira les grandes orientations des développements méthodologiques que nous proposons. Elle conclura ce second chapitre et ouvrira ainsi la voix au chapitre suivant (III) dans lequel nous préciserons nos choix de modélisation.

2.3 POSITIONNEMENT DE NOTRE RECHERCHE

Le premier chapitre nous a permis de montrer l'intérêt de penser nos modes de vie lorsque l'on s'intéresse à la question énergétique. Nous avons toutefois vu dans la première section de ce second chapitre que les futurs modes de vie n'étaient que rarement pris en considération explicitement dans les exercices de prospective. Ceci soulève la question qui guide nos recherches : comment encourager les praticiens de la prospective énergétique à mieux prendre en compte les évolutions des modes de vie ? Face à cette question, notre postulat est que l'un des obstacles à une meilleure prise en compte est la difficulté que cela représente en termes de conceptualisation et d'adaptation du formalisme des modèles existants. Ces derniers n'ont en effet pas été nécessairement pensés à cette fin. Nous avons toutefois recensé des initiatives pionnières par leur volonté de surmonter ces obstacles (cf. partie 2.1.3). En proposant de nouveaux développements méthodologiques, nous souhaitons contribuer à la mise à disposition d'outils et d'approches méthodologiques qui s'inscrivent dans cette logique.

L'examen de ces exercices pionniers nous a conduits à soulever un ensemble de questionnements dont les réponses définiront les grandes orientations de notre contribution :

- Quels types d'évolution des modes de vie souhaite-t-on pouvoir anticiper ? (cf. 2.3.1)
- Comment faire en sorte de valoriser au mieux les atouts des approches qualitative et quantitative ? (cf. 2.3.2)
- Quelles composantes du système énergétique – au sens large – désire-t-on représenter par la modélisation ? (cf. 2.3.3)
- Quelles modalités de représentation des comportements retenir pour notre modèle ?

Cette section expose nos réponses à ces questions. La dernière n'est toutefois abordée que partiellement dans la partie 2.3.3, la suite étant présentée à travers nos choix de modélisation exposés au chapitre suivant.

2.3.1 Explorer la diversité des futurs possibles

À l'horizon d'une génération et au-delà, le futur est porteur d'incertitudes majeures. L'une des clés des incertitudes est la survenue de ruptures, c'est-à-dire de changements majeurs « *impactant fortement l'évolution d'une ou plusieurs variables ou encore d'un système* » (Destatte et Durance, 2009). Ces ruptures peuvent concerner le contexte économique (p. ex. la survenue d'une crise financière, la mise en œuvre d'une réforme fiscale importante,

une hausse durable du prix du pétrole), technologique (p. ex. l'essor d'un nouveau type de produits, d'une catégorie de services) ou encore le système de valeurs pour finalement transformer les modes de vie, et plus globalement bouleverser l'organisation sociale. Ces changements ne sont pas nécessairement brutaux et peuvent s'étaler sur de longues périodes (Herpin et Verger, 2008), mais ont finalement des conséquences importantes sur les modes de consommation, l'organisation du temps ou encore l'organisation de l'espace.

Comme nous l'avons vu dans la section 1.1.3, de telles ruptures ont déjà été observées par le passé. Elles ont eu par exemple pour origine la diffusion d'une technologie. Cela a été le cas de l'influence de la diffusion de la télévision à partir des années 60 (activité dont la durée de pratique atteint en moyenne deux heures par jour en France⁷² d'après l'enquête Emploi du temps 2009-2010) ou de la machine à laver. C'est aussi le cas plus récemment de l'essor du réseau Internet, puis de la rapide diffusion du smartphone, à l'origine d'une importante réorganisation des pratiques sociales (Gheraoui et Dufour, 2012; Soriano, 2011). Elles peuvent aussi avoir d'autres origines, comme une évolution de la structure sociale de la population (émergence d'une « classe moyenne » entre 1950 et 1975 dans les pays industrialisés, multiplication par six de la population d'étudiants de l'enseignement supérieur entre 1961 et 1991) ou une évolution des valeurs. En ce sens, l'affaiblissement relatif des institutions traditionnelles (p. ex. Églises, syndicats, partis, symboles nationaux, couple, repos dominical) observé dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle (Hérault, 2013) et de leur rôle dans la définition des normes sociales peut être considéré comme à l'origine d'un ensemble de bouleversements progressifs touchant tant les modes de cohabitations, que les modes de consommation ou l'organisation temporelle des activités.

Finalement, des ruptures interviendront assurément à l'avenir et elles sont imprévisibles à plusieurs titres : dans quelles directions vont-elles transformer la société ? À quel moment ? À quelle vitesse ? Nous considérons que la démarche prospective a un rôle à jouer dans l'anticipation de ces bouleversements. Pour cette raison, notre conception de la démarche prospective est celle d'un exercice ouvert à la description d'un avenir pluriel, où peuvent être explorés tant le prolongement de tendances que des ruptures, des modes de vie durables et d'autres contraires aux principes de durabilité ou non définis par rapport à ces principes. Pour cela, nous nous situons dans l'attitude qui consiste à construire des scénarios exploratoires.

2.3.2 Allier approche qualitative et modélisation prospective

Si les approches qualitatives pures encouragent l'exploration large de futurs possibles, les questions politiques liées aux ressources énergétiques et au changement climatique nous invitent à ne pas nous y restreindre. En effet, ces questions ont la particularité d'accorder

⁷² Champ de l'étude : individus de 11 ans et plus en France métropolitaine et dans 3 DOM (la Martinique, la Guadeloupe et la Réunion)

une place centrale à des grandeurs physiques – tels que les volumes de gaz à effet de serre émis, les quantités de ressources fossiles disponibles et accessibles, la fiabilité du réseau électrique ou encore, à des échelles locales, les concentrations de polluants dans l’atmosphère – qui requièrent un recours à des approches quantitatives. Deux types de développements sont alors possibles : les méthodes consistant à évaluer *a posteriori* des scénarios (p. ex. empreinte carbone) et la modélisation prospective. Nous avons opté pour le développement d’un modèle original, estimant d’une part que le déficit de méthodologie y était plus prégnant, et considérant d’autre part les apports de la modélisation, dont ceux que nous exposons ci-après.

Premièrement, l’exercice de modélisation nous impose une formalisation de la notion de mode de vie. Nous avons vu que la notion était riche et délimitée par des contours flous. Ces caractéristiques sont à l’origine de difficultés de manipulation, qui expliquent en partie le fait que les modes de vie aient rarement été traités frontalement dans la plupart des exercices de prospective énergétique menés à l’échelle de la France de 1998 à 2013 et que nous avons analysés (partie 2.1.2). La notion n’est pas pour autant totalement absente de ces exercices, mais y est abordée le plus souvent partiellement et de manière implicite. Face à ce constat, nous nous attacherons dans le cadre de notre contribution à proposer un cadre formel destiné à accompagner la manipulation de la notion de mode de vie dans les exercices de prospective.

Deuxièmement, un modèle constitue également un outil de représentation d’un objet complexe, et la complexité caractérise notre objet d’étude. Notre objectif est d’appréhender les conséquences des mutations que subissent la population et ses modes de vie sur des grandeurs énergétiques quantifiées. Face à ces innombrables relations et cette complexité, l’usage d’un modèle numérique, en tant que moyen de représentation⁷³, et de la puissance de calcul informatique pourra s’avérer précieux. En effet comme l’énonce (Bressoux, 2010), les modèles constituent « *une représentation schématique qui s’efforce de reproduire les propriétés fondamentales d’un objet complexe* », permettant de fixer les connaissances relatives à des phénomènes. Un modèle pourra ainsi fournir une représentation des multiples relations entre les composantes du système que l’on considère afin de mieux comprendre son fonctionnement, et finalement de mieux appréhender les conséquences de changements des modes de vie sur les déterminants de la demande en services énergétiques.

Enfin troisièmement, un modèle constitue un instrument de simulation de futurs changements possibles. Les modèles peuvent en effet avoir « *une fonction instrumentale et heuristique* » (Bressoux, 2010), devenant « *l’objet même de l’analyse en tant qu’il a été réalisé sous une forme commode, apte à être manipulée* ». La vocation instrumentale du modèle est également évoquée par Granger (1993), ou par Bachelard (1979) en ces termes : « *Le modèle est un intermédiaire à qui nous déléguons la fonction de connaissance, plus précisément de*

⁷³ La racine latine du mot « modèle » est *modus* qui entre autre signifie « moyen ».

réduction de l'encore énigmatique, en présence d'un champ d'étude dont l'accès, pour des raisons diverses, nous est difficile » (Bachelard, 1979). Cette vocation nous sera utile car les connaissances relatives à notre objet d'étude sont éparses – du fait notamment du caractère multidimensionnel de la notion de modes de vie – et partielles. L'exploitation du modèle, les tests et simulations qu'il nous permettra d'effectuer nous faciliteront l'accès au comportement du système qu'il représente et aux phénomènes en jeu.

En retenant pour notre contribution une approche par modélisation, nous entendons à la fois (1) proposer un cadre formel pour aborder les modes de vie dans les exercices de prospective, (2) offrir une représentation du système en jeu afin d'en appréhender le fonctionnement et (3) mettre à profit la vocation instrumentale du modèle dans une perspective compréhensive et exploratoire. Considérant que la modélisation des modes de vie est toutefois enrichie par les apports de l'approche qualitative, nous avons toutefois cherché à proposer une approche compatible avec certains fondements de l'approche qualitative. Cela se matérialise en particulier par la possibilité de discuter des contours du système de départ et donc des variables à prendre en compte avant de proposer des hypothèses de changement. Comme nous le verrons dans le chapitre 3, cette intention se matérialise par la proposition, plutôt que d'un modèle, d'un principe et d'un cadre de modélisation qui autorisent une certaine souplesse dans le choix des variables considérées. L'application que nous présentons dans le chapitre 4 repose sur un modèle issu de ce principe de modélisation.

2.3.3 Représenter les modes de vie pour quantifier les usages de l'énergie

a) *Périmètre du système énergétique considéré*

Dans la partie 1.2.4, nous avons décomposé le système énergétique – ses acteurs et les décisions qui le régissent – en quatre grandes composantes : la population et ses modes de vie, les usages de l'énergie, l'appareil productif et le secteur énergétique.

Nous proposons de nous concentrer sur la population et ses modes de vie, et de proposer une représentation explicite des comportements et déterminants associés, sur le modèle de la Figure 18 (p. 98). Ainsi, le modèle est alimenté en entrée par des hypothèses portant sur différentes dimensions des modes de vie, hypothèses exprimées à l'aide de variables – ou indicateurs – représentatives des dimensions (p. ex. taille du ménage, décile de revenus, localisation de l'habitat). En sortie, le modèle simule les conséquences de ce jeu d'hypothèses sur les usages énergétiques en fournissant une quantification d'indicateurs représentatifs de ces usages (pour des exemples d'usages et d'indicateurs, se reporter au Tableau 16).

Tableau 16 : Exemples d'indicateurs caractéristiques des usages directs et indirects de l'énergie

Usages	Exemples d'indicateurs
Confort thermique	Surface de logement
Éclairage	Surface de logement à éclairer, durée d'occupation
Eau chaude sanitaire	Volume annuel d'eau chaude par personne
Mobilité locale	Distance potentielle parcourue annuellement (km.passager)
Usage d'équipements électroménagers	Demande en froid alimentaire (volume, température), nombre annuel de cycle de lavage de linge
Demande en biens	Volumes de biens d'alimentations, de produits d'entretiens
Demande en services	Dépenses en services d'assurance ou bancaires

Par ce choix nous décomposons le problème global du futur énergétique en deux sous-problèmes : celui de la quantification des usages énergétiques d'une part et celui de la satisfaction de ces usages d'autre part. Un tel choix nous permet de nous concentrer sur la représentation des modes de vie, alors que le reste du système énergétique constitue également un objet complexe, mais qu'il fait l'objet de multiples propositions de modélisation. Pour élaborer des scénarios portant sur l'ensemble du futur système énergétique, il sera donc nécessaire de traiter ultérieurement le problème de satisfaction des usages de l'énergie. Dans le chapitre 4, nous présentons l'un des moyens possibles. Il consiste à combiner plusieurs modèles.

b) Périmètres spatial et temporel couverts

Les délimitations spatiales et temporelles du système considéré doivent également être précisées pour affiner notre cadre de travail. Nous avons choisi de nous concentrer dans le cadre de nos travaux sur la France et plus précisément sur la population qui y vit. Ce choix résulte de la rencontre de quatre logiques. Premièrement, nous avons souhaité travailler à l'échelle d'un territoire plutôt que de l'individu afin de bénéficier de la compatibilité avec les modèles du système énergétique français et d'alimenter les débats qui sont menées à cette échelle (p. ex. sur les instruments économiques, sur les infrastructures énergétiques). Cette approche se distingue de celle retenue dans plusieurs exercices de prospective des modes de vie recensés dans le chapitre 2 où les évaluations de la consommation d'énergie ou des émissions de gaz à effet de serre sont menées à l'échelle de l'individu ou du ménage (Emelianoff et al., 2013; Huber et al., 2013; Ravalet et al., 2016). Deuxièmement, le choix de se restreindre à un pays a été effectué afin de disposer d'une relative homogénéité des modes de vie considérés. En effet, bien que la diversité des modes de vie au sein de cette population soit déjà conséquente, elle reste limitée au regard de celle des modes de vie à

l'échelle mondiale qui couvre une grande diversité de contextes (p. ex. socioéconomiques, géographiques, politiques). Ce choix influence ainsi la distance focale qu'il sera possible d'adopter. Troisièmement, nous souhaitons nous concentrer sur un pays industrialisé, catégorie de pays dont les émissions par individu sont en moyenne les plus élevées. Enfin, c'est l'échelle à laquelle la richesse des données caractéristiques des modes de vie est la plus grande. Notons qu'en outre, la qualité et la richesse des données d'enquêtes disponibles en France sont reconnues.

En termes temporels, nous souhaitons pouvoir traiter d'un horizon de long terme, c'est-à-dire de 2050 à 2100. Cet horizon temporel dépasse celui d'une génération et ceci a plusieurs conséquences. D'une part, des mutations importantes des modes de vie sont plausibles et donc envisageables dans le cadre de la modélisation, pouvant donc entraîner de profonds changements du système représenté. D'autre part, en se plaçant à cet horizon, nous sommes confrontés à des incertitudes de grande ampleur, le champ des futurs possibles étant vaste. Pour cette raison, le dispositif de modélisation que nous proposons visera avant tout une capacité d'exploration de trajectoires contrastées. Cet objectif conduit à une plus grande tolérance envers certaines approximations (p. ex. sur les données initiales) que dans le cas d'un examen centré sur la situation actuelle.

2.4 CONCLUSION DU CHAPITRE

Dans la première section, nous avons souligné le fait que si la démarche prospective est particulièrement adaptée aux enjeux énergétiques et du changement climatique (2.1.1), les modes de vie ont plutôt rarement été abordés explicitement dans les exercices de prospective menés jusqu'à présent (2.1.2), et ce malgré leur influence sur les usages de l'énergie (1.2). Dix exercices recensés en France ou sur d'autres territoires atténuent toutefois ce constat (2.1.3). Parmi eux, une moitié est basée essentiellement sur des approches qualitatives et une évaluation *a posteriori* des conséquences d'évolutions des modes de vie, démarche rencontrant certaines limites. L'autre moitié propose une représentation partielle des modes de vie à l'aide d'outils de modélisation. Partielle car tous les postes de l'emprise énergétique ne sont pas considérés ou car les déterminants relatifs aux modes de vie (p. ex. attributs individuels, activités réalisées) qui mènent aux usages de l'énergie ne sont pas explicitement représentés par le cadre formel proposé. Par rapport au foisonnement de dispositifs de modélisation proposant une représentation détaillée des technologies ou des processus économiques (p. ex. DICE, MarkAl), nous pouvons considérer l'existence d'un déficit de modèles proposant une représentation explicite des modes de vie.

Notre contribution se situe dans la perspective d'encourager l'inclusion d'une réflexion sur nos futurs modes de vie dans le cadre d'exercices de prospective énergie-climat. Elle vise pour cela à proposer des développements méthodologiques. La troisième section de ce chapitre nous a permis de préciser les grandes orientations qui ont guidé nos travaux. Premièrement nous avons opté pour la réalisation d'un travail de modélisation original. Celui-ci constituera le cœur de notre contribution. Deuxièmement notre conception de la démarche prospective est celle d'un exercice ouvert à la description d'un avenir pluriel, nous adopterons alors une attitude exploratoire. Troisièmement, nous avons délimité le système que nous souhaitons représenter, à savoir la population et ses modes de vie conduisant à l'estimation des usages de l'énergie. Ces trois orientations guideront nos choix méthodologiques en termes de modélisation. Le chapitre suivant sera l'occasion d'exposer le formalisme de modélisation adopté ainsi que l'ensemble de notre démarche de modélisation. Le panorama des modalités de représentation des comportements dans les modèles énergétiques réalisé dans la section 2.2 a constitué à la fois un ensemble de points de repères et une source d'inspiration pour ces choix.

CHAPITRE III

PROPOSITION D'UNE APPROCHE QUANTITATIVE DES MODES DE VIE POUR LA PROSPECTIVE ENERGETIQUE

Les modes de vie, nous l'avons vu au premier chapitre, définissent la matrice des usages de l'énergie et en cela constituent l'un des enjeux de la transition énergétique et de l'atténuation du changement climatique. Nous avons vu dans le deuxième chapitre qu'ils n'étaient toutefois que rarement pris en considération dans les exercices de prospective énergie-climat, démarche régulièrement utilisée pour éclairer les décisions dans ce contexte. Nous avons alors exposé notre intention de proposer des travaux de modélisation originaux pour contribuer à encourager les réflexions sur nos futurs modes de vie dans le cadre de ces exercices.

Les grandes lignes du système que nous souhaitons modéliser ont été présentées à la fin du chapitre 2. Nous avons spécifié en particulier les contours du système que nous souhaitons modéliser : la population française, ses modes de vie et les usages de l'énergie qui en découlent. Nous avons également précisé que nous souhaitons être en mesure de simuler des mutations profondes de ce système, dans le cadre de scénarios exploratoires à un horizon de long terme. À partir de ce cadre, nous avons dû effectuer plusieurs choix de modélisations que nous exposons dans ce troisième chapitre.

Dans la section 3.1, nous présenterons les modalités de représentation des comportements relatifs aux modes de vie que nous avons adoptées, en précisant notamment la source des données sur lesquelles nous nous sommes basé. Nous introduirons dans la section 3.2 le principe de modélisation qui régit le fonctionnement du système. Nous verrons que le modèle proposé repose sur la valorisation de relations statistiques, et sur un principe de « mimétisme » des pratiques passées ou présentes. La section 3.3 sera l'occasion de présenter la manière dont des changements de modes de vie sont introduits dans le processus de modélisation. Enfin, nous présenterons brièvement dans la section 3.4 quelques éléments de mise en œuvre opérationnelle de la démarche de modélisation car celle-ci peut influencer l'utilisation du modèle et les relations statistiques dont il peut rendre compte.

3.1 MODE DE REPRESENTATION DE LA POPULATION ET DE SES MODES DE VIE

Élaborer un modèle nécessite d'adopter un mode de représentation du système étudié, ici la population et ses modes de vie. Il s'agit ainsi d'inscrire sous forme d'objets formels un ensemble d'informations relatives au système (p. ex. taille de la population, caractéristiques des modes de vie) et à ses propriétés (p. ex. relations entre les composantes du système). Cette section décrit le mode de représentation adopté et les données sur lesquels il se base.

3.1.1 Exploitation d'une combinaison de bases de données statistiques nationales

Nous avons vu qu'il était possible d'appréhender les modes de vie à partir de leur empreinte visible, les pratiques. Il s'agit par exemple des pratiques de mobilité, des pratiques de cohabitation, des pratiques de consommation de biens et services ou encore des pratiques de localisation des ménages. Plusieurs enquêtes nationales menées généralement par l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee) s'intéressent à ces pratiques. Alors que la notion de mode de vie est multidimensionnelle, notre approche consiste à combiner plusieurs de ces enquêtes afin de couvrir les différentes dimensions des modes de vie.

Les cinq enquêtes que nous avons combinées dans nos travaux sont le recensement de la population, l'enquête logement, l'enquête nationale transport et déplacements, l'enquête budget de familles et l'enquête emploi du temps. Ces enquêtes sont conduites avec une périodicité de 5 à 10 ans depuis leur mise en place dans les années 70 ou 80. Source de données riches et fiables, elles constituent un matériau précieux pour adopter un regard rétrospectif sur ces pratiques et donc un solide substrat pour la démarche prospective. Une description synthétique de leur finalité, leur périmètre d'investigation, les éditions existantes et la taille des échantillons enquêtés est proposée dans le Tableau 17. Lors de la réalisation d'une simulation, une édition (généralement la plus récente disponible⁷⁴) est utilisée pour établir un jeu de références sur les pratiques actuelles.

⁷⁴ Le recensement de la population fait néanmoins exception : nous utilisons l'édition de l'année la moins éloignée des éditions des autres enquêtes.

Tableau 17. Description des cinq enquêtes utilisées.

Nom	Enquête emploi du temps	Enquête logement	Enquête nationale transport et déplacements	Enquête budget de familles	Recensement de la population
Finalité	Collecter des informations précises sur l'utilisation du temps par les individus	Collecter des données complètes et précises sur le parc de logements et les conditions d'occupation par les ménages de leur résidence principale	Améliorer la connaissance de la mobilité des ménages vivant en France	Étudier les dépenses et les revenus des ménages à un niveau microéconomique	Connaitre et suivre l'évolution de la population en France, du parc de logements et de leurs principales caractéristiques
Éditions	1966-1967 1974-1975 1986-1987 1998-1999 2009-2010	1955, 1961, 1963, 1967, 1970, 1973, 1978, 1984, 1988, 1992, 1996, 2002 et 2006, 2013	1966-1967 1973-1974 1981-1982 1993-1994 2007-2008	1979, 1984, 1989, 1995, 2001, 2006, 2011	Tous les 5 à 9 ans de 1801 à 1962 Données harmonisées : 1968, 1975, 1982, 1990, 1999, 2006 à 2012
Champ	L'enquête détaille l'usage du temps des individus à partir de la description de deux jours complets par individu enquêté (usage de carnet de suivi des activités)	A l'échelle nationale, il s'agit de la principale source statistique décrivant le parc de résidences principales et les conditions d'occupation par les ménages. <i>Seuls les logements ordinaires sont concernés.</i>	L'enquête porte sur la mobilité courte et longue distance, l'usage des moyens de transport individuels et collectifs.	L'enquête fournit des données détaillées sur toutes les dépenses des ménages (incluant celles qui ne concernent pas des biens et services, comme les impôts) et sur les revenus des individus et ménages enquêtés (<i>seule la population des ménages est concernée</i>)	Le recensement fournit des informations sur la population et les logements : âge, genre, origine, statut marital, diplôme, composition du ménage, situation, localisation, etc.
Taille de l'échantillon (édition utilisée)	≈28 000 carnets remplis par ≈18 000 individus appartenant à ≈12 000 ménages	≈43 000 ménages correspondant à ≈110 000 individus	≈45 000 carnets remplis par ≈19 000 individus de ≈19 000 ménages	≈41 000 individus enquêtés appartenant à ≈16 000 ménages	Toute la population est concernée

Les enquêtes comportent de nombreuses variables⁷⁵ qui fournissent deux types d'information : des informations sur les caractéristiques des individus ou des ménages enquêtés et des informations sur leurs pratiques. Par exemple, l'enquête nationale transport et déplacements inclut un ensemble de variables décrivant l'individu (p. ex. genre, âge, situation professionnelle) et son ménage (p. ex. taille, composition, âge de la personne de référence) d'une part et un ensemble de variables détaillant ses pratiques de mobilité quotidienne (p. ex. nombre de déplacements au cours d'une journée, motifs des

⁷⁵ Pour une définition et quelques compléments sur la notion de variable, nous renvoyons le lecteur à l'Annexe 4.

déplacements, distances de chaque déplacement, moyens de transport utilisés). Parmi les pratiques décrites dans les cinq enquêtes utilisées figurent également des pratiques directement relatives aux usages de l'énergie, telles que la surface de logement par personne que nous avons désigné dans le chapitre 1 comme un indicateur de l'usage « confort thermique ». Dès lors, une étape-clé de notre approche consiste à sélectionner les jeux de variables qui nous permettront de construire une représentation de la population et de ses modes de vie, et incluant notamment les indicateurs des usages énergétiques que l'on souhaite quantifier. Le Tableau 18 résume les types de variables utilisés pour aborder les différentes dimensions des modes de vie ainsi que leur disponibilité dans les cinq enquêtes exploitées. Notons que les dimensions des modes de vie sont ici présentées sous forme de questions. Un tableau de correspondance de ces questions avec les énoncés des quinze dimensions utilisés dans le chapitre 1 est présenté en Annexe 5.

Tableau 18. Type de variables utilisées pour construire une représentation quantitative de « la population et ses modes de vie » et leur disponibilité dans chaque enquête. *Légende : "+++" signifie "données complètes disponibles" ; "++" signifie "données partielles disponibles" ; "+" signifie "quelques informations disponibles" ; une case vide signifie aucune information disponible".*

	Type de variables	Enquêtes				
		Enquête emploi du temps	Enquête logement	Enquête nationale transport et déplacements	Enquête budget de familles	Recensement de la population
Qui sont-ils ?	Âge, genre, statut (activité)	+++	+++	+++	+++	+++
Avec qui vivent-ils ?	Taille et composition du ménage, revenus du ménage	++	++	++	++	+++
Où vivent-ils ?	Type d'espace urbain ou rural	+++	+++	+++	+++	+++
Comment se logent-ils ?	Type de logement (maison individuelle ou immeuble collectif), taille du logement	+	+++	+	+	++
Que possèdent-ils ?	Possession de différents types d'équipements (ex. voiture, électroménager, meubles)	++	+	+	+++	+
Que consomment-ils ?	Volumes consommés de chaque produit et service				+++	
Comment se déplacent-ils ?	Nombre de trajets, distance et moyens de transport	+		+++	+	+
Que font-ils ? <i>Activités, usage du temps</i>	Fréquence et durée de pratique des différentes activités	+++		++	+	
Où le font-ils ?	Lieu de réalisation des activités (à domicile, sur le lieu de travail, ...), en présentiel ou virtuellement	+++		+++		
Comment voyagent-ils ?	Motif, destination, fréquence, durée des voyages			+++	++	

L'analyse de ces enquêtes permet également d'accéder à un troisième type d'information : celle contenue dans les corrélations entre variables. Par exemple, l'analyse de l'enquête nationale transport et déplacements nous permet de constater qu'en 2008 les personnes âgées de 75 ans et plus réalisent en moyenne deux fois moins de trajets un jour de semaine que le reste de la population (voir Figure 20). Cette observation reflète les effets des processus de vieillissements biologique et social. L'effet du vieillissement physique occasionne une gêne d'ordre physique pour se déplacer (ex. douleurs et/ou limites dans la réalisation de certains mouvements). Le vieillissement social est le phénomène observé de déclin du réseau social d'un individu, pouvant être dû à la détérioration de certaines fonctions de communication (p. ex. capacité auditive), aux décès dans l'entourage ou encore au vieillissement physique justement. L'analyse de l'enquête logement fournit un autre exemple de ce type de corrélation, cette fois entre la taille des ménages et la surface de logement par personne (voir Figure 21). Cette corrélation reflète le phénomène de mutualisation de l'espace qui a des conséquences sur les besoins individuels en espace d'habitation. Concrètement, ce phénomène peut être illustré par le fait que : si la présence de certaines pièces est considérée comme nécessaire au confort d'un logement, un seul exemplaire de ces pièces peut satisfaire les besoins de tous les occupants d'un logement (ex. cuisine, salle-de-bain, salon) ou d'un couple (ex. chambre).

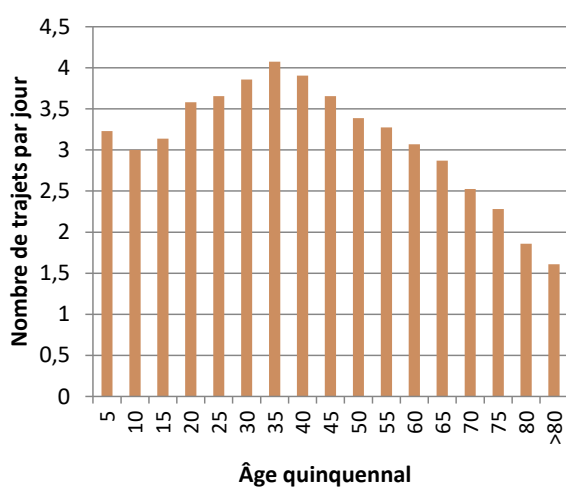


Figure 20. Nombre de trajets par âge.

Source des données : Enquête nationale transport et déplacements 2007-2008.

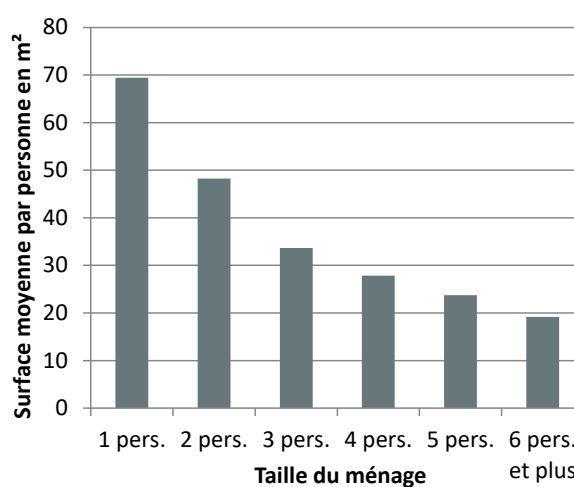


Figure 21. Surface de logement par personne selon la taille du ménage.

Source des données : Enquête logement 2006.

Notons que si nous distinguons ci-dessus deux types de variables (attributs des individus ou des ménages d'une part, pratiques d'autre part), la classification des variables n'est en réalité pas toujours binaire. Par exemple, la taille du ménage peut être considérée comme un attribut des ménages, mais elle résulte des pratiques de cohabitations des individus.

Ces enquêtes constituent le substrat de nos travaux de modélisation.

3.1.2 La *matrice population* comme modalité de représentation d'une population et de ses pratiques

a) *Un exemple de modalité de représentation de la population et de ses pratiques : les tables de résultats d'enquête*

Les tables de résultats d'une enquête offrent un exemple de modalité de représentation d'une population et de ses pratiques. Elles prennent classiquement l'allure d'une matrice dans laquelle une ligne représente un individu (ou un ménage) et une colonne représente une variable. Certaines de ces variables décrivent les attributs de l'individu ou du ménage (p. ex. âge, genre), d'autres décrivent ses pratiques (p. ex. nombre de trajets par jour par motif, temps passé à domicile chaque jour). Dans sa forme générique, une cellule de coordonnée (i, j) contient la valeur de la $j^{\text{ième}}$ variable pour l'individu i . La Tableau 19 propose un exemple concret d'une telle matrice. Si le recensement de la population représente l'ensemble de la population française de cette manière, la plupart des enquêtes portent sur un échantillon de la population. Afin de représenter l'ensemble de la population, des techniques statistiques sont appliquées. Elles reposent sur les modalités de construction des échantillons construits (tirage au sort, représentativité) et sur l'introduction de variables de pondération.

Tableau 19 : Exemple de matrice représentant une population (trois individus, trois variables). Chaque cellule de coordonnées (i, j) contient la valeur ou la modalité de la variable j pour l'individu i .

Variable N° individu	Âge	Genre	Taille du ménage
01	38	Féminin	2
02	75	Féminin	1
03	14	Masculin	5

b) *Forme d'une matrices population*

Nous utiliserons pour notre part une représentation équivalente dont la forme générique est représentée par la Figure 22. Dans cette représentation, chaque colonne à l'exception de la première est relative à une variable (variables x et y dans la Figure 22). Chaque ligne correspond à un segment – *i.e.* une fraction – de la population (ou groupe⁷⁶) ayant pour caractéristiques une *combinaison unique de modalités* pour les variables représentées dans la matrice. La première colonne de la matrice informe sur la taille du segment d'une ligne donnée (*i.e.* le nombre d'individus).

⁷⁶ Nous utiliserons les deux termes. « Segments » est plus robuste du fait du sens bien spécifique du terme « groupe » ou « groupe social » dans les sciences humaines et sociales, mais « groupe » est plus largement compris.

Variable Individu	x	y
...	...	...
λ	x_i	y_j
...	...	...

↔

Effectif du segment	x	y
...	...	...
$\alpha_{x=x_i \& y=y_j}$	x_i	y_j
...	...	...

Figure 22. Deux représentations (quasi-)équivalentes d'une population et de ses pratiques. Dans cet exemple x et y sont les variables qui caractérisent la population et ses pratiques. x_i et y_j sont des modalités ou valeurs de ces deux variables. Dans la matrice de droite, α est le nombre d'individus que représente la ligne correspondante.

Représentant une population, ses caractéristiques et ses pratiques (et par conséquent ses modes de vie), ce type de matrices sera nommé ultérieurement *matrice population*. Les matrices population sont à la base du processus de modélisation proposé. Si chaque ligne représente un sous-ensemble de la population, ces sous-ensembles sont disjoints et complémentaires, ce que l'on peut écrire sous la forme de l'Équation 1. Autrement dit, tout individu d'une population appartient à exactement un groupe. Par conséquent, la somme des valeurs de la première colonne d'une matrice est égale à la taille de la population qu'elle représente.

Équation 1

Soit $\{\varphi_i\}_1^I$ ($I \in \mathbb{N}$) l'ensemble des groupes issus de la segmentation de la population Φ . Dans ce cas, nous avons :

$$\Phi = \bigcup_{i=1}^I \varphi_i \text{ et } \forall (i, j) \in \llbracket 1, I \rrbracket^2 \text{ tels que } i \neq j : \varphi_i \cap \varphi_j = \emptyset$$

Le formalisme proposé met l'accent sur une représentation de la diversité de la population et de ses pratiques (population désagrégée). Le nombre de lignes de la matrice est alors représentatif du degré de raffinement de la description de la population. Une matrice population à une seule ligne correspond à une description de la population à l'aide d'une moyenne unique pour chaque paramètre (p. ex. âge moyen de la population, nombre moyen de déplacements par jour). Le principe de notre approche consiste justement à ne pas se contenter de ce niveau d'information.

Les variables (en colonne) sont le moyen par lequel nous rendons explicites des dimensions des modes de vie. Par exemple, la variable « taille du ménage » permettra d'introduire la dimension « modes de cohabitation » ; une variable relative au taux d'équipement en biens informatiques rendra compte de la dimension « choix des modalités d'équipement et rapport aux technologies ». Or pour proposer des hypothèses de changements de modes de vie selon une dimension donnée, il est impératif de rendre explicites cette dimension dans le système de représentation. Les variables d'une matrice population définissent donc l'ensemble des dimensions des modes de vie considérées.

c) Intérêt de ce mode de représentation

En adoptant ce mode de représentation, nous entendons rendre compte de la tension entre regard macroscopique et logiques individuelles. En effet, le choix de travailler à l'échelle d'une population entière implique d'adopter un regard macroscopique sur l'évolution des modes de vie. Toutefois une grande partie de la cohérence des modes de vie est à trouver à l'échelle individuelle, ce qu'illustre par exemple la description d'un changement de mode de vie à l'échelle individuelle proposée en Annexe 6. Les caractéristiques individuelles – localisation de l'habitat, position dans le cycle de vie (p. ex. enfant, étudiant, parent, retraité), revenus, composition du ménage, valeurs – exerceront un effet déterminant sur les activités pratiquées, les besoins en mobilité, les comportements de consommation, ... c'est-à-dire sur les modes de vie. Bien que des facteurs plus collectifs puissent également être influents (p. ex. normes sociales, lois, infrastructures de transport), il semble difficile de s'affranchir complètement des logiques individuelles.

Dans ce contexte, la segmentation de la population en groupes homogènes vis-à-vis de leurs pratiques revient à se rapprocher de ces logiques individuelles. Plutôt qu'appréhender les pratiques moyennes des français, nous pouvons appréhender les pratiques caractéristiques d'un groupe de population donné – p. ex. âgé de plus de 60 ans, vivant en zone rurale, aux revenus élevés, et toute autre caractéristique descriptible par une variable. Plus la segmentation est fine, plus la représentation tend vers l'individu et ses logiques. Toutefois, nous n'avons pas opté ici pour une représentation de chaque individu et de leurs comportements, ce que permet la microsimulation par exemple. La représentation de l'ensemble de la population situe l'approche proposée parmi les modèles matriciels qui sont par exemple utilisés pour la réalisation de projections démographiques.

Dans cette section, nous avons introduit les matrices population et vu que leur construction repose sur l'exploitation combinée de plusieurs enquêtes nationales. Dans la section suivante, nous proposons de détailler les modalités d'exploitation de ces enquêtes et l'usage des matrices population en présentant le processus de simulation.

3.2 PROCESSUS DE SIMULATION

Nous appelons processus de simulation la succession d'étapes qui conduit à la quantification des indicateurs des usages de l'énergie à partir de la description d'une population et de ses modes de vie. C'est le processus que nous mettons en œuvre afin de simuler une population future et ses modes de vie. Il est également applicable à la simulation de la population actuelle et de ses modes de vie, ce qui constitue une situation de référence, un point de comparaison lors d'une démarche prospective. Dans cette section, nous introduisons ce processus de simulation. Nous verrons qu'il repose sur une matrice population et son enrichissement à partir de relations statistiques.

3.2.1 Enrichissement de la matrice population

a) *Principe général*

Le processus de simulation que nous mettons en œuvre consiste à partir d'une matrice population simple (c'est-à-dire dont la population est décrite selon une ou deux variables) et à l'enrichir progressivement en ajoutant une à une des variables. Une partie des variables ajoutées sont relatives aux différentes dimensions des modes de vie que l'on souhaite considérer (p. ex. taille du ménage, localisation). Les dernières variables ajoutées sont relatives aux usages de l'énergie que l'on souhaite quantifier (p. ex. surface de logement, distance parcourue). L'ajout d'une variable s'effectue en considérant les corrélations entre la variable à ajouter et les variables de la matrice population qui fait l'objet de l'ajout.

La Figure 23 illustre ce processus à partir d'un exemple simple. Le point de départ est une matrice population qui contient une seule variable : l'âge quinquennal (a). La variable ajoutée décrit la situation de l'individu (p. ex. actif ayant un emploi, étudiant, retraité). La nouvelle matrice population (c) est obtenue à l'aide d'une matrice contenant les probabilités d'être dans chaque situation à chaque tranche d'âge. C'est ce type de matrice qui contient les corrélations entre la variable à ajouter et les variables de la matrice population. Une telle matrice est nommée *matrice de corrélations* (cf. b)) et est construite à partir des enquêtes nationales présentée dans la section précédente.

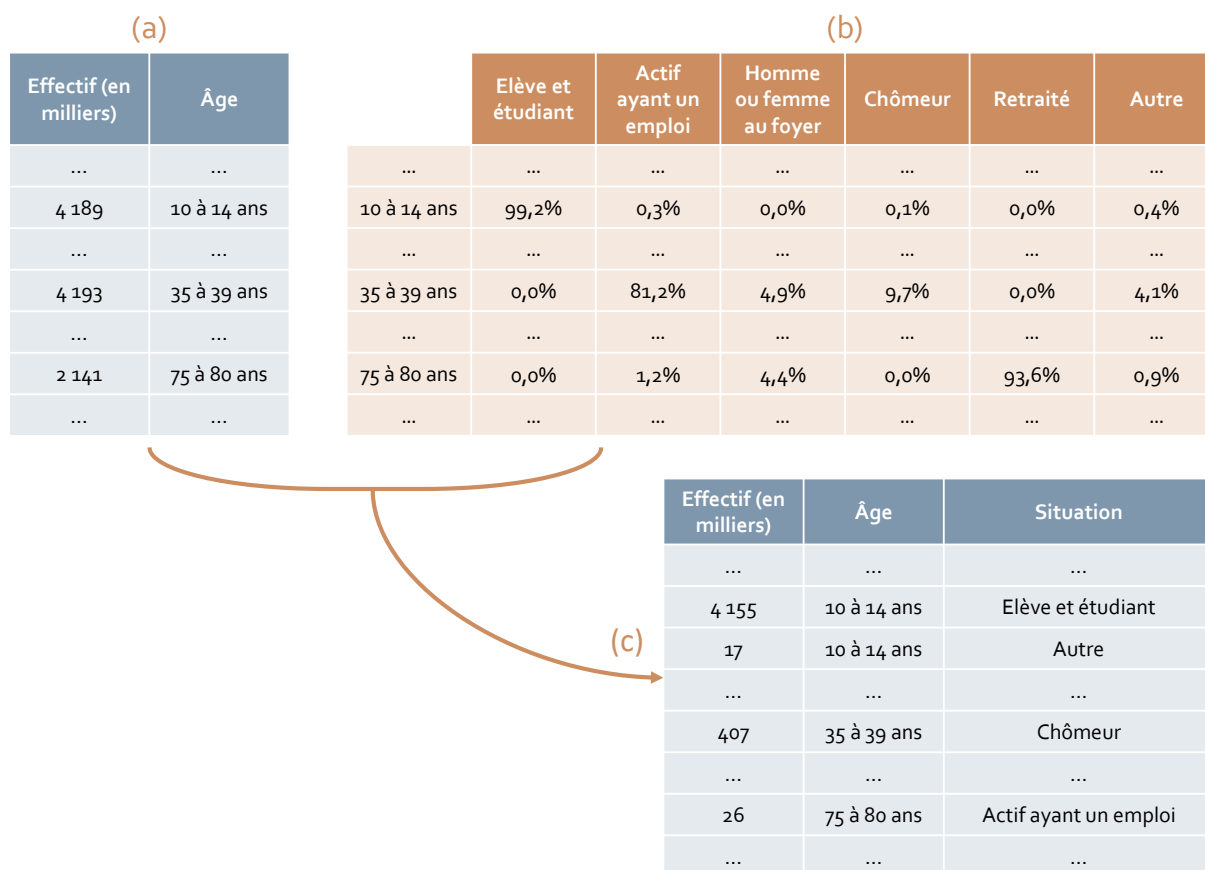


Figure 23 : Illustration de l'ajout d'une variable à une matrice population simple.

L'opération élémentaire d'ajout d'une variable est incluse dans un processus séquentiel représenté par la Figure 24 dans un cas générique d'ajout de cinq variables (nommées v , w , x , y et z). Ici le processus part d'une matrice population de type pyramide des âges et mène à une matrice à sept variables.



Figure 24 : Représentation du processus en série d'enrichissement d'une matrice population. La matrice de départ est de type pyramide des âges, la matrice-cible est une matrice population décrite par cinq variables supplémentaires (v , w , x , y et z).

Les variables ajoutées peuvent provenir de différentes enquêtes. Ce processus est donc un moyen de combiner les enquêtes mentionnées précédemment afin d'explicitier les différentes dimensions des modes de vie avant d'aboutir aux variables d'intérêt, c'est-à-dire aux variables relatives aux usages de l'énergie. Étant donné que ces variables d'intérêt sont ajoutées en fin de processus, leurs corrélations avec les variables caractéristiques des différentes dimensions des modes de vie sont *a priori* prises en compte. Ainsi un changement intervenant sur l'une des dimensions des modes de vie aura des conséquences sur les variables ajoutées ultérieurement, et donc sur les variables relatives aux usages de l'énergie. C'est ainsi que nous entendons rendre le modèle proposé sensible à des changements de modes de vie.

Puisque les relations mathématiques entre les variables du système représenté sont issues de relations statistiques, le modèle proposé est un modèle de type statistique. La partie 3.2.2 sera l'occasion d'approfondir les modalités de mobilisation des outils statistiques au sein du processus. Avant cela, nous présentons ci-après la forme d'une matrice de corrélations, le cas général de l'étape d'ajout d'une variable et une vue d'ensemble du processus.

b) *Forme d'une matrice de corrélations*

La forme d'une matrice de corrélations est illustrée par la Figure 25. Dans cet exemple, une variable catégorielle⁷⁷ – nommée z possédant K modalités – est analysée par rapport à deux autres variables catégorielles – nommées x et y ayant respectivement m et n modalités. Chaque ligne représente une combinaison unique des modalités de x et y . Chaque colonne représente une modalité de la variable z . Les cellules contiennent une valeur représentant la corrélation entre les variables. Si z est une variable catégorielle comme dans l'exemple ci-dessous, les cellules contiennent la fréquence relative à chaque modalité. Pour la première cellule, cette fréquence peut aussi être décrite comme la probabilité pour z de prendre pour valeur z_1 sachant que $x = x_1$ et $y = y_1$. Si z est numérique continue, les cellules contiennent une grandeur statistique (ex. moyenne, fréquence d'un intervalle de valeurs).

⁷⁷ Pour quelques définitions des types de variables, voir Annexe 4.

	$z = z_1$	...	$z = z_K$
$\begin{cases} x = x_1 \\ y = y_1 \end{cases}$	$p(z = z_1)_{x=x_1 \& y=y_1}$	...	$p(z = z_r)_{x=x_1 \& y=y_1}$
...	...	...	...
$\begin{cases} x = x_m \\ y = y_n \end{cases}$	$p(z = z_1)_{x=x_m \& y=y_n}$	...	$p(z = z_r)_{x=x_m \& y=y_n}$

$$\forall (i, j) \in \llbracket 1, m \rrbracket \times \llbracket 1, n \rrbracket, \sum_{k=1}^K p(z = z_k)_{x=x_i \& y=y_j} = 1 \quad (1)$$

Figure 25. Format-type d'une matrice de corrélations. La variable réponse z est catégorielle et possède K modalités. x et y sont les variables explicatives et possèdent respectivement m et n modalités. p est la fréquence d'une modalité de z pour un couple de valeur de (x, y) , ou la probabilité que z prenne une valeur donnée sachant la valeur de (x, y) . L'équation (1) est vérifiée pour tout couple $(i, j) \in \llbracket 1, m \rrbracket \times \llbracket 1, n \rrbracket$.

La partie 3.2.2 aborde les modalités d'élaboration de ces matrices.

c) *Ajout d'une variable : forme générale*

La Figure 26 illustre la forme générale de l'ajout d'une variable à une matrice population. La population est initialement décrite par deux variables (x et y). L'analyse des corrélations entre la variable z (variable réponse) et le couple de variables (x, y) (variables explicatives) fournit la matrice de corrélations (b). Ces deux matrices sont combinées pour générer la nouvelle matrice population (c). Cette nouvelle matrice décompose chaque segment (représenté par une ligne) de la matrice (a) en k segments (un pour chacune des k modalités de z) en utilisant les fréquences contenues dans la matrice (b). Dans ce cas précis, l'ajout d'une variable à la matrice population accroît donc le nombre de lignes d'un facteur K à effectif total constant (K étant le nombre de modalités de la variable ajoutée, z).

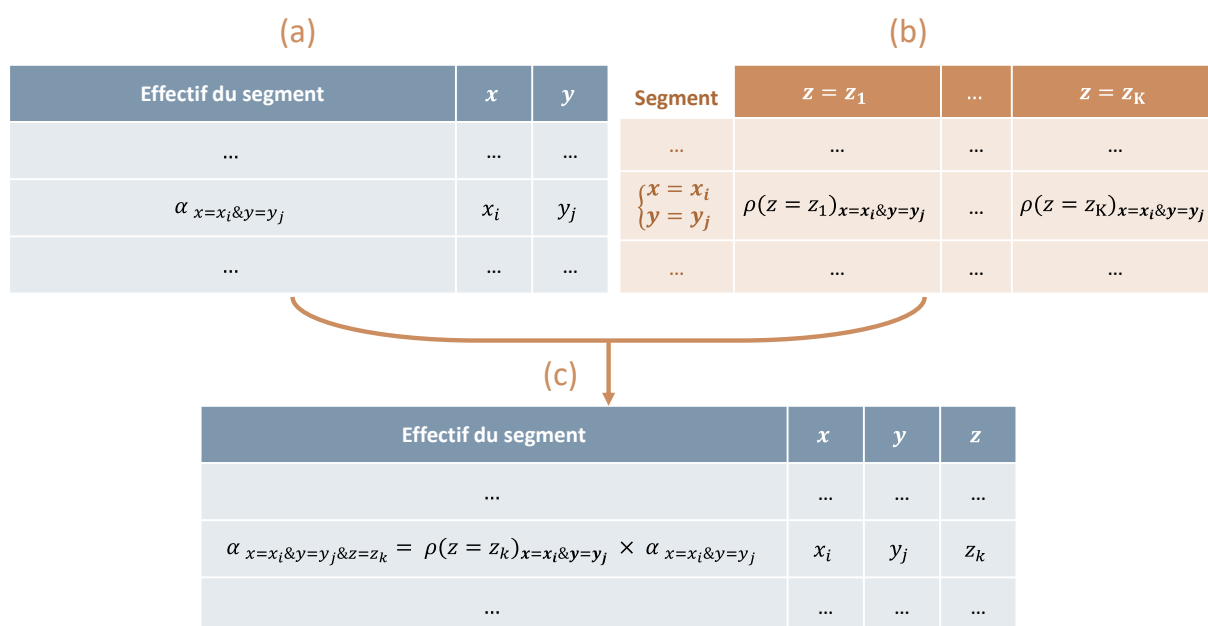


Figure 26 : Exemple de l'ajout d'une variable z à une matrice population à deux variables (x et y).

3.2.2 Élaboration des matrices de corrélations

« La Statistique est une méthode mathématique d'analyse qui permet d'étudier avec le maximum de précision les phénomènes incomplètement connus » (Torrens-Ibern, 1956). Considérant l'ensemble des mathématiques, ce même auteur situe le domaine de pertinence des statistiques aux champs où la rigueur des liaisons fonctionnelles disparaît, laissant la place à « une gamme infinie de liaisons stochastiques, plus ou moins lâches, qui peuvent arriver jusqu'à l'indépendance complète » (Torrens-Ibern, 1956). L'étude de la population, de ses modes de vie et des usages énergétiques nous confronte incontestablement à ces conditions. En effet, nous savons que la mobilité des individus, leur manière d'habiter et de consommer mettent en jeu des phénomènes biologiques, économiques, sociologiques, géographiques, culturels, juridiques, psychologiques ou encore démographiques (p. ex. les effets du vieillissement biologique, les implications de la vie au cœur d'une grande métropole). Toutefois il nous est impossible d'établir des relations mathématiques toujours valides qui nous permettraient d'expliquer chaque comportement de manière univoque. En effet, la connaissance exhaustive de l'ensemble de ces phénomènes est inaccessible et quand bien même elle le serait, l'Homme est ainsi fait que ses comportements ne seraient pas prédictibles avec une certitude absolue. Mais l'abandon de l'absolu n'implique pas de renoncer à expliquer, représenter, quantifier ou simuler ces phénomènes. Pour cela, les méthodes statistiques – qui visent à la collecte, au traitement et à l'interprétation de données en vue d'en extraire une information pertinente – constituent un outil précieux.

Les matrices de corrélations sont le dispositif par lequel nous entendons représenter les différents phénomènes en jeu dans notre système. Si l'on reprend le cas présenté dans la sous-partie 3.1.2a)⁷⁸, ces phénomènes sont par exemple le choix sociétal d'accorder un droit à la retraite à partir d'un certain âge, ou encore l'habitude culturelle qui consiste à considérer que la première partie de la vie est largement consacrée aux apprentissages. Si la connaissance absolue de l'ensemble des phénomènes en jeu ne nous est pas accessible, nous disposons d'ensembles de données (enquêtes nationales) qui nous permettent de les aborder à travers leurs effets sur les relations entre variables (p. ex. relation entre l'âge et la situation). Les méthodes statistiques nous permettront donc d'étudier ces interactions entre variables. Par conséquent, l'élaboration de matrices de corrélations, qui reproduit les corrélations entre une variable cible et des variables explicatives, revient à la résolution d'un problème statistique.

a) *Problème statistique posé*

Il existe de nombreux outils statistiques qui permettent de répondre à une multitude de problèmes dans des domaines variés. Nous proposons ici de formuler le problème posé dans notre situation afin de sélectionner un outil adapté.

Une matrice de corrélations est élaborée dans le cadre d'une opération d'ajout d'une variable à la matrice population. L'ajout d'une variable implique de *prédire* la valeur de cette variable pour tous les individus de la matrice à partir de leurs caractéristiques. Pour une variable quantitative, la prédiction portera sur une valeur chiffrée. Pour une variable qualitative, elle prendra la forme de fréquences (ou probabilités) relatives à chaque modalité (p. ex. étudiant, retraité). Ce type de problème peut être abordé par plusieurs outils en statistiques, tels que les modèles de régression. La sélection d'un outil plutôt qu'un autre dépend de l'existence d'une variable à expliquer ou non, du nombre et du type de variables à expliquer et explicatives qui sont en jeu. Dans notre cas pour une matrice donnée, nous aurons toujours une unique variable à expliquer, et celle-ci peut être qualitative (p. ex. situation de l'individu) ou quantitative (p. ex. nombre de trajets par jour). Nous pourrions en revanche avoir à faire à plusieurs variables potentiellement explicatives et celles-ci pourront être qualitatives (p. ex. localisation des ménages) et quantitatives (p. ex. taille du ménage).

Par ailleurs, nous n'avons qu'une connaissance partielle de l'ensemble des phénomènes à l'œuvre dans le système représentant la population et ses modes de vie. En effet, si nos connaissances ou la littérature peuvent permettre de supposer l'existence de certains phénomènes (ex. effets du vieillissement de la population, effets des revenus), ils semblent difficilement dénombrables. Alors que les jeux de données manipulés contiennent de grands nombres de variables hétérogènes potentiellement explicatives (une à plusieurs

⁷⁸ Cas de l'ajout d'une variable « situation » (p. ex. retraité, étudiant) à une matrice population contenant l'unique variable « âge ».

centaines), et que l'opération d'élaboration de matrice est potentiellement à renouveler de nombreuses fois, nous n'envisageons pas de recenser et hiérarchiser *a priori* de petits nombres de variables explicatives. Cela rend nécessaire l'adoption d'une approche de type *exploratoire*. Nous partons donc d'un pool élargi de variables explicatives éligibles sans idée préconçue sur celles qui seront effectivement retenues (cf. aussi partie 3.2.3).

b) Le choix des arbres de décision

Parmi les méthodes statistiques disponibles, nous avons opté pour l'utilisation d'arbres de décision, car ils présentent plusieurs avantages dans le contexte d'utilisation qui est le nôtre. Les arbres de décisions sont une méthode de partitionnement consistant, au sein d'un ensemble d'unités (p. ex. individus, ménages), à produire des groupes les plus homogènes possibles vis-à-vis de la variable à expliquer (p. ex. pour notre problème : taux de motorisation, nombre de trajets par jour). Lorsque la variable à expliquer est qualitative, on parle d'arbre de classification. Lorsqu'elle est quantitative, on parle d'arbre de régression. Ces arbres sont construits pour une variable donnée à partir de jeux de données disponibles et peuvent ensuite être utilisés pour prédire la classification ou la valeur de cette variable pour de nouveaux individus.

Les arbres de décision ont été pour la première fois proposés dans un processus d'explication et de prédiction par Morgan et Sonquist (1963). Plusieurs méthodes ont ensuite été proposées pour construire des arbres de décisions et générer des règles de classification et de prédiction. Deux d'entre elles ont connu un retentissement important et ont contribué à populariser largement ces méthodes.

La première est la méthode CART (pour *Classification And Regression Tree*) décrite par Breiman et al. (1984). L'algorithme qu'ils proposent à travers cette méthode et que nous avons utilisé construit un arbre de décision binaire. Le groupe de données initial est séparé en deux groupes en sélectionnant la division permettant de former les deux groupes les plus homogènes possibles et les plus hétérogènes entre eux. Puis chaque groupe peut-être ou non séparé en deux nouveaux groupes selon le même principe de sélection de la division. Une division est appelée un nœud, elle donne naissance à deux branches. Pour sélectionner la meilleure division, l'algorithme teste de manière exhaustive toutes les divisions possibles (selon toutes les variables et toutes les modalités) et sélectionne la séparation qui maximise un critère de réduction d'impureté (basé sur l'index dit *de Gini*). L'algorithme s'arrête seul lorsqu'un groupe est pur (tous les éléments du nœud appartiennent à une même classe ou ont une même valeur) ou lorsque toutes les modalités de division ont été utilisées. Il peut aussi être arrêté par l'utilisateur. L'extrémité d'une branche est appelée une feuille et contient les prédictions (classe majoritaire ou valeur).

La seconde méthode est l'algorithme C4.5 développé par Quinlan (1993) et qui s'inscrit dans une succession de développements du même auteur. Si les principes sont identiques

(opérations itératives de séparation des groupes, sélection de la division selon un critère d'optimalité, choix d'une règle permettant de décider qu'un nœud est terminal), les modalités d'application diffèrent (division pouvant ne pas être binaire, critère d'optimalité basé sur la notion d'entropie).

L'un des points les plus délicats de la construction des arbres de décisions est celui de la limitation de leur taille. Ce point correspond à la recherche d'un modèle parcimonieux, problème récurrent dans la mise en œuvre de méthodes statistiques, car comme le souligne Besse et Laurent (2015) « *un arbre trop détaillé, associé à une sur-paramétrisation, est instable et donc probablement plus défaillant pour la prévision d'autres observations* ». Ce phénomène est appelé *sur-apprentissage*. Sur ce point, la contribution de Breiman et al. (1984) est décisive. Ces auteurs proposent une méthode consistant à construire dans un premier temps l'arbre le plus grand possible, en acceptant toutes les segmentations, même si elles ne sont pas pertinentes. Dans un second temps, les arbres intermédiaires menant jusqu'à l'arbre maximal sont comparés selon un critère spécifique permettant de sélectionner l'arbre optimal (Rakotomalala, 2005). C'est ce qu'on appelle la *procédure d'élagage*.

c) *Mise en œuvre dans notre processus*

Une fois l'arbre construit pour une variable à expliquer donnée (p. ex. la surface de logement par personne), notre approche consiste à analyser et caractériser les pratiques ou situations de chaque groupe vis-à-vis de la pratique que permet d'appréhender la variable à expliquer. Selon les cas, cette caractérisation passera par l'affectation d'une valeur (p. ex. la moyenne) ou une distribution de probabilité des valeurs possibles de la variable à expliquer. C'est cette information relative aux pratiques pour chaque segment qui est ensuite consignée dans la matrice de corrélations.

La Figure 27 représente un exemple d'arbre de décision et de matrice de corrélations associée. Dans cet exemple, la variable à expliquer est la surface de logement par personne. Les variables explicatives sont l'âge de la personne de référence du ménage (5 classes d'âge), la taille du ménage (6 classes : {1 personne, 2 personnes, 3 personnes, 4 personnes, 5 personnes, 6 personnes et plus}), la localisation du logement (4 classes : {zone rurale, aire urbaine de moins de 100 000 habitants, aire urbaine de plus de 100 000 habitants, aire urbaine de Paris}) et le type de logement (2 classes : {logement en immeuble collectif, maison individuelle}). Dans cet exemple, nous avons limité le partitionnement à huit segments. A la lecture de l'arbre, la variable la plus discriminante est la taille du ménage associée à la division entre ménage d'une personne et les autres ménages. Au niveau du premier nœud, l'échantillon est alors divisé en deux groupes selon ce critère. Chacun de ces groupes est ensuite divisé à nouveau en sous-groupe à l'aide du critère le plus pertinent. Dans cette Figure 27, nous avons également représenté le contenu de la matrice de corrélations où les valeurs caractéristiques sont la moyenne et l'écart-type de la surface de logement par personne au sein de chacun des huit segments distingués. Notons que par

rapport aux représentations précédentes de matrices de corrélations, les lignes et colonnes sont ici inversées.

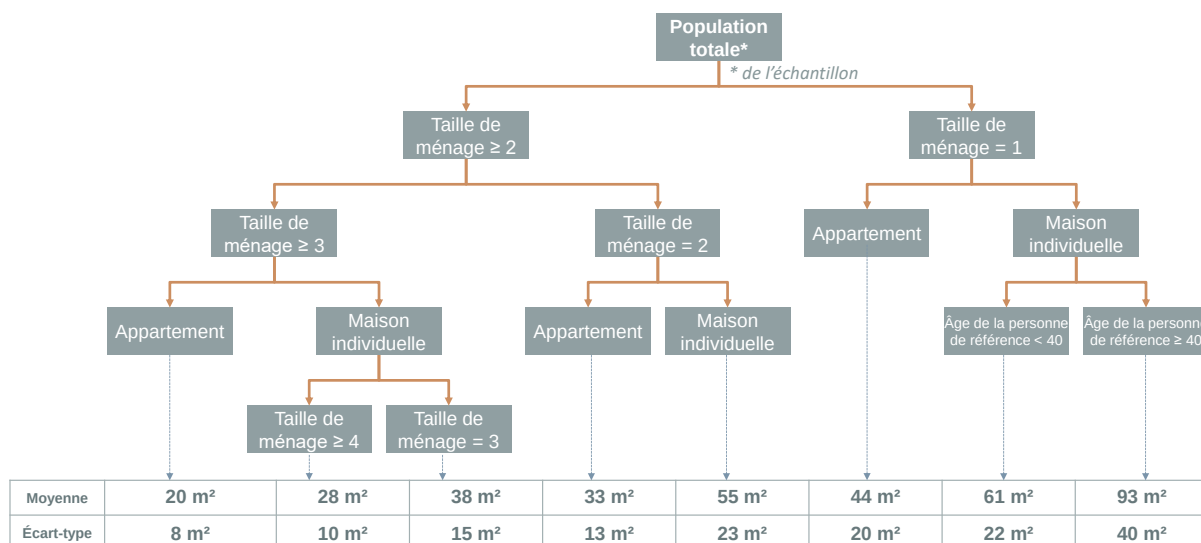


Figure 27. Arbre de régression relatif à la surface de logement par personne en France et contenu de la matrice de corrélations associée. Source des données : enquête logement 2006 de l'Insee.

Cette méthode présente plusieurs avantages décisifs pour notre problème. Premièrement, en tant que système d'apprentissage, elle nous permet d'aborder un jeu de données sans idées préconçues sur les relations attendues. Ceci nous permet d'une part d'éviter l'oubli de corrélations, et d'autre part d'éviter certains biais liés à leur sélection. Deuxièmement, elle permet de gérer des relations non linéaires entre variables (c'est-à-dire non représentables par une droite). La Figure 20 (p. 124) montrait par exemple que la relation entre âge et nombre de trajets réalisés un jour de semaine est non linéaire. Troisièmement, cette méthode tient compte des interactions entre variables explicatives, alors que ce point pose problème pour une partie des méthodes statistiques existantes. Quatrièmement, la méthode est commode d'utilisation car elle est peu contrainte par la nature des données. Elle permet ainsi de considérer des variables quantitatives et qualitatives (en tant que variable explicative et à expliquer), de traiter de grands jeux de données et n'est que peu exigeante quant à la préparation des données d'entrée (pas de normalisation requise, robuste vis-à-vis de données erronées ou de valeurs aberrantes, accepte les valeurs manquantes) (Lebart et al., 2000).

Pour construire les arbres de décision dans le cadre de notre processus de modélisation, nous avons recours aux routines de RPART (pour *Recursive PARTitioning*) basé sur l'algorithme CART et disponible dans le logiciel R (Breiman et al., 1984 ; Therneau et Atkinson, 2015).

3.2.3 Sélection et ordonnancement des variables

a) *Principe*

Cette étape consiste à sélectionner et ordonner les variables qui seront ajoutées à la matrice population initiale pour parvenir à une matrice population finale, c'est-à-dire contenant le ou les indicateurs des usages énergétiques étudiés. En reprenant l'exemple de la Figure 24 où la variable z est la variable finale que l'on souhaite obtenir⁷⁹, il s'agit ainsi de déterminer la suite de variables $\{v, w, x, y, z\}$ qui sera ajoutée à la matrice population initiale qui contient les variables $\{age, genre\}$. Une suite peut aboutir à plusieurs variables d'intérêt, et plusieurs suites peuvent être élaborées au cours d'un exercice. La partie 3.4.2 aborde les raisons du recours à plusieurs suites.

La détermination de la ou des suite(s) de variables constitue l'un des choix de modélisation décisifs d'un exercice. En effet, elle définit les attributs et pratiques de la population qui sont effectivement décrites par le système représenté (p. ex. l'âge, la catégorie socioprofessionnelle, la distance annuelle parcourue). Elle spécifie par voie de conséquence la sensibilité du système aux changements induits par les scénarios envisagés. Par exemple, la description de l'âge rendra le système sensible à une modification de la structure des âges (p. ex. vieillissement de la population). Enfin, elle introduit une certaine « vision du monde » dans le modèle. En effet, il s'agit de fixer les variables (attributs, pratiques) qui surdéterminent les autres (attributs, pratiques), ce qui est fixé de manière plutôt exogène ou qui est plutôt déterminé par le système. Par exemple, lorsque l'âge est choisi comme variable initiale, cela signifie que l'on considère que les comportements démographiques ne sont pas influencés par des changements d'autres variables du système (p. ex. revenus, catégories socioprofessionnelles)⁸⁰. En revanche, l'âge (et donc le vieillissement de la population) influencera toutes les caractéristiques et pratiques décrites par la suite de variables.

Le choix de la ou des suites de variables fait l'objet d'un travail préparatoire lors de la réalisation d'un exercice de modélisation prospective. Notons qu'il peut également s'appuyer sur les enseignements d'un exercice précédent et être remobilisé pour un exercice ultérieur. Le travail préparatoire comporte une démarche d'analyse systématique des corrélations. Celle-ci consiste à construire les arbres de décision des variables à expliquer se situant en bout de chaîne, c'est-à-dire celles qui permettent de caractériser les usages énergétiques (p. ex. distance parcourue par an par un individu, surface de logement dont il dispose), afin d'identifier les variables les plus influentes, puis de faire de même pour ces variables influentes de *premier ordre* (p. ex. type d'unité urbaine de l'habitat, revenus de la

⁷⁹ Pour donner une illustration concrète de variable finale, si l'indicateur souhaité est le nombre de déplacements effectués annuellement par l'ensemble de la population, la dernière variable ajoutée sera une variable renseignant le nombre de déplacements par personne par an.

⁸⁰ Notons toutefois que des liens qualitatifs peuvent être introduits par la formulation des hypothèses de changements.

personne de référence), ce qui permet d'identifier les variables influentes de *deuxième ordre* (p. ex. situation de l'individu, âge de la personne de référence du ménage). Cet exercice est renouvelé pour les variables les plus influentes de deuxième ordre (qui peuvent aussi figurer parmi les variables influentes de premier ordre), puis pour celles de troisième ordre, et ainsi de suite. Ce travail exploratoire permet d'identifier et de classer les variables les plus régulièrement influentes, puis de procéder à une élimination sélective guidée par une série de critères tenant compte des enjeux de modélisation (p. ex. temps de simulation raisonnable, force des corrélations entre variables).

Le premier critère de sélection est le pouvoir explicatif des variables, c'est-à-dire l'influence des variables explicatives sur les variables à expliquer. Avec la méthode employée (les arbres de régression), ce critère d'ordre statistique est le résultat de la volonté d'aboutir aux segmentations de la population les plus significatives, c'est-à-dire celles qui maximisent à la fois l'hétérogénéité des pratiques intergroupes et l'homogénéité intragroupe. L'application de ce critère dans notre approche comporte néanmoins une particularité : il s'agit ici d'un critère global, car les variables peuvent apparaître dans plusieurs arbres dans des ordres différents et jouent tour à tour les rôles de variables explicatives et de variables à expliquer. Le deuxième critère est la capacité des variables à rendre sensible le système aux changements envisagés. Ce critère est appliqué plutôt sous la forme d'une vérification : il s'agit de s'assurer de la capacité des variables retenues à rendre compte de changements possibles sur les différentes dimensions des modes de vie ciblées (p. ex. une variable capable de représenter la distribution des revenus si les revenus sont modifiés). Ce critère s'applique en particulier lorsque de premiers scénarios ont été esquissés de manière qualitative. Toutefois, si la variable n'a que très peu d'influence sur les autres variables, elle peut ne pas être retenue, l'hypothèse de changements n'a alors pas d'influence sur les résultats. Le troisième critère est la disponibilité des variables dans les différentes enquêtes : l'approche que nous mettons en œuvre implique de s'appuyer sur l'analyse de plusieurs enquêtes. Selon la succession de variables, il peut donc être essentiel de retenir des variables communes à différentes enquêtes. Dans les faits, ce critère conduit – lorsque deux variables proches sont candidates – à privilégier celle qui est utilisée dans le plus grand nombre d'enquêtes, même dans le cas où son pouvoir explicatif est légèrement inférieur. Le quatrième critère est la limitation du nombre de variables et de modalités afin de contenir le temps de calcul nécessaire, proportionnel au nombre de lignes des matrices⁸¹ (cf. 3.4.2). La principale modalité d'application de ce critère consiste à éviter de sélectionner plusieurs variables portant une information équivalente ou proche. D'autres modalités d'application de ce dernier critère peuvent être retenues en complément, par exemple le regroupement de classes ou des arbitrages entre variables.

Une fois les variables sélectionnées, leur ordonnancement répond à deux logiques principales. La première est celle d'une certaine *hiérarchie* des décisions qui conduit à placer

⁸¹ Rappelons que le nombre de lignes est caractéristique de la finesse de la représentation de la diversité de la population et croît avec le nombre de variables (potentiellement de manière exponentielle).

en amont les variables les plus structurelles, qui correspondent généralement aux dimensions des modes de vie à portée annuelle à pluriannuelle de notre cadre conceptuel. Cette logique n'est toutefois pas dénuée de subjectivité. La seconde est la disponibilité des variables dans les différentes enquêtes. Les variables présentes dans une seule enquête se situeront plutôt en bout de chaîne et ne peuvent *a priori* précéder que d'autres variables de la même enquête.

b) Exemple d'application

Nous proposons ci-dessous un exemple de préparation d'une suite de variables pour l'obtention de la variable « surface de logement par personne » disponible dans les enquêtes logement. Pour une présentation allégée, nous intégrons dans le *pool* de départ seulement six variables potentiellement explicatives : la taille du ménage, le type de logement (deux classes), la localisation du ménage (sept classes de taille d'unité urbaine et une classe pour les communes rurales), la catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence (huit classes), la situation de cette personne (six classes) et la vie en couple ou non de la personne de référence. Le Tableau 20 restitue le résultat de l'analyse systématique des variables à l'aide d'arbres de décision en classant les variables par pouvoir explicatif.

Tableau 20 : Restitution des résultats des arbres de décisions construits pour la variable à expliquer et les six variables explicatives. Abréviations : PR = personne de référence ; CSP = catégorie socioprofessionnelle. À partir des données de l'enquête logement 2006⁸².

Pouvoir explicatif	Surface par personne	Taille du ménage	Type de logement	CSP de la PR	Localisation du ménage	PR en couple	Situation de la PR
Majeur	Taille du ménage	PR en couple	Localisation du ménage	Situation de la PR	CSP de la PR	Taille du ménage	CSP de la PR
Intermédiaire	Type de logement	Situation de la PR	PR en couple	Localisation du ménage	Type de logement	CSP de la PR	
Mineur	CSP de la PR	Type de logement, CSP de la PR	CSP de la PR, situation de la PR	Type de logement, PR en couple	Situation de la PR	Situation de la PR, type de logement	PR en couple, taille du ménage, type de logement, localisation du ménage

Ici la taille du ménage et le type de logement sont des variables à fort pouvoir explicatif pour la variable d'intérêt. La vie en couple de la personne de référence intervient comme une variable explicative pour ces deux variables, et la localisation du ménage est une variable essentielle pour expliquer le type de logement. La localisation du ménage est elle-même largement expliquée par la catégorie socioprofessionnelle du ménage. Cette dernière est aussi une variable à pouvoir explicatif faible pour plusieurs variables, dont la variable cible.

⁸² Nous avons ici utilisé les données d'une seule enquête. Nous utilisons l'enquête la plus pertinente pour chaque variable, c'est-à-dire celle contenant le plus grand échantillon et les pondérations les plus adaptées à l'étude d'une variable.

Dans cet exemple, les scénarios envisagés prévoient des changements de pratiques de cohabitation (taille du ménage, vie en couple) et de la localisation des ménages. Par ailleurs, pour les besoins de la modélisation nous cherchons à réduire au minimum le nombre de variables. Plusieurs choix peuvent guider l'élaboration de la suite. Tout d'abord, en tant que variable structurante de l'ensemble et principalement déterminée par une variable d'une même famille, la taille du ménage sera la variable de départ. La variable relative à la vie en couple de la personne de référence perd alors sa principale utilité. Étant en outre aussi relative à la composition du ménage, elle est finalement écartée de la suite. La situation de la personne de référence est en concurrence avec la catégorie socioprofessionnelle (variables relativement proches) mais apparaît comme moins explicative. Elle est également écartée. En reconstruisant les arbres sans cette variable, nous constatons que la variable « situation de la personne de référence » est généralement substituée directement dans les arbres par la catégorie socioprofessionnelle.

La suite finalement proposée est représentée par la Figure 28. Notons que la catégorie socioprofessionnelle est *a priori* peu déterminée par la taille du ménage. Si cela a pour conséquence de générer une distribution de catégories socioprofessionnelles aberrantes, deux possibilités peuvent être envisagées : l'une est de contrôler la distribution de ces catégories en modifiant sa matrice de corrélations, l'autre est d'ajouter des variables intermédiaires servant l'ajout de cette variable, variables qui peuvent ensuite être retirées pour éviter d'accroître excessivement la taille de la matrice population.

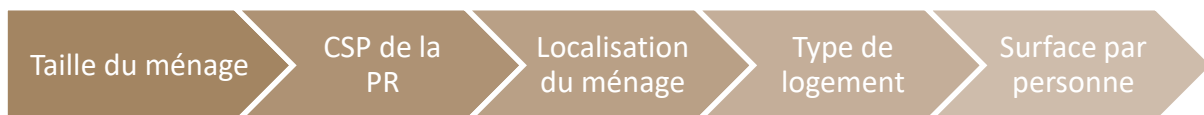


Figure 28 : Suite de variables retenue pour l'exemple présenté.

3.2.4 Conclusion

Nous avons vu dans cette section que le principe de base du processus de simulation consiste à partir d'une matrice population simple et à l'enrichir en ajoutant des variables jusqu'à ce que la matrice population contienne les variables d'intérêt. L'ajout de variables s'effectue par le biais de matrices de corrélations qui consignent une information relative aux relations de cette variable avec les variables présentes dans la matrice population à laquelle elle sera ajoutée (Figure 29).

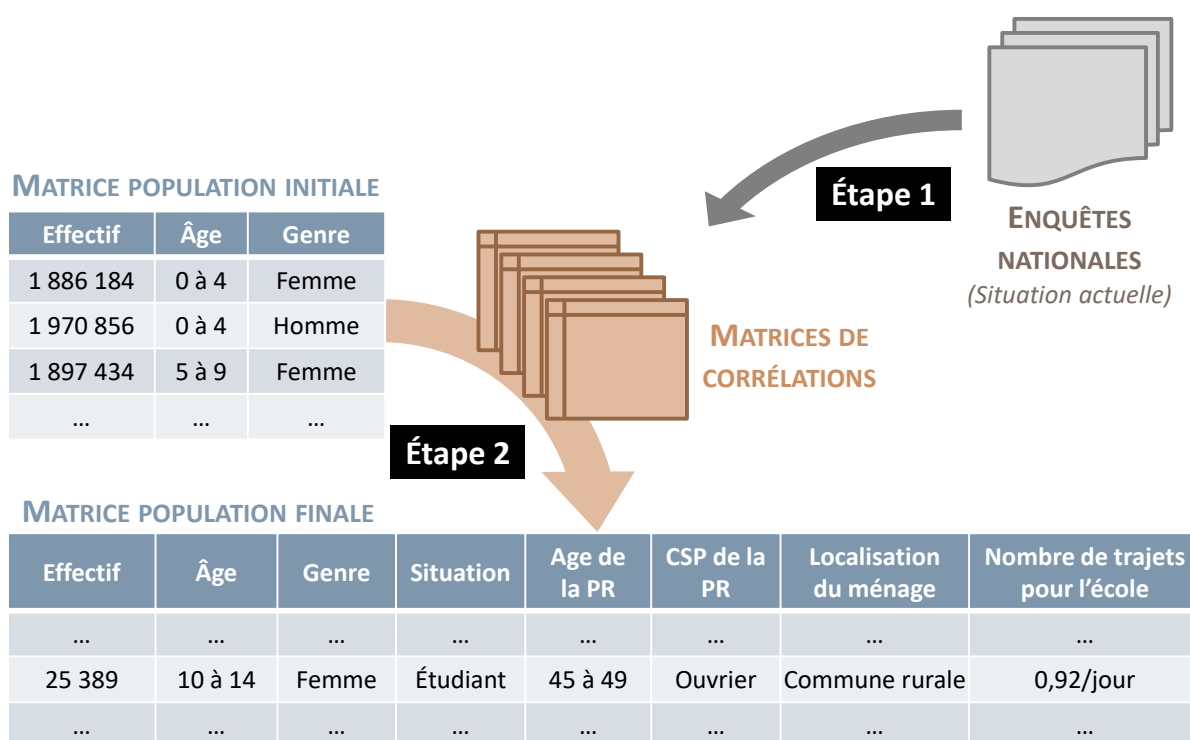


Figure 29 : Représentation synthétique du principe de base de la simulation.

Nous avons vu que ces matrices de corrélations sont construites à partir des données des enquêtes nationales à l'aide d'une méthode statistique : les arbres de décision. Cette méthode permet de répondre à notre problème qui consiste à prédire la valeur d'une variable pour les individus de la matrice population. Elle est particulièrement appropriée à notre contexte dans la mesure où nous avons affaire à des jeux de données relativement grands qui contiennent des variables aussi bien qualitatives que quantitatives.

Enfin, nous avons vu que l'un des enjeux de ce processus de simulation est de définir la suite de variables à ajouter à la matrice population initiale. Cette suite détermine tout d'abord la cohérence statistique de la simulation. Elle influence aussi directement les temps de calcul nécessaire à une simulation. Mais surtout, c'est cette suite de variables qui conditionne la sensibilité du modèle à des changements de modes de vie. Ainsi les résultats de simulation ne seront sensibles à ces changements que si la suite contient les variables caractéristiques aux dimensions qui font l'objet de changement.

La section suivante est justement dédiée à la problématique de l'introduction de changements de modes de vie dans le processus de simulation.

3.3 MODELISATION DE CHANGEMENTS DE MODES DE VIE

Nous avons introduit dans les sections précédentes le processus de simulation et les éléments sur lesquels il repose (matrice population, matrices de corrélations, processus d'enrichissement de la matrice population). Ce processus est statique, puisque l'ajout de variables porte sur un instant donné. En utilisant des matrices corrélations directement construites à partir des enquêtes récentes, ce processus conduit à la simulation de la population actuelle et de ses modes de vie. Dans cette partie, nous présentons la mobilisation de ce processus pour l'élaboration de scénarios envisageant des changements de modes de vie dans le temps.

3.3.1 Principe de l'introduction de changements dans le processus de simulation

Dans le cadre d'une démarche d'élaboration de scénarios, nous mettons en œuvre le processus d'enrichissement de la matrice population pour représenter la population future et ses modes de vie. La simulation de la situation future nécessite d'introduire des modifications au processus par rapport à celui qui conduit à la représentation de la situation actuelle. Ces modifications peuvent porter sur la matrice population de départ et sur les matrices de corrélations utilisées au cours du processus.

Dans le cas où les modifications portent sur le point de départ du processus, c'est-à-dire sur la matrice population de départ, seule la première colonne de la matrice diffèrera (colonne contenant les effectifs de chaque segment), la structure restant identique. Par exemple, si la matrice population de départ est de type pyramide des âges (variables {âge, genre}), les classes d'âge demeureront inchangées et la modification de la taille de la population et de la structure des âges se traduira par des modifications d'effectifs. Dans ce cas précis, nous pourrions utiliser des projections démographiques classiques pour construire une nouvelle matrice population de départ représentant la population future. Cela constituera ainsi le point d'ancrage de la simulation dans une période future. L'Insee et l'Institut national des études démographiques (INED) élaborent régulièrement de telles projections. Nous pouvons également produire des projections originales à partir d'un module représentant les dynamiques de la population française. Quelle que soit le type de matrice population de départ retenu, les conséquences de cette nouvelle structure se propageront automatiquement dans la suite du processus de simulation jusqu'aux indicateurs des usages énergétiques. Ainsi, un processus de simulation où seule la matrice de départ est modifiée pourra par exemple simuler l'influence du vieillissement de la population sur l'agrégat des pratiques à l'échelle de l'ensemble de la population, selon une logique « toutes choses égales par ailleurs ».

Il est aussi possible de modifier les matrices de corrélations utilisées dans le processus de simulation. L'emploi des matrices de corrélations directement issues de l'analyse des pratiques actuelles pour reconstruire une population future revient à considérer que ces pratiques n'évoluent pas pour les segments de population considérés⁸³. Autrement dit, cela équivaut à considérer comme persistants l'ensemble des phénomènes actuels d'ordres biologique, psychologique, culturel, juridique, géographique, démographique ou économique que l'exploitation des enquêtes permet de saisir. *A contrario*, il est possible d'introduire des hypothèses d'évolution des modes de vie par la transformation des matrices de corrélations utilisées dans le processus. Les changements se propagent ensuite automatiquement dans les étapes suivantes d'enrichissement de la matrice population tel que l'illustre la Figure 30 (même si les matrices suivantes ne sont pas transformées), et donc dans la représentation finale de la population et de ses modes de vie.

Dans la partie suivante, nous revenons sur les modalités de transformation des matrices.

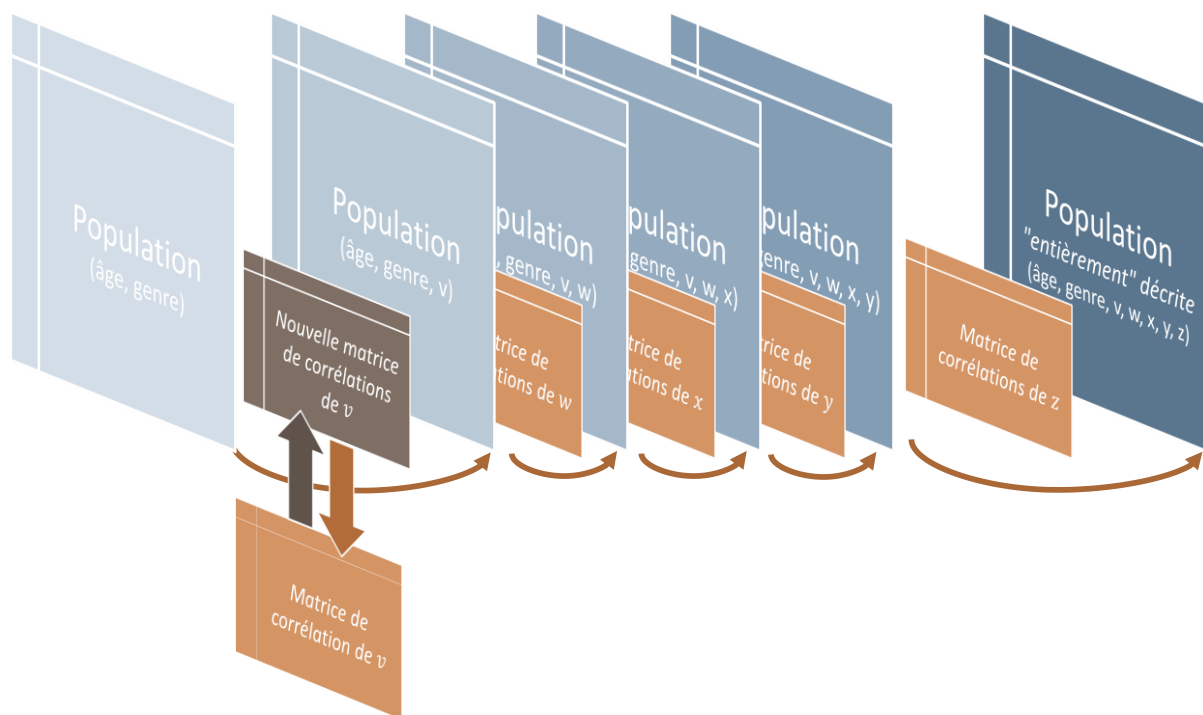


Figure 30 : Représentation de l'introduction d'un changement des modes de vie portant sur la variable v dans le processus en série aboutissant à une représentation détaillée de la population et de ses modes de vie.

⁸³ Elles peuvent néanmoins à l'échelle de l'ensemble de la population si les effectifs relatifs des segments changent, ce que produit le vieillissement de la population par exemple.

3.3.2 Transformation des matrices de corrélations

a) Modalités de transformation de matrices

L'une des étapes clés d'une démarche de prospective consiste à formuler les hypothèses qui définiront les scénarios. C'est par le biais de ces hypothèses que différentes options sont envisagées pour les variables du système considéré, dans la continuité des tendances existantes ou non (pour des exemples d'hypothèses, voir Tableau 21). Ces hypothèses traduisent une forme d'*intention prospective*, d'esquisse des futurs possibles à explorer. Dans le cadre d'une démarche de type qualitative, ces hypothèses sont principalement exprimées textuellement, tout en étant parfois assorties d'indicateurs quantitatifs. Dans le cadre de la démarche que nous proposons, elles devront en plus être transcrites numériquement lors d'une étape de transformation des matrices de corrélations. Cette transformation de matrices de corrélations constitue un enjeu de première importance puisqu'il s'agit du moyen par lequel sont introduits les changements dans le système représenté. Plusieurs modalités de transformations sont envisageables, en fonction du format de formulation de l'hypothèse chiffrée et de sa temporalité.

Tableau 21 : Exemples d'hypothèses contrastées pour deux variables relatives aux modes de vie (variables à l'échelle de la population).

Variables	Hypothèse 1	Hypothèse 2	Hypothèse 3
Localisation des ménages	<i>Statu quo</i>	Poursuite rapide de la périurbanisation	Densification des grands centres urbains
Régime alimentaire	<i>Statu quo</i>	Augmentation significative de la part des régimes végétariens et végétaliens	Emergence et diffusion de nouveaux régimes (à base d'insectes, nouvelles technologies)

Pour une variable donnée (p. ex. « type de régime alimentaire »), les hypothèses quantitatives peuvent être formulées sous différents formats. Le plus direct est de construire une matrice avec de nouvelles valeurs des coefficients. Toutefois, le format singulier des matrices de corrélations, où les pratiques sont décrites par segments de la population, en font un objet peu commode à manipuler, car il s'éloigne des formats de connaissance habituels. Pour surmonter cette difficulté, il est possible de formuler les hypothèses à l'échelle de la population entière, puis de déterminer une matrice qui permet d'y parvenir (Équation 2). Par exemple, plutôt que de formuler une hypothèse sur les régimes alimentaires de chacun des segments de la matrice, l'hypothèse est formulée à l'échelle de la population (p. ex. « 30% de la population est végétarienne à l'horizon 2050, 30% consomme régulièrement de la viande et 40% en a une consommation

occasionnelle »). Puisqu'il existe une infinité de solutions permettant d'atteindre cette cible, la matrice retenue par défaut respectera au mieux les particularités relatives des pratiques actuelles de chaque segment.

Équation 2

Nous considérons une variable catégorielle nommée $\mathbf{z}$ dont l'ensemble des modalités est noté $\{\mathbf{z}_k\}_{k \in \llbracket 1, K \rrbracket}$. L'arbre de régression de cette variable conduit à distinguer I segments notés $\{\boldsymbol{\varphi}_i\}_{i \in \llbracket 1, I \rrbracket}$. Les pratiques d'un segment $\boldsymbol{\varphi}_i$ à la période $\mathbf{t}$ sont caractérisées par un ensemble de probabilités $\{\mathbf{p}_{i,k}(\mathbf{t})\}_{k \in \llbracket 1, K \rrbracket}$ où $\mathbf{p}_{i,k}(\mathbf{t})$ est la probabilité pour un individu du segment i d'adopter la pratique $\mathbf{z}_k$ à la période $\mathbf{t}$ (avec $\forall \mathbf{t} \text{ et } \forall i \in \llbracket 1, I \rrbracket, \sum_{k \in \llbracket 1, K \rrbracket} \mathbf{p}_{i,k}(\mathbf{t}) = \mathbf{1}$, les pratiques étant exclusives et exhaustives).

Nommée $\mathbf{P}_0$, la matrice de corrélations de $\mathbf{z}$ à l'état initial (période $\mathbf{t}_0$) peut alors être notée $(\mathbf{p}_{i,k}(\mathbf{t}_0))_{i \in \llbracket 1, I \rrbracket, k \in \llbracket 1, K \rrbracket}$, ou de manière simplifiée $(\mathbf{p}_{i,k}(\mathbf{t}_0))$. $\mathbf{p}_{i,k}(\mathbf{t}_0)$ est appelé le terme général de la matrice $\mathbf{P}_0$.

La construction d'une nouvelle matrice $\mathbf{P}(\mathbf{t})$ décrivant les pratiques des segments $\{\boldsymbol{\varphi}_i\}_{i \in \llbracket 1, I \rrbracket}$ à la période $\mathbf{t}$ consiste à décrire :

- soit directement la matrice à la période $\mathbf{t}$: $\mathbf{P}(\mathbf{t}) = (\mathbf{p}_{i,k}(\mathbf{t}))_{i \in \llbracket 1, I \rrbracket, k \in \llbracket 1, K \rrbracket}$;
- soit le vecteur résultat $\mathbf{v}(\mathbf{t})$ qui permettra de calculer $\mathbf{P}(\mathbf{t})$ tel que $\boldsymbol{\Phi}(\mathbf{t})\mathbf{P}(\mathbf{t}) \rightarrow \mathbf{v}(\mathbf{t})$, avec $\boldsymbol{\Phi}$ la matrice population utilisée pour l'ajout de la variable $\mathbf{z}$.

Pour une variable donnée, les changements peuvent également être pensés et décrits selon différentes temporalités : (1) à partir de l'état final du système, c'est-à-dire en termes de résultat des changements à l'horizon temporel considéré dans l'exercice de prospective (p. ex. « 30% de la population est végétarienne à l'horizon 2050 ») ou (2) à partir de dynamiques de changements (p. ex. chaque année, 100 000 Français supplémentaires adoptent un régime végétarien). Dans cet esprit, deux modalités temporelles peuvent être envisagées pour la transformation des matrices (Figure 31, Équation 3) :

- la formulation d'hypothèses sur l'état du système à l'horizon temporel final considéré (t_s sur la figure), et ainsi proposer une matrice transformée pour cet horizon. Cette modalité s'intègre plutôt dans une démarche de type *backcasting* en construisant ensuite les trajectoires permettant d'atteindre l'état final, c'est-à-dire en déterminant les états intermédiaires de la matrice ;
- la formulation d'hypothèses sur les dynamiques d'évolution temporelle du système. Il s'agit alors de déterminer la fonction de variation de la matrice (Équation 3). Cette démarche de type *forecasting* permettra de construire les matrices de corrélations aux différents pas de temps retenus, jusqu'à l'état final de la matrice.

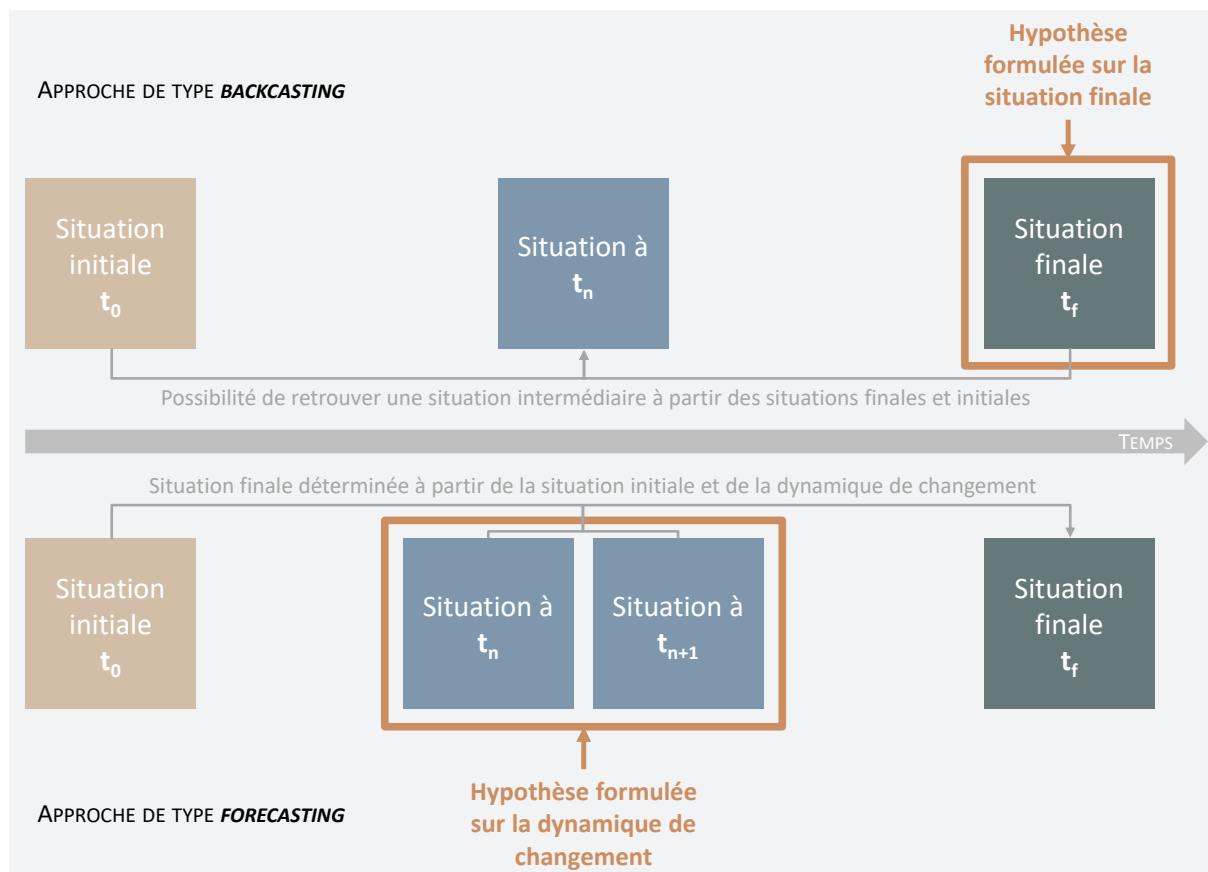


Figure 31 : Représentation des modalités de formulation des hypothèses selon l'approche retenue pour la démarche prospective

Équation 3

Nous reprenons ici le contexte de l'Équation 2.

En se reportant à la Figure 31, le problème de transformation de matrice posé consiste donc à décrire :

- soit directement la matrice à la période t_s : $P(t_s) = (p_{i,k}(t_s))_{i \in \llbracket 1, I \rrbracket, k \in \llbracket 1, K \rrbracket}$;
- soit la fonction de variation $\frac{dP(t)}{dt}$ ($\forall t \in [t_0, t_s]$), qui peut par exemple être une constante (cas de changements linéaires). La connaissance de P_0 permet alors de décrire $P(t)$ sur l'intervalle $[t_0, t_s]$.

b) Documenter la transformation de matrices

Les hypothèses chiffrées – qu'elles portent sur une matrice ou sur des indicateurs à l'échelle de la population, qu'elles portent sur un état final ou des dynamiques de changements – peuvent être définies plus ou moins arbitrairement. Dans un cas extrême, il est possible de définir de nouvelles valeurs (de coefficients des matrices ou de distribution) uniquement à

partir des valeurs observées actuellement, sans connaissance ou expertise complémentaire⁸⁴. Le simple fait de rechercher le contraste par rapport aux pratiques actuelles peut par exemple être un argument suffisant aux choix des nouvelles valeurs. Dans ce cas, la définition des hypothèses a l'inconvénient de ne pas offrir de gages de plausibilité : les valeurs proposées dépassent-elles des barrières « infranchissables » (limites physiques, sociales, juridiques, etc.) ? Ces hypothèses ne s'affranchissent-elles pas de l'inertie du système ? Les vitesses de transition induites ne sont-elles pas exagérées ?

Quel que soit le niveau d'expertise disponible, il est possible de documenter la transformation des matrices, de construire des points de repères en observant les situations actuelles et passées, dans la logique des pratiques adoptées en prospective (analyse des tendances passées, identification de signaux faibles). La connaissance sera produite dans un format similaire à celui dans lequel seront formulées les hypothèses (p. ex. sous la forme de matrice de corrélations avec la même segmentation de la population). Ci-dessous, nous proposons trois moyens d'établir des points de repères en vue de la transformation de matrice.

Le premier moyen consiste à porter un *regard introspectif*, c'est-à-dire à observer en détail les pratiques actuelles de groupes de population ciblés afin de s'en inspirer pour proposer des transformations de matrices de corrélations. Cette attitude part du principe que la société actuelle porte en elle les germes des changements à venir. C'est le principe qui régit la recherche de signaux faibles dans une démarche prospective. La mise en application de ce principe en vue de la transformation de matrices peut consister à sélectionner un segment de population et à le considérer comme source d'inspiration pour les autres segments (Équation 4). Elle peut également nécessiter des analyses statistiques complémentaires des enquêtes disponibles en ciblant des groupes de population hors segmentation (p. ex. analyse des déplacements de la population ayant recours au télétravail pour envisager une extension de cette pratique ; analyse de l'usage du temps de salariés à temps partiel pour envisager une hypothèse de réduction généralisée du temps de travail rémunéré). Elle pourrait enfin s'appuyer sur la réalisation d'une enquête spécifique auprès d'un groupe d'individus sélectionnés pour leurs pratiques singulières (p. ex. pratiques de sobriété, pratiques d'hyper-connectivité). L'un des exercices décrit dans la partie 2.1.3 illustre cette idée. La segmentation de la population proposée (Sinus-Milieus[®]) décrivait notamment des groupes sociaux avant-gardistes, expérimentateurs qui sont ceux qui adoptent le plus rapidement de nouvelles pratiques, réagissent le plus vite aux changements ou en étant à l'origine (à droite du cadran sur la Figure 12, p. 82).

⁸⁴ Il est toutefois rare de ne pouvoir s'appuyer sur aucune connaissance ou expertise – même non conscientisée – des indicateurs manipulés, puisqu'ils se rapportent à des pratiques de la vie quotidienne.

Équation 4

Nous reprenons ici le contexte de l'Équation 2.

Les pratiques du segment de population $\varphi(\mathbf{z})_m$ sont considérées comme source d'inspiration pour les autres segments. La transformation de la matrice consiste alors à proposer une fonction de transformation des coefficients de la matrice nommée $\mathbf{h}$ de type :

$$\forall i \in \llbracket 1; I \rrbracket, \forall k \in \llbracket 1; K \rrbracket, \quad p_{i,k}(t) = \mathbf{h}[p_{i,k}(t_0), p_{m,k}(t_0), t]$$

Cette fonction permettra de décrire intégralement la nouvelle matrice.

Le deuxième moyen consiste à adopter un *regard rétrospectif* puis à s'appuyer sur la connaissance des tendances passées pour envisager les changements futurs. L'analyse de ces tendances peut d'une part donner une indication de l'inertie des phénomènes en jeu et des vitesses de changements, et d'autre part fournir des valeurs de référence pour des situations connues qui permettront de situer les changements. Cette analyse sera particulièrement adaptée à la formulation d'hypothèses sur les dynamiques de changement (approche de type *forecasting*, voir Équation 5). Elle nécessite en revanche d'exploiter de nouveaux jeux de données (éditions antérieures des enquêtes) avec, dans certains cas, des difficultés liées aux discontinuités des modalités d'enquête.

Équation 5

Nous reprenons ici le contexte de l'Équation 2.

Alors que les enquêtes correspondant à la période actuelle fournissent la matrice relative à la situation initiale $\mathbf{P}_0$, l'analyse rétrospective à partir d'une enquête antérieure (période t_a) permet de décrire les pratiques à cette période ($p_{i,k}(t_a)$).

Sur la période $[t_a, t_0]$, la vitesse moyenne d'évolution des coefficients de la matrice s'écrit donc :

$$\forall i \in \llbracket 1, I \rrbracket, \forall k \in \llbracket 1, K \rrbracket, \quad v_{i,k} = \frac{p_{i,k}(t_a) - p_{i,k}(t_0)}{t_a - t_0}$$

Cette vitesse moyenne⁸⁵ tout comme les évolutions entre les deux périodes pourront constituer des valeurs de référence pour la formulation d'hypothèses sur les dynamiques de changements, hypothèses que l'on peut écrire comme la fonction $\mathbf{g}$ ci-dessous :

$$\forall t \in [t_0, t_s], \quad \frac{dp_{i,k}(t)}{dt} = \mathbf{g}\left(\frac{dp_{i,k}}{dt}, p_{i,k}(t_a), p_{i,k}(t_0), t\right)$$

Le troisième moyen consiste à porter le *regard ailleurs*, il s'agit de s'inspirer de la situation sur des territoires non couverts par les enquêtes (p. ex. hors France), en particulier lorsque ces territoires et les modes de vie correspondants ont inspiré l'exercice de scénarisation. La mise en œuvre de cette approche implique néanmoins l'analyse de nouveaux jeux de

⁸⁵ Ou les vitesses moyennes observées à différentes périodes si l'on exploite plusieurs enquêtes antérieures.

données et nécessite l'existence de données comparables sur les territoires ciblés. Contrairement aux deux précédentes, elle n'a pas été expérimentée dans le cadre de nos travaux.

La présentation de ces trois moyens de « documenter » la transformation de matrices démontre également que cette étape peut demander des niveaux d'effort radicalement différents (Tableau 22). Etant donné leur caractère déterminant sur les résultats, ces transformations de matrice devront faire l'objet de transparence lors d'exercices de scénarisation, comme dans tout exercice requérant la formulation d'hypothèses. Dans la pratique, nous avons également pris l'habitude de conserver les matrices transformées à chaque exercice. Elles peuvent elles-mêmes être réutilisées ou constituer de nouveaux points de référence pour de futures transformations de matrices. Deux exemples concrets de transformation sont présentés en détail dans les deux parties qui suivent (0 et 3.3.4). Le chapitre 3 sera également l'occasion de décrire plusieurs transformations dans le cadre d'un exercice de scénarisation.

Tableau 22 : Récapitulatif de quatre stratégies de documentation de la transformation de matrices

	Non documenté	« Regard introspectif »	« Regard rétrospectif »	« Regard ailleurs »
Moteur	Guidé par une intention	Guidé par une intention et des points de repères		
Point de repère (profil de pratique modèle)	Non (ou la population actuelle)	Un groupe d'individus de la population actuelle étudiée	La population étudiée à une période antérieure	Une population différente de la population étudiée
Besoin en données	Non	Éventuelles analyses complémentaires (même enquête ou nouvelles enquêtes)	Analyses d'enquêtes antérieures	Analyses d'enquêtes sur d'autres populations
Niveau d'effort	*	De * à ***	***	***

3.3.3 Exemple de transformation de matrice de type *backcasting* : évolution des aspirations des ménages en termes de localisation

a) Introduction

Les variables de localisation de l'habitat désignent le type d'espace dans lequel se situe la résidence principale des ménages (par exemple : ville centre, banlieue, périurbain, rural). Elle résulte d'un arbitrage des ménages entre différents critères : commodité d'accès aux services et au lieu de travail, perception des aménités et de la qualité environnementale, types de loisirs pratiqués (par exemple : loisirs familiaux, loisirs centrés sur la nature, vie citadine), type de voisinage (Bonvalet, 2001; Castel, 2006). L'état de la localisation de l'habitat sur un territoire à un instant donné (passé, présent, futur) résulte d'une histoire locale faisant intervenir de multiples facteurs : aspirations des ménages et modes de vie des individus, politiques d'aménagement, désir d'accession à la propriété, contexte économique (niveaux de revenus, prix du foncier), démographiques ou encore géographiques (relief, fleuve, urbanisation environnante).

Au cours du XX^{ème} siècle, la répartition de la population dans les différents types d'espace a profondément évolué, passant d'une quasi-égale répartition de la population entre espaces urbain et rural en 1936 à une population à 74% urbaine en 1990 (Figure 32). L'existence d'une telle mutation dans le passé rend plausibles de profondes évolutions de la localisation des ménages dans les décennies à venir. Nous proposons ici d'étudier la manière dont de telles hypothèses se traduisent en une transformation de matrice de corrélations.

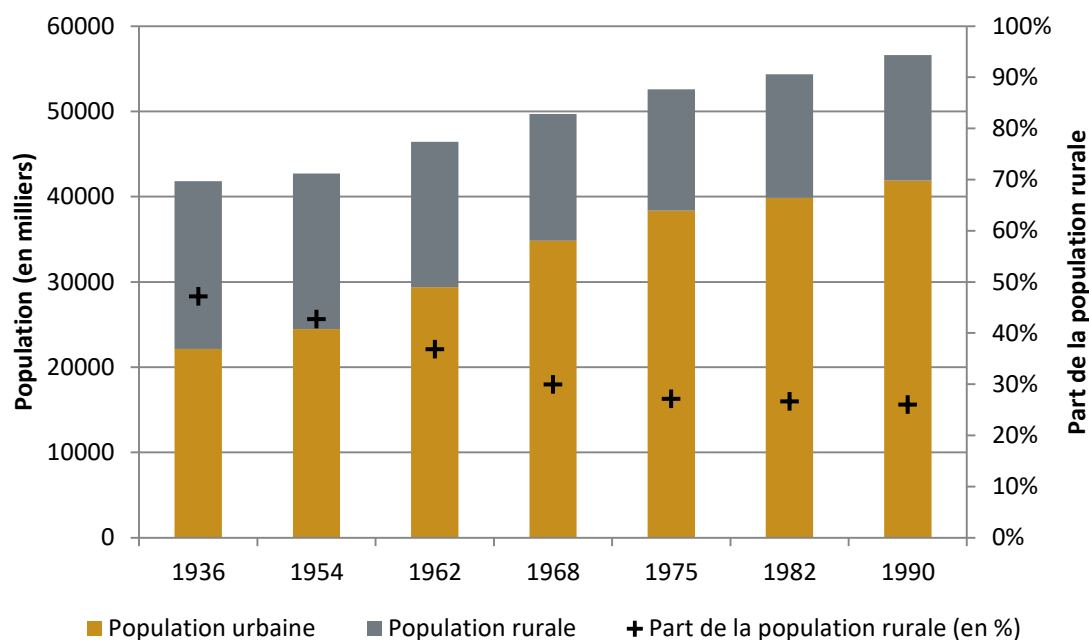


Figure 32 : Evolution de la répartition de la population de France métropolitaine urbaine et rurale entre 1936 et 1990. Source : Insee, Ined.

La méthode que nous proposons d'employer ici consiste à s'appuyer sur une élaboration préalable de scénarios à l'horizon temporel final de la prospective (~2050) et de transcrire ces scénarios en transformations de matrices. Plutôt que construire de nouveaux scénarios, nous reprenons pour cet exemple des hypothèses de changements issues des scénarios du projet PROMOV.

b) Principe de la transformation

La démarche prospective du projet PROMOV a été menée selon une approche qualitative. Les hypothèses ont donc été formulées essentiellement de manière narrative en se basant sur une analyse rétrospective, le recensement de signaux faibles et l'identification de possibles ruptures ainsi qu'en veillant à formuler des hypothèses contrastées et construire des scénarios cohérents.

Tableau 23 : Extraction des hypothèses de localisation des ménages dans les cinq scénarios du projet PROMOV

Intitulé du scénario	Extraits décrivant l'hypothèse de localisation de la population
Société consumérisme vert	« L'accroissement démographique se fait au bénéfice des métropoles. Le taux d'urbanisation s'est stabilisé autour de 80 %. Les aires urbaines sont entourées de zones de loisirs et d'agriculture pour tenter de limiter la portée des déplacements. Mais l'étalement urbain n'est pas jugulé. La population périurbaine poursuit sa croissance au détriment des villes centre. » (Emelianoff et al., 2013, p. 45)
Société individu augmenté	« L'urbanisation s'intensifie et atteint 95 %. Les villes sont des mégapoles interconnectées, entourées de zones d'agriculture et d'industries. (...) Au-delà, le milieu rural est largement déserté. » (Emelianoff et al., 2013, p. 51)
Société duale et sobriété plurielle	« Le fait marquant est le repeuplement des villes petites et moyennes ainsi que de l'espace rural, qui abrite à lui seul un quart de la population française. » (Emelianoff et al., 2013, p. 57)
Société écocitoyenneté	« Les opérations de resserrement urbain en première couronne accompagnent les tendances spontanées liées au vieillissement de la population, qui cherche à se rapprocher des services et centres sociaux. La valorisation de la vie collective conduit plus généralement à apprécier la proximité urbaine. » (Emelianoff et al., 2013, p. 61)

Société âge de la connaissance	« Le moteur du vivre ensemble étant l'échange de connaissances, la population vit à 85 % en milieu urbain, surtout dans des métropoles. Les échanges sociaux et culturels sont permanents sur la toile mais aussi à l'échelle du quartier, réinvesti. De multiples centralités culturelles se sont développées en ville. Les milieux périurbains se sont densifiés, diversifiés et rétractés, en se transformant pour la plupart en tissus urbains. Ce sont ces secteurs, progressivement irrigués par les transports en commun, qui ont subi les métamorphoses les plus fortes au sein des métropoles. » (Emelianoff et al., 2013, p. 70)

La transformation de matrices passe dans ce cas par une interprétation du récit. Celui-ci contient des indications quantitatives (p. ex. « L'urbanisation s'intensifie et atteint 95 % » (Emelianoff et al., 2013, p. 51)) mais elles ne fournissent pas une représentation complète de la situation future. D'autres informations de nature qualitative sont également fournies.

La variable sur laquelle nous proposons de travailler ici est la tranche de taille de l'unité urbaine, qui comporte neuf classes dans les enquêtes de l'Insee. La notion d'unité urbaine est une catégorie statistique dans laquelle sont classés des territoires répondant à des critères de continuité du bâti et le nombre d'habitants ("Insee - Définitions, méthodes et qualité - Unité urbaine," n.d.). C'est notamment cette notion qui permet de classer la population comme rurale ou urbaine. Elle constitue également un indicateur permettant d'approcher la structure physique, démographique et géographique d'un territoire. Ces propriétés en font une variable d'intérêt pour nos analyses, permettant de décrire et représenter la distribution de la population totale selon différents types d'espaces urbains ou rural.

Tableau 24 : Modalités de la variable "tranche de taille de l'unité urbaine"

Code	Libellé
0	Commune rurale
1	Unité urbaine de moins de 5.000 habitants
2	Unité urbaine de 5.000 à 9.999 habitants
3	Unité urbaine de 10.000 à 19.999 habitants
4	Unité urbaine de 20.000 à 49.999 habitants
5	Unité urbaine de 50.000 à 99.999 habitants
6	Unité urbaine de 100.000 à 199.999 habitants
7	Unité urbaine de 200.000 à 1.999.999 habitants
8	Unité urbaine de Paris

c) Mise en œuvre

Dans cette illustration, nous traitons le cas de l'hypothèse formulée dans la vision « société individu augmenté ». Les deux principales indications fournies par le texte sont d'une part une désertion de la population rurale, dont la population atteint 5% et un attrait fort pour les très grandes aires urbaines. Le texte parle même de mégapoles, terme qui désigne de

très grandes aires urbaines (p. ex. aires urbaines de 10 millions d’habitants et plus selon la définition de l’Organisation des Nations Unies).

Pour traduire l’esprit de cette hypothèse dans notre représentation quantitative de cette population et de ses modes de vie, la matrice d’ajout de la variable « tranche de taille de l’unité urbaine » devra permettre d’atteindre une distribution conforme à cette description. Pour en juger, nous nous basons sur la distribution de la population qui résulte de l’utilisation de la matrice transformée (il est donc nécessaire de disposer de la matrice population à partir de laquelle sera utilisée la matrice de corrélations que l’on souhaite transformer).

Dans le cas présent, nous disposons d’une valeur cible (5% de population rurale) et d’une tendance lourde : l’attrait, très fort, pour les très grandes unités urbaines (se traduisant par une migration vers ces espaces, et une transformation progressive des grandes unités urbaines en très grandes unités urbaines). La distribution finale que nous retenons est présentée dans la Figure 33. Le changement proposé est radical mais conserve une certaine inertie issue de la distribution actuelle du fait du processus de transformation de matrice.

Tranche de taille d’unité urbaine		2010		2050*
0	Commune rurale	24%	Valeur cible définie →	5%
1	...	6%	Variation... ...différenciée	3%
2		5%		2%
3		5%		2%
4		6%		5%
5		7%		6%
6		6%		7%
7		24%		30%
8	Unité urbaine de Paris	17%	Très forte augmentation →	40%

Figure 33 : Valeurs cibles de distribution de la population après transformation de la matrice pour 2050 d’après l’interprétation de l’hypothèse de la vision « société individu augmenté » du projet PROMOV. A noter que l’horizon 2050 est, selon les auteurs, indicatif et correspond plutôt dans l’esprit du scénario à la fin de siècle.

Concrètement, la matrice finale est obtenue en testant les effets de différentes transformations jusqu’à atteindre la distribution souhaitée. Lorsque celle-ci est atteinte, la matrice qui permet de l’atteindre est retenue en tant que nouvelle matrice de corrélations (Figure 34).

		Tranche de taille de l'unité urbaine (code)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
MATRICE INITIALE	Identifiant du segment	4	0,80	0,05	0,03	0,04	0,02	0,03	0,00	0,03	0,01
		12	0,19	0,07	0,04	0,05	0,07	0,09	0,06	0,25	0,17
		14	0,10	0,06	0,05	0,04	0,06	0,10	0,10	0,29	0,22
		15	0,05	0,02	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,45	0,27
		20	0,31	0,08	0,05	0,06	0,07	0,07	0,05	0,21	0,11
		21	0,26	0,07	0,05	0,06	0,07	0,08	0,06	0,22	0,13
		22	0,26	0,06	0,05	0,04	0,05	0,07	0,05	0,24	0,17
		23	0,17	0,05	0,02	0,03	0,05	0,08	0,06	0,35	0,19
		26	0,15	0,06	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,26	0,32
		27	0,11	0,01	0,02	0,02	0,03	0,05	0,06	0,33	0,37
MATRICE TRANSFORMÉE	Identifiant du segment	4	0,50	0,08	0,04	0,05	0,06	0,08	0,00	0,12	0,06
		12	0,03	0,03	0,02	0,02	0,05	0,07	0,07	0,30	0,41
		14	0,01	0,02	0,02	0,01	0,04	0,07	0,10	0,29	0,44
		15	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,04	0,07	0,39	0,47
		20	0,06	0,04	0,03	0,03	0,07	0,07	0,08	0,31	0,32
		21	0,05	0,03	0,02	0,03	0,07	0,07	0,08	0,30	0,34
		22	0,05	0,03	0,02	0,02	0,04	0,06	0,06	0,29	0,43
		23	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	0,06	0,06	0,38	0,40
		26	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,24	0,60
		27	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,05	0,27	0,61

Lecture : 0,02 = 2% : fréquence d'individus appartenant au segment 26 habitant dans un espace rural (code 0 des tranches de taille d'unité urbaine). Le segment 26 correspond ici aux individus appartenant à un ménage dont la personne de référence est cadre ou profession intellectuelle supérieure et est âgée de 35 à 64 ans.

Figure 34 : État de la matrice initiale et de la matrice après transformation pour la variable "tranche de taille de l'unité urbaine". Source des données pour la matrice initiale : Enquête logement 2006.

Cet exemple illustre les différentes étapes et considérations qu'implique la formulation d'une hypothèse de changement des modes de vie, du choix de la variable qui permettra d'en rendre compte à la proposition d'une matrice transformée. L'hypothèse testée ici envisage une évolution radicale des pratiques qui pourrait interpeller aux vues de l'implantation du parc de logements existants et de sa dynamique d'évolution⁸⁶. Ici, cette hypothèse est toutefois cohérente avec l'image du futur construite par la démarche qualitative, qui autorise ce type de rupture. Le rôle de travaux de modélisation et d'approches quantitatives peut être dans ce cas d'analyser les conditions de réalisations d'un tel scénario, ses implications en termes de vitesse de transition, d'effets induits ou encore de coûts.

⁸⁶ Rappelons que les auteurs considèrent en réalité plutôt la fin du siècle comme horizon temporel de l'exercice plutôt que 2050.

3.3.4 Exemple de transformation de matrices de type *forecasting* : évolution des aspirations des ménages en termes de localisation

a) Introduction

Les choix de localisation résultent d'arbitrages effectués à partir d'une offre de logements, c'est-à-dire de la structure du parc au moment du choix. Or la dynamique du parc de logements est généralement considérée comme possédant une forte inertie. En effet à l'heure actuelle le nombre de logements construits chaque année représente un volume équivalent à environ 1% du parc total. Cette inertie se traduit dans l'évolution de la localisation de l'habitat, que l'on peut en partie observer à travers la variable « tranche de taille d'unité urbaine⁸⁷ » (Tableau 25 et Tableau 26). Les modifications de la taille de population par tranche peuvent résulter soit d'un accroissement de la population dans les communes d'une classe, soit d'une évolution de la classification. À périmètre stable, une évolution de la population peut faire passer une unité urbaine d'une classe à une autre entre deux recensements (les classifications sont ré-établies au moment de chaque recensement). En outre, l'extension urbaine peut transformer une commune rurale en petite unité urbaine (voir le critère de continuité du bâti), l'inclure dans une unité urbaine adjacente (contribuant alors à son extension) ou conduire à la fusion de plusieurs unités. Ces évolutions de classifications rendent alors compte de l'évolution de la structure de peuplement et d'aménagement du territoire.

Tableau 25 : Évolution des parts relatives de la population dans chaque tranche de taille d'unité urbaine entre 1975 et 2013. Source : recensements de la population 1975,1982, 1990, 1999 et 2013.

Year	Population size	Rural Municipality	Urban unit < 5 000	5 000 ≤ Urban unit < 10 000	10 000 ≤ Urban unit < 20 000	20 000 ≤ Urban unit < 50 000	50 000 ≤ Urban unit < 100 000	100 000 ≤ Urban unit < 200 000	Urban unit > 200 000	Urban unit of Paris
1975	52 655 802	27,1%	5,4%	4,9%	4,7%	6,9%	6,7%	8,4%	19,6%	16,2%
1982	54 334 871	26,6%	5,8%	5,4%	4,9%	6,6%	6,8%	7,5%	20,4%	16,0%
1990	56 614 125	26,0%	6,0%	5,5%	4,9%	6,8%	6,5%	6,9%	21,1%	16,5%
1999	58 518 395	24,5%	6,3%	5,5%	5,2%	6,4%	7,1%	5,6%	23,1%	16,5%
2013	63 697 865	23,0%	6,8%	5,7%	4,9%	6,1%	7,2%	5,2%	24,4%	16,6%
Dynamics	+21%	↓	↗	↗	⇒	↘	⇒	↓	↑	⇒

Tableau 26 : Évolution du nombre d'habitants par tranche de taille d'unité urbaine entre 1975 et 2013.

Source: recensements de la population 1975,1982, 1990, 1999 et 2013.

Year	Population size	Rural Municipality	Urban unit < 5 000	5 000 ≤ Urban unit < 10 000	10 000 ≤ Urban unit < 20 000	20 000 ≤ Urban unit < 50 000	50 000 ≤ Urban unit < 100 000	100 000 ≤ Urban unit < 200 000	Urban unit > 200 000	Urban unit of Paris
1982/1975	54 334 871	+1%	+10%	+12%	+8%	-1%	+4%	-8%	+7%	+2%
1990/1982	56 614 125	+2%	+7%	+7%	+4%	+7%	-1%	-5%	+8%	+7%
1999/1990	58 518 395	-3%	+8%	+3%	+10%	-3%	+14%	-16%	+13%	+3%
2013/1999	63 697 865	+2%	+18%	+14%	+4%	+4%	+10%	+1%	+15%	+10%
Dynamics	+21%	⇒ +3%	↑ +51%	↑ +41%	↗ +28%	⇒ +7%	↗ +29%	↓ -25%	↑ +51%	↗ +24%

L'observation des dynamiques d'évolution montre certaines tendances et inerties. Deux types d'espaces connaissent un fort accroissement sur la période 1975-2013 : les grandes

⁸⁷ Variable qui fait l'objet de la transformation dans l'exemple de la partie précédente

unités urbaines (plus de 200 000 habitants) et les petites (moins de 10 000). À l'inverse la population rurale stagne, ce qui est en partie la conséquence de changements de classes (cf. ci-dessus).

Dans cette partie, nous proposons de donner une plus grande importance à ces dynamiques afin de formuler une hypothèse de changement futur. Nous adopterons alors une approche de type *forecasting* pour transformer la matrice relative à la tranche de taille d'unité urbaine en nous basant sur l'analyse des dynamiques passées.

b) Principe de la transformation

La transformation de la matrice dans cette partie se base sur une hypothèse forte visant à rendre compte de l'inertie du parc de logements. Elle consiste à considérer que les *extrema* de vitesses de changements observés au cours des périodes passées constituent des valeurs limites pour les changements futurs. Ce principe est alors appliqué au cadre formel des matrices de corrélations. La population est décomposée en 20 segments issus de l'arbre de décision relatif à la variable localisation (données 2013). Les variables utilisées pour la segmentation sont la catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence du ménage, son âge, le statut d'occupation du logement (propriétaire ou non), la composition du ménage, et l'ancienneté dans le logement actuel. Le détail des variables est disponible en Annexe 7. La segmentation est représentée par le Tableau 27. Les profils de localisation des ménages obtenus à partir de cette segmentation sont représentés par la Figure 38.

Tableau 27 : Détail de la composition des segments. PR = personne de référence.

Groupe (code)	Propriétaire	Catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence	Composition du ménage	Âge de la PR	Ancienneté dans le log.
16	Oui	Agriculteurs exploitants	-	-	-
17	Oui	Ouvriers	-	-	-
36	Oui	Artisans, commerçants et chefs d'entreprise ; Professions intermédiaires ; Employés ; Retraités ; Autres situations	Couples avec ou sans enfants	Moins de 45 ans ou plus de 90	-
74	Oui	Idem	Couples sans enfant	Entre 45 et 89 ans	-
75	Oui	Idem	Couples avec enfant	Idem	-
38	Oui	Idem	Familles monoparentales ; Personnes seules ; Autres situations	-	Plus de 20 ans
39	Oui	Idem	Idem	-	20 ans ou moins
10	Oui	Cadres et professions intellectuelles supérieures	Couples avec ou sans enfants ; Autres situations	-	-
11	Oui	Idem	Familles monoparentales ; Personnes seules	-	-
48	Non	Agriculteurs exploitants ; Artisans, commerçants et chefs d'entreprise ; Ouvriers ; Retraités	Couples avec ou sans enfants	Moins de 30 ans	10 ans ou moins

49	Non	Idem	Familles monoparentales ; Personnes seules ; Autres situations	Idem	Idem
25	Non	Idem	-	30 ans et plus	Idem
13	Non	Idem	-	-	Plus de 10 ans
56	Non	Professions intermédiaires ; Employés ; Autres situations	Couples avec ou sans enfants ; Familles monoparentales	-	10 ans ou moins
57	Non	Idem	Idem	-	Plus de 10 ans
116	Non	Idem	Personnes seules ; Autres situations	45 ans et plus	5 ans ou moins
117	Non	Idem	Idem	Idem	Plus de 5 ans
118	Non	Professions intermédiaires ; Employés	Idem	Moins de 45 ans	-
119	Non	Autres situations	Idem	Idem	-
15	Non	Cadres et professions intellectuelles supérieures	-	-	-

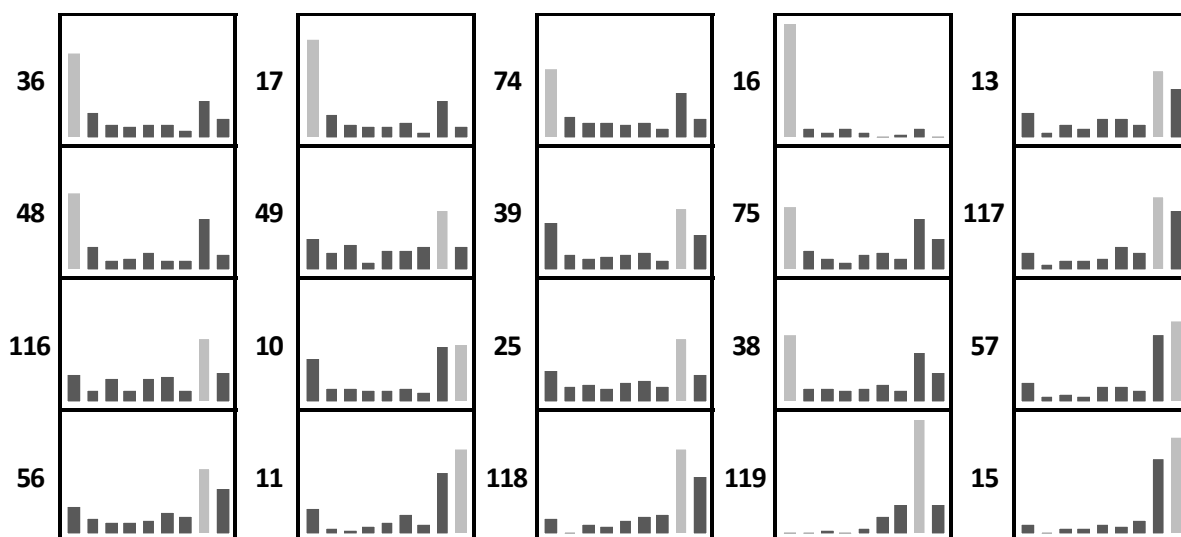


Figure 35: Profils de localisation des ménages en 2013 pour les 20 segments de la population (source : enquête logement 2013). Exprimés en parts relatives de chaque tranche de taille d'unité urbaine. La même échelle est utilisée pour l'axe Y des 20 segments.

Nous pouvons observer la grande hétérogénéité entre segments. Cette analyse permet notamment de retrouver deux grandes tendances documentées dans la littérature et qui peuvent être résumées ainsi « *la stabilité familiale et l'accession à la propriété conduisent les ménages à quitter les grandes villes* ». Les atouts et inconvénients de chaque type de zone sont ainsi plus ou moins valorisés selon les situations individuelles et des ménages. La "préférence" des personnes vivant seules pour les grandes villes est illustrée par les groupes 11, 117, 118 et 119 en particulier, bien qu'il y ait des exceptions (p.ex. groupe 116). Toutefois et au-delà de ces grandes tendances, l'approche proposée rend compte des nuances et de la diversité des pratiques au sein de chaque groupe.

Nous avons également analysé les dynamiques d'évolution pour ces 20 groupes sur la période 1984-2013 (Figure 36). Les mêmes morphologies de profils sont globalement observées en 1984, démontrant une certaine inertie des pratiques, bien que certaines évolutions puissent être relevées. Sur la Figure 36, nous avons classé les vingt segments en cinq catégories. La première rassemble les segments dans lesquels les ménages ont globalement quitté les grandes villes au profit des zones rurales ou petites unités urbaines. La deuxième catégorie va globalement dans la même direction mais de manière moins claire. Nous pouvons par exemple observer que les dynamiques entre l'unité urbaine de Paris et les grandes unités urbaines sont inverses (groupes 11 et 49). La cinquième rassemble les groupes ayant une dynamique inverse à la première, la quatrième en constituant une variante moins marquée. La troisième catégorie enfin est celle où aucune direction principale n'est constatée, mais plutôt des reconfigurations au sein des zones les moins denses (vers les petites unités urbaines) et au sein des zones les plus denses (au détriment de l'unité urbaine de Paris).

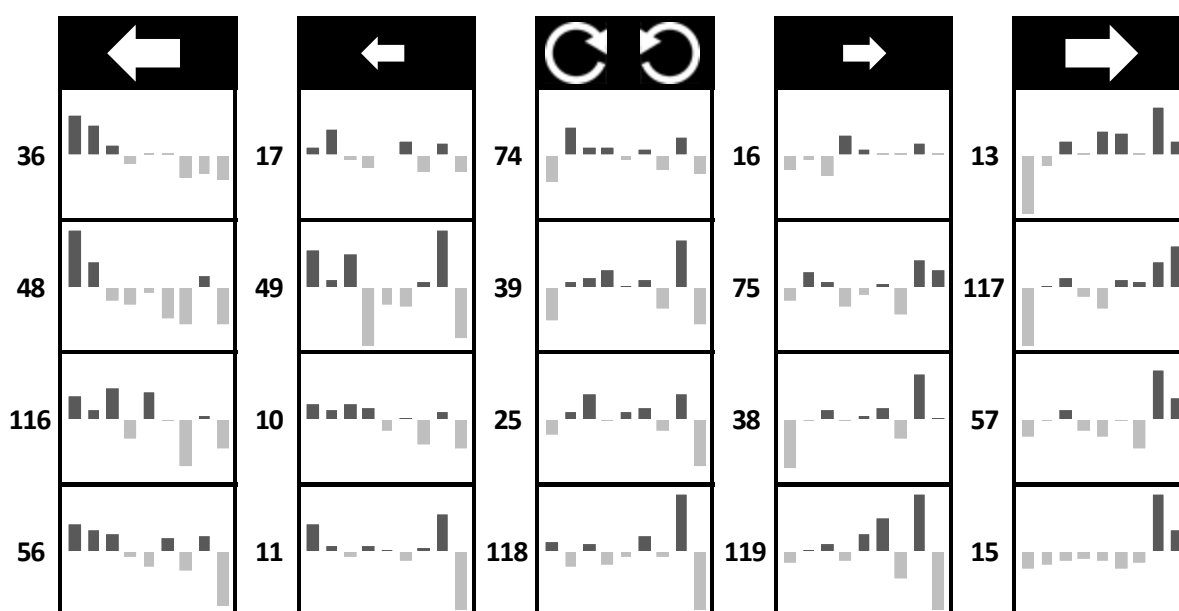


Figure 36: Dynamiques de changements des profils de localisation des ménages entre 1984 et 2014. L'axe des ordonnées couvre l'intervalle $[-7,5\%; +7,5\%]$. Source : enquêtes logements 1984 et 2013.

À partir des situations de 1984, de 2013 et des dynamiques, nous pouvons noter que pour six des huit groupes pour lesquels les changements sont les plus univoques et visibles (première et cinquième catégories), les dynamiques ont accentué une situation initiale. Nous pouvons l'illustrer à partir des trois groupes dont la personne de référence appartient à la catégorie socioprofessionnelle « cadres et professions intellectuelles supérieures » (groupes 10, 11 et 15). Parmi ces groupes, les ménages n'étant pas propriétaires étaient localisés préférentiellement dans les grandes unités urbaines (y compris celle de Paris) en 1984 et le sont davantage en 2013 (groupe 15). Les couples propriétaires de leur logement sont en comparaison davantage localisés dans les zones peu denses en 1984, et la situation s'est accentuée entre 1984 et 2013 (groupe 10). Entre ces deux situations, les personnes seules et

familles monoparentales propriétaires de leur logement (groupe 11) sont légèrement plus représentées dans les zones peu denses en 1984 que les ménages non propriétaires et cette tendance s'est légèrement accentuée jusqu'en 2013. Les phénomènes économiques et sociaux qui expliquent l'ensemble de ces évolutions sont nombreux : élévation généralisée du prix du foncier mais élévation différenciée selon les zones, évolution des mœurs (p. ex. doublement du nombre de familles monoparentales entre 1982 et 2005), vieillissement de la population ou encore accroissement du niveau d'étude général. Sans les détailler et les identifier de manière exhaustive, l'usage de la segmentation et des dynamiques de changements pour formuler les hypothèses vise à rendre compte d'une partie de ces phénomènes et de l'inertie qu'ils génèrent.

Ainsi nous proposons de partir des évolutions intervenues entre 1984, 1992, 2001 et 2013 afin de construire des hypothèses d'évolution des localisations des ménages pour le futur⁸⁸. Les *extrema* observés pour chaque groupe et pour chaque classe de la variable (tranche de taille de l'unité urbaine) constituent alors des bornes supérieures ou inférieures pour les évolutions proposées. Dans cet exemple présenté à titre expérimental, nous utiliserons ces valeurs pour construire deux hypothèses annuelles contrastées, visant en quelque sorte à « encadrer » les possibles. Ce choix méthodologique est représenté par la Figure 37. Il vise à construire deux micro-scénarios⁸⁹ contrastés : l'un de densification, l'autre de dé-densification. Appliqué à une variable de distribution de la population, cette modalité de définition des hypothèses est discutable, en particulier car elle n'intègre pas d'effet de seuils. Par exemple, une dynamique d'augmentation de la part de population en zone rurale observée sur une période pourrait devenir de moins en moins probable à mesure que cette part augmente.

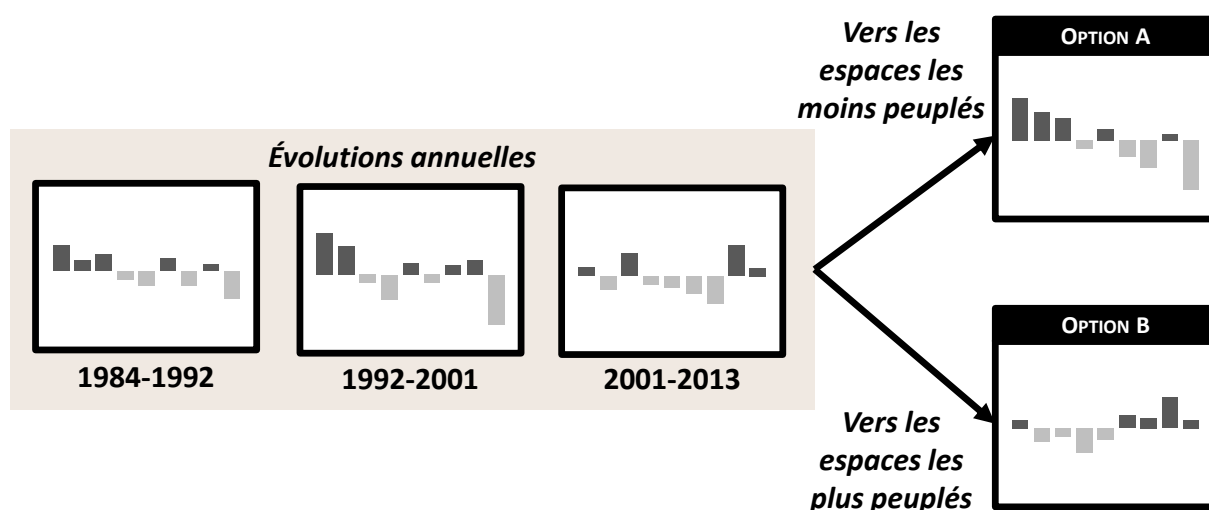


Figure 37: Principe de définition des hypothèses de dynamiques de changement de localisation annuelles pour un segment de population à partir des dynamiques de périodes passées.

⁸⁸ Ces éditions de l'enquête logement sont choisies pour leur proximité avec les mises à jour de la classification des unités.

⁸⁹ Nous utilisons ici la notion de micro-scénarios car il s'agit de scénarios focalisés sur un thème : la localisation des ménages. Dans cette acception du terme, un (macro-)scénario résulte de la combinaison de micro-scénarios.

c) Mise en œuvre

Les matrices obtenues à partir de la méthode proposée sont représentées par le Tableau 28 et le Tableau 29. La distribution de la population par type d'espace tend globalement pour tous les segments de population dans la direction fixée pour le micro-scénario, tout en étant contraints par les dynamiques de transition des trois dernières décennies. Ainsi, certains segments n'ayant connu qu'une direction de changement au cours des trois décennies passées (p. ex. une augmentation de la part du segment 10 en communes rurales), ne peuvent pas toujours suivre la direction d'ensemble (p. ex. le segment 10 ne peut qu'avoir une augmentation plus faible de sa localisation en communes rurales à +1,2%).

Tableau 28 : Matrice des vitesses de transition quinquennale pour le scénario de dé-densification.

		Commune rurale	Unité urbaine < 5000	5 000 ≤ Unité urbaine < 10 000	10 000 ≤ Unité urbaine < 20 000	20 000 ≤ Unité urbaine < 50 000	50 000 ≤ Unité urbaine < 100 000	100 000 ≤ Unité urbaine < 200 000	Unité urbaine > 200 000	Unité urbaine de Paris
	Identifiant du segment									
	10	1,5%	3,1%	-0,1%	0,0%	0,0%	-0,5%	-0,4%	-1,4%	-2,2%
	11	3,2%	1,1%	0,2%	-0,1%	0,2%	-0,7%	-0,4%	-0,3%	-3,2%
	13	-0,7%	0,0%	-0,3%	-0,2%	-0,5%	0,2%	0,1%	2,7%	-1,4%
	15	1,1%	0,3%	0,6%	0,3%	1,0%	0,4%	-0,3%	-1,0%	-2,5%
	16	-5,8%	2,0%	0,2%	0,1%	0,2%	0,1%	0,2%	1,2%	1,8%
	17	-2,7%	0,5%	-0,2%	0,0%	0,0%	0,5%	-0,2%	1,2%	0,9%
	25	0,7%	1,0%	0,6%	-0,2%	-0,4%	0,0%	-0,6%	-0,3%	-0,8%
	36	-2,3%	1,0%	1,1%	-0,1%	-0,1%	-0,4%	-0,3%	-0,2%	1,3%
	38	-0,9%	0,9%	0,3%	0,4%	0,1%	-0,3%	-0,5%	0,0%	-0,1%
	39	0,5%	1,1%	0,2%	-0,1%	-0,1%	-0,2%	-0,4%	0,2%	-1,3%
	48	-1,1%	1,2%	0,9%	-0,1%	-0,2%	-0,4%	-0,4%	0,6%	-0,6%
	49	1,2%	0,7%	1,7%	0,2%	-0,2%	-0,7%	-0,9%	-1,0%	-0,9%
	56	0,9%	0,8%	1,1%	0,1%	0,2%	0,0%	-0,7%	-0,7%	-1,7%
	57	0,8%	1,5%	1,5%	0,1%	0,1%	-0,3%	-0,5%	-0,1%	-3,1%
	74	-1,3%	1,1%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	-0,4%	0,6%	0,8%
	75	-0,9%	0,3%	0,1%	-0,1%	-0,2%	-0,6%	-0,4%	0,3%	1,5%
	116	1,4%	2,2%	1,4%	0,1%	-0,3%	-1,0%	-0,5%	-2,2%	-1,2%
	117	1,7%	1,0%	1,1%	0,7%	0,2%	-0,3%	-0,7%	-2,5%	-1,4%
	118	0,9%	2,5%	0,5%	0,1%	0,1%	0,2%	-0,4%	-1,7%	-2,2%
	119	1,1%	0,7%	1,3%	1,1%	0,4%	0,0%	-1,2%	-2,4%	-1,1%

Tableau 29 : Matrice des vitesses de transition quinquennale pour le scénario de densification.

		Commune rurale	Unité urbaine < 5000	5 000 ≤ Unité urbaine < 10 000	10 000 ≤ Unité urbaine < 20 000	20 000 ≤ Unité urbaine < 50 000	50 000 ≤ Unité urbaine < 100 000	100 000 ≤ Unité urbaine < 200 000	Unité urbaine > 200 000	Unité urbaine de Paris
Identifiant du segment	10	1,2%	-0,5%	-0,5%	0,0%	-0,4%	0,2%	0,2%	0,8%	-0,9%
	11	0,3%	0,1%	-0,2%	-0,3%	-0,4%	-0,1%	0,2%	2,2%	-1,8%
	13	-1,0%	-0,3%	-0,3%	-0,2%	-0,5%	-0,1%	0,4%	2,2%	-0,2%
	15	0,6%	-0,1%	-0,2%	-0,2%	-0,3%	0,4%	-0,1%	2,4%	-2,5%
	16	-7,0%	-0,4%	-0,2%	-0,4%	-0,2%	1,2%	0,9%	3,4%	2,5%
	17	-3,3%	-0,5%	-0,5%	-0,4%	-0,3%	0,6%	0,5%	1,8%	2,1%
	25	-0,1%	-0,1%	-0,2%	-0,2%	-0,4%	0,0%	-0,1%	0,6%	0,4%
	36	-2,3%	-1,0%	-0,5%	-0,4%	-0,5%	0,5%	0,1%	0,8%	3,3%
	38	-2,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,0%	1,7%	0,4%
	39	-0,5%	-0,1%	0,1%	-0,1%	-0,1%	-0,2%	-0,1%	0,7%	0,1%
	48	-1,0%	-0,9%	-0,4%	-0,5%	-0,7%	1,2%	0,0%	1,1%	1,1%
	49	0,4%	-0,6%	-1,0%	-0,3%	-0,8%	0,1%	-0,3%	2,7%	-0,1%
	56	1,1%	-0,5%	-0,5%	-0,2%	-0,4%	0,3%	-0,1%	0,6%	-0,4%
	57	-0,7%	-0,2%	-0,3%	-0,2%	-0,6%	0,3%	0,0%	2,7%	-0,9%
	74	-2,5%	-0,4%	-0,2%	-0,2%	-0,2%	0,2%	0,0%	1,5%	1,8%
	75	-2,2%	-0,8%	0,1%	-0,3%	-0,6%	0,6%	-0,1%	1,7%	1,6%
	116	-1,1%	-0,4%	-0,8%	-0,1%	-0,3%	1,6%	0,1%	1,3%	-0,3%
	117	-0,7%	0,3%	-0,4%	-0,4%	-0,5%	0,4%	0,8%	0,7%	-0,3%
	118	0,6%	-0,1%	0,0%	-0,3%	-0,5%	0,2%	-0,1%	0,8%	-0,5%
	119	0,5%	0,0%	-0,2%	0,0%	0,1%	0,1%	-0,6%	-0,3%	0,4%

Nous avons enfin simulé l'évolution de la localisation des ménages à l'échelle locale obtenue à partir de ces matrices. Nous avons utilisé les projections démographiques de l'INSEE afin de disposer de matrices population initiales aux horizons 2020 à 2070. Nous avons également construit un scénario de référence « *statu quo* », où la population évolue de la même manière mais où la matrice de corrélations relative à la localisation des ménages utilisée est celle de l'année 2013 (jusqu'en 2070). Le Tableau 30 représente les résultats de simulations à l'échelle de l'ensemble de la population.

Tableau 30 : Distribution de la population par tranche de taille d'unité urbaine pour les trois micro-scénarios. Résultats de simulation.

	Year	Commune rurale	Unité urbaine < 5000	5 000 ≤ Unité urbaine < 10 000	10 000 ≤ Unité urbaine < 20 000	20 000 ≤ Unité urbaine < 50 000	50 000 ≤ Unité urbaine < 100 000	100 000 ≤ Unité urbaine < 200 000	Unité urbaine > 200 000	Unité urbaine de Paris
Passé	1982	26,6%	5,8%	5,4%	4,9%	6,6%	6,8%	7,5%	20,4%	16,0%
	1990	26,0%	6,0%	5,5%	4,9%	6,8%	6,5%	6,9%	21,1%	16,5%
	1999	24,5%	6,3%	5,5%	5,2%	6,4%	7,1%	5,6%	23,1%	16,5%
	2013	23,0%	6,8%	5,7%	4,9%	6,1%	7,2%	5,2%	24,4%	16,6%
Statu quo (simulations)	2010	22,9%	7,0%	5,8%	5,0%	6,1%	7,3%	5,3%	24,5%	16,2%
	2020	22,8%	6,9%	5,8%	5,0%	6,2%	7,3%	5,3%	24,6%	16,2%
	2030	22,6%	6,9%	5,8%	5,0%	6,2%	7,3%	5,3%	24,7%	16,3%
	2040	22,5%	6,8%	5,8%	5,0%	6,2%	7,4%	5,3%	24,8%	16,3%
	2050	22,4%	6,8%	5,8%	5,0%	6,2%	7,4%	5,4%	24,9%	16,3%
	2060	22,2%	6,7%	5,8%	5,0%	6,2%	7,4%	5,4%	25,0%	16,3%
	2070	22,1%	6,7%	5,8%	4,9%	6,3%	7,4%	5,4%	25,1%	16,3%
Dé-densification (simulations)	2010	22,9%	7,0%	5,8%	5,0%	6,1%	7,3%	5,3%	24,5%	16,2%
	2020	23,4%	8,8%	6,8%	5,1%	6,4%	6,8%	3,8%	24,3%	14,5%
	2030	24,2%	11,5%	8,3%	5,4%	6,6%	6,2%	1,8%	24,1%	12,0%
	2040	24,7%	14,1%	9,3%	5,5%	6,7%	5,5%	0,7%	23,8%	9,7%
	2050	24,6%	16,3%	10,2%	5,7%	6,8%	4,9%	0,5%	23,7%	7,3%
	2060	24,3%	18,4%	10,6%	5,7%	6,8%	4,6%	0,4%	23,6%	5,7%
	2070	24,0%	20,3%	10,8%	5,5%	7,0%	4,4%	0,4%	23,5%	4,2%
Densification (simulations)	2010	22,9%	7,0%	5,8%	5,0%	6,1%	7,3%	5,3%	24,5%	16,2%
	2020	21,5%	6,4%	5,3%	4,7%	5,8%	7,9%	5,5%	26,4%	16,6%
	2030	19,6%	5,6%	4,6%	4,3%	5,2%	8,7%	5,6%	29,1%	17,2%
	2040	17,7%	4,9%	4,1%	4,0%	4,9%	9,4%	5,8%	31,7%	17,6%
	2050	16,0%	4,3%	3,7%	3,7%	4,7%	9,9%	5,9%	34,0%	17,7%
	2060	14,2%	3,9%	3,3%	3,5%	4,6%	10,2%	5,9%	36,3%	18,0%
	2070	12,8%	3,3%	3,0%	3,3%	4,4%	10,5%	5,9%	38,3%	18,3%

Cette expérience souligne certains des atouts et limites à la fois de la méthode de transformation de matrices testée ici et de l'approche par segmentation. Premièrement, si l'on se place dans le strict cadre du prolongement de tendance pour encadrer les futurs possibles, l'application de cette approche à une vision segmentée de la population permet d'envisager des futurs plus variés et contrastés que son application à l'échelle de la population totale. Ainsi, par exemple l'observation des tendances passées à l'échelle de la population ne permettent d'envisager qu'une diminution de la part de la population en commune rurale (baisse la plus faible observée : -0,6% sur 8 ans), ou dans les unités urbaines de 100 000 à 200 000 habitants (baisse la plus faibles : -0,4% sur 14 ans). Au contraire, seule une augmentation de la part de la population dans les plus grandes unités urbaines peut être envisagée (augmentation la plus faible observée : +0,7% en 8 ans). En appliquant cette approche à la population segmentée, ces tendances au niveau global peuvent être limitées ou légèrement inversées tout en suivant le principe d'un prolongement de tendances.

En revanche, l'absence d'effet de seuil peut conduire à des scénarios peu plausibles, comme le montre le scénario de dé-densification où l'on observe à long terme une quasi-disparition des unités urbaines de 100 à 200 000 habitants et une désertion relative de l'unité urbaine de Paris... Celle-ci est plutôt difficile à imaginer dans le cadre d'un scénario de prolongement de tendances car elle impliquerait la conversion en logements vacants d'une grande part des logements existants. Cela met en exergue l'absence de représentation des processus internes à la dynamique du parc de logements existants dans le formalisme de modélisation proposé (p. ex. construction, destruction, reconversion, effet d'une évolution

de l'équilibre de l'offre et de la demande sur les prix et l'attractivité des zones). Ainsi, s'il présente l'avantage de proposer une représentation macroscopique des choix de localisation des ménages et de leurs effets sur la mobilité ou la taille de logements par exemple, ce formalisme nécessiterait d'être complété (p. ex. par des seuils, des contraintes, des modules de simulation complémentaires) pour tenir compte d'autres phénomènes.

En tenant compte de ces avantages et limites, l'usage de cette modalité de transformation de matrice semble relativement pertinent pour encadrer les valeurs possibles à l'horizon de court voire de moyen terme. Son application systématique et exclusive à plus long terme présente un intérêt plus limité. Dans ce contexte, la notion de scénario devient plus précieuse et l'approche de type *forecasting* pourra être mobilisée pour fournir des points de repères.

3.3.5 Conclusion

L'introduction de changements de modes de vie dans le formalisme de modélisation adopté consiste soit à modifier une matrice population initiale, soit à transformer une ou plusieurs des matrices de corrélation. Un changement proposé se propagera ainsi dans la suite du processus, jusqu'aux indicateurs des usages. Nous avons vu que plusieurs modalités de transformations de matrices étaient envisageables, correspondant notamment à une approche de type *backcasting* ou *forecasting*. Le chapitre 4 sera l'occasion de présenter plusieurs exemples de transformation de matrices dans le cadre de l'élaboration de scénarios exploratoires où nous avons adopté une approche de type *backcasting*. À l'instar du cas de la formulation d'hypothèses dans une démarche prospective classique, la transformation de matrice peut être documentée en se basant sur le formalisme de modélisation adopté.

Si l'on compare cette méthode d'introduction de changements de modes de vie aux méthodes plus directes que nous avons décrites dans la partie 2.1.3 et qui consiste à modifier certains paramètres relatifs aux usages pour traduire une modification des modes de vie (p. ex. nombre de déplacements par personne), nous pourrions alors considérer que la plus-value de la modélisation proposée pour un changement donné dépend de la position de la variable concernée dans le processus. Ainsi, si la matrice de corrélations modifiée est située en bout de chaîne et correspond à un indicateur des usages énergétiques dans la matrice population, la modélisation proposée sera quasi équivalente à une méthode directe et son apport relativement limité. L'apport sera *a priori* d'autant plus grand que la matrice modifiée est située en amont.

3.4 MISE EN ŒUVRE OPERATIONNELLE DU PROCESSUS DE SIMULATION

La mise en œuvre opérationnelle du principe de modélisation proposé implique le recours à l'outil informatique pour l'exécution des tâches d'analyse des enquêtes, de préparation des matrices de corrélations, d'enrichissement des matrices population jusqu'à l'obtention des variables ciblées (indicateurs des usages énergétiques) ou encore l'analyse des matrices population finales pour la production de tableaux de résultats synthétiques. Sans être exhaustif, il nous semble important de présenter quelques éléments de la mise en œuvre opérationnelle du processus de simulation, car ils peuvent avoir une influence sur les choix de modélisation opérés au cours d'un exercice de scénarisation.

3.4.1 Étapes de mise en œuvre du processus de simulation

Dans cette partie, nous proposons de résumer le déroulement de ce processus. Le Tableau 31 décrit les six principales étapes distinguées, les méthodes et outils mis en jeu à chacune d'entre elles et leurs produits. Les outils mis en jeux sont décrits plus longuement dans l'Annexe 8 et l'Annexe 9. La première étape est l'étape de cadrage de l'exercice, où ses objectifs sont définis et les scénarios esquissés. Deux étapes concentrent les choix de modélisation : la sélection et l'ordonnancement des variables et la transformation des matrices. Les trois autres étapes reposent essentiellement sur l'exécution de tâches informatiques où le rôle du modélisateur se résume à traduire les choix effectués dans le langage du modèle. En complément de ce tableau, nous avons représenté l'articulation des différentes étapes et de leurs produits à l'aide de la Figure 38.

Tableau 31 : Description des six principales étapes du processus de modélisation.

ÉTAPE	DESCRIPTION	METHODES & OUTILS	PRODUITS
Préfiguration des scénarios	Cette étape consiste à définir les contours des scénarios d'évolution des modes de vie que l'on souhaite simuler : horizon temporel et pas de temps considérés, formats de résultats souhaités, description des hypothèses, etc.	- Travaux du modélisateur ou des participants à la construction des scénarios	- Lignes directrices des scénarios et hypothèses qualitatives - Horizon temporel - Indicateurs des usages énergétiques souhaités
Sélection et ordonnancement des variables	Cette étape consiste à choisir et ordonner les variables qui seront ajoutées à la matrice population initiale pour parvenir à une matrice population finale, c'est-à-dire décrivant le ou les indicateurs des usages énergétiques souhaités.	- Travaux et choix du modélisateur	- Paramètres du modèle - Cadrage de la génération des matrices
Génération des matrices de base¹	Il s'agit dans cette étape de constituer le jeu de matrices de corrélations qui sera utilisé dans la suite du processus. Les matrices sont générées par la fonction basée sur RPART à partir des jeux de données issus des différentes enquêtes. Elle est commandée par le fichier de pilotage qui détermine par exemple les modalités d'élagage des arbres, la taille minimale des groupes et surtout les variables à utiliser pour les arbres de décisions (déterminées à partir de l'étape précédente).	- Scripts d'exploitation des enquêtes - Fonction utilisant l'algorithme de construction des arbres de décision - Fichier de pilotage	- Matrices de corrélations de référence
Transformation des matrices	Pour introduire des changements de modes de vie envisagés dans l'étape de préfiguration, il est nécessaire de transformer les coefficients de certaines matrices de corrélations pour les différents scénarios. Ces transformations sont opérées au cours de cette étape.	- Travaux et choix du modélisateur - <i>Éventuellement</i> : jeux ou sources de données complémentaires	- Matrices de corrélations transformées
Enrichissement de la matrice population¹	Cette étape consiste en la mise en œuvre informatique du processus « d'enrichissement » de la matrice population initiale (p. ex. de type pyramide des âges) qui conduit jusqu'aux matrices population finales. Le processus utilise les matrices de corrélations de base et transformées. Ses modalités d'exécution sont précisées par le fichier de pilotage. L'étape comprend également la préparation des matrices initiales.	- Fonction de reconstruction (sous R) - Fichier de pilotage	- Matrice(s) population finale(s)
Extraction des résultats	Selon l'usage des résultats (p. ex. données d'entrées pour un autre modèle), des reformatages de données peuvent être nécessaires : conversions dans les bonnes unités, catégorisation des données, sélection de catégories de la population, etc. Cette étape vise à extraire les informations souhaitées des matrices population finales.	- Scripts de récupération des résultats (à écrire si nouveaux types de résultats)	- Tableaux d'indicateurs des usages énergétiques

¹ Étape essentiellement effectuée par l'outil informatique.

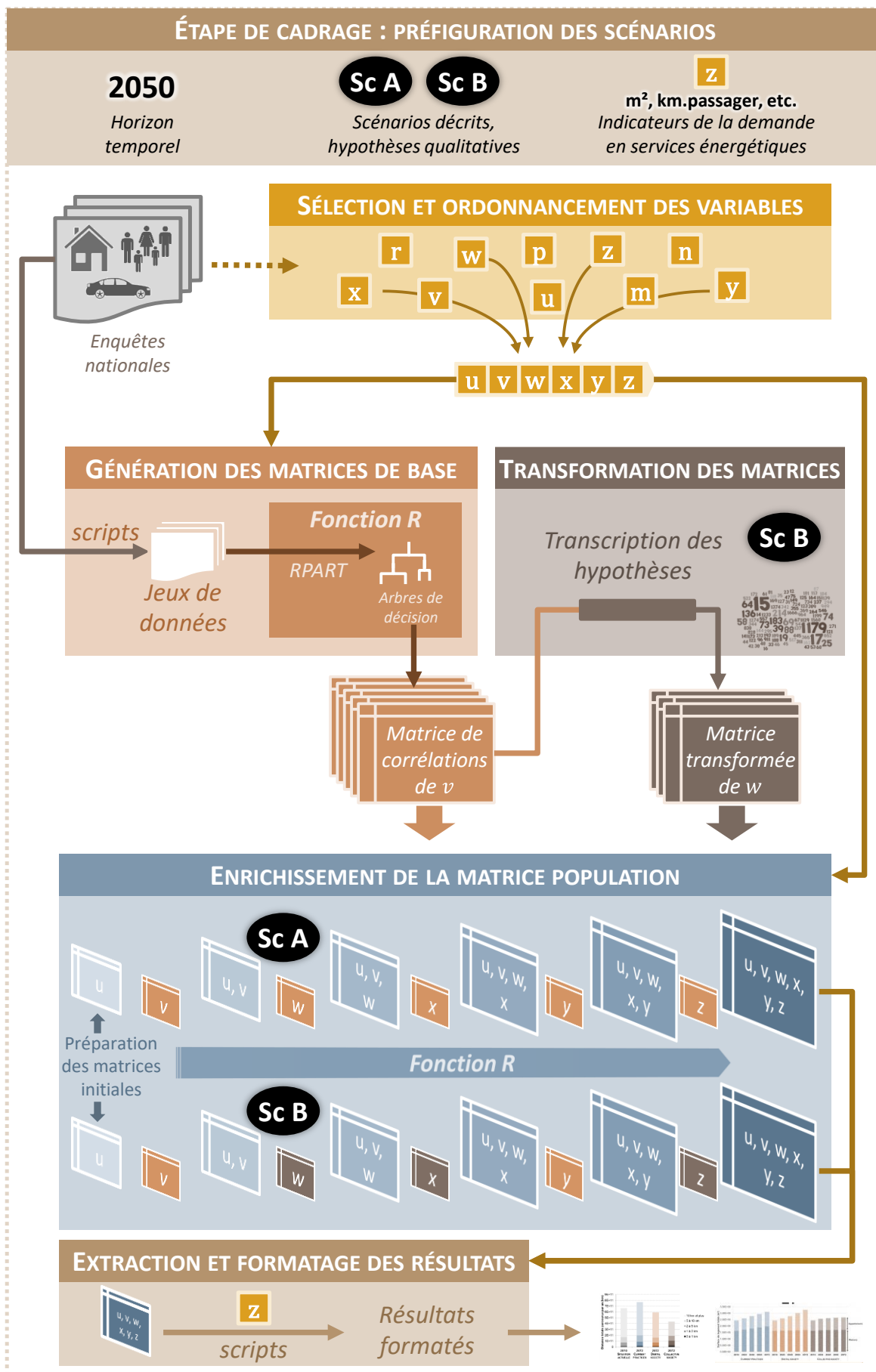


Figure 38 : Représentation des étapes de la modélisation de scénarios d'évolution des modes de vie.

3.4.2 Problèmes liés à la mise en œuvre opérationnelle

La simulation de scénarios d'évolution des modes de vie à l'aide du modèle proposé soulève plusieurs enjeux d'ordre opérationnel. Nous souhaitons ici revenir sur deux enjeux rencontrés au cours de la formalisation informatique du processus. Le premier est lié à l'évolution de la taille de la matrice population au cours du processus. Le second est lié à l'unité de base à laquelle se rapporte le processus, qui peut être l'individu ou le ménage. Ces deux enjeux ont des conséquences sur la manière de concevoir et piloter l'élaboration de scénarios.

a) Gestion de la taille des matrices population

Nous avons décrit le principe de l'ajout de variables à la matrice population dans la sous-partie 3.2.1 (p. 128). Nous y précisons qu'à chaque ajout de variable, le nombre de lignes de la matrice population augmente alors que la population de chaque segment diminue. Par exemple, si la nouvelle variable comporte r modalités, la taille de la matrice augmentera *a priori* d'un facteur r . La Figure 40 représente un exemple du suivi de l'évolution de la matrice population au cours d'un processus d'ajout de sept variables. La matrice initiale de 44 lignes (pour deux variables) évolue jusqu'à atteindre près de 10 millions de lignes (pour neuf variables). Avec une croissance de type exponentielle de la taille de la matrice, deux problèmes émergent : l'un est relatif au volume des fichiers à stocker et l'autre au temps de simulation.

Le volume des matrices – stockées au format CSV – est proche d'être proportionnel au nombre de lignes (voir l'exemple de la Figure 39), à l'ajout de variables, donc de colonnes, près. Lors de certains essais effectués, ce volume a pu atteindre plusieurs giga-octets par exemple, laissant présager de problème d'occupation d'espace sur les disques d'utilisateurs.

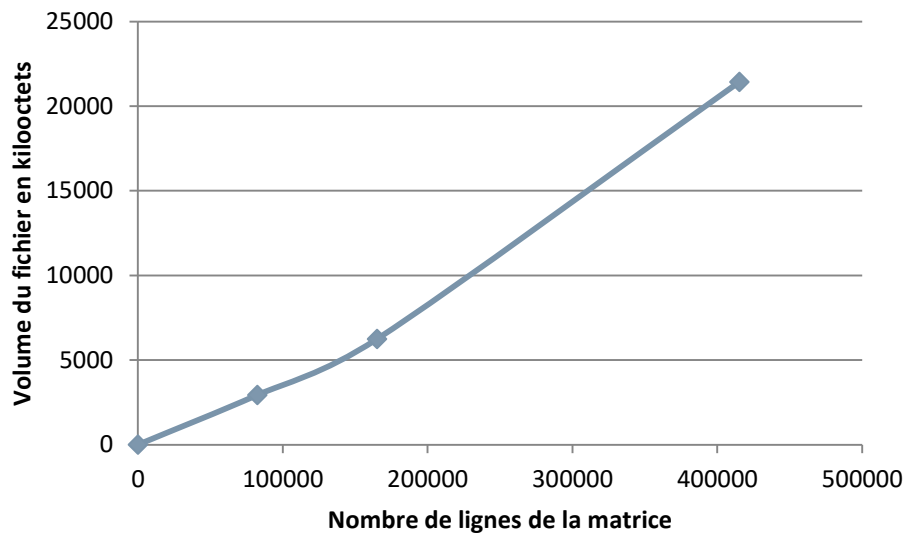


Figure 39 : Exemple de l'évolution du volume du fichier représentant la matrice population avec le nombre de lignes (exemple issu de l'exercice présenté dans le chapitre 4)

L'allongement du temps de simulation est un problème potentiellement encore plus embarrassant dans la pratique. Au cours de nos essais, les temps de simulation des scénarios ont pu se compter en minutes, en heures ou en jours selon les modalités de réalisation. Dans l'exemple de la Figure 40, l'ajout de la dernière variable nécessite ainsi près de 30 minutes de calcul alors que les 6 précédentes ont nécessité moins de 2,5 minutes. Cet allongement du temps de calcul s'explique principalement par une étape d'affectation de chaque ligne (chaque segment de la matrice population) à un segment de la matrice de corrélations de la variable ajoutée. D'après nos analyses, son temps d'exécution est à peu près proportionnel au nombre de lignes de la matrice population à traiter.

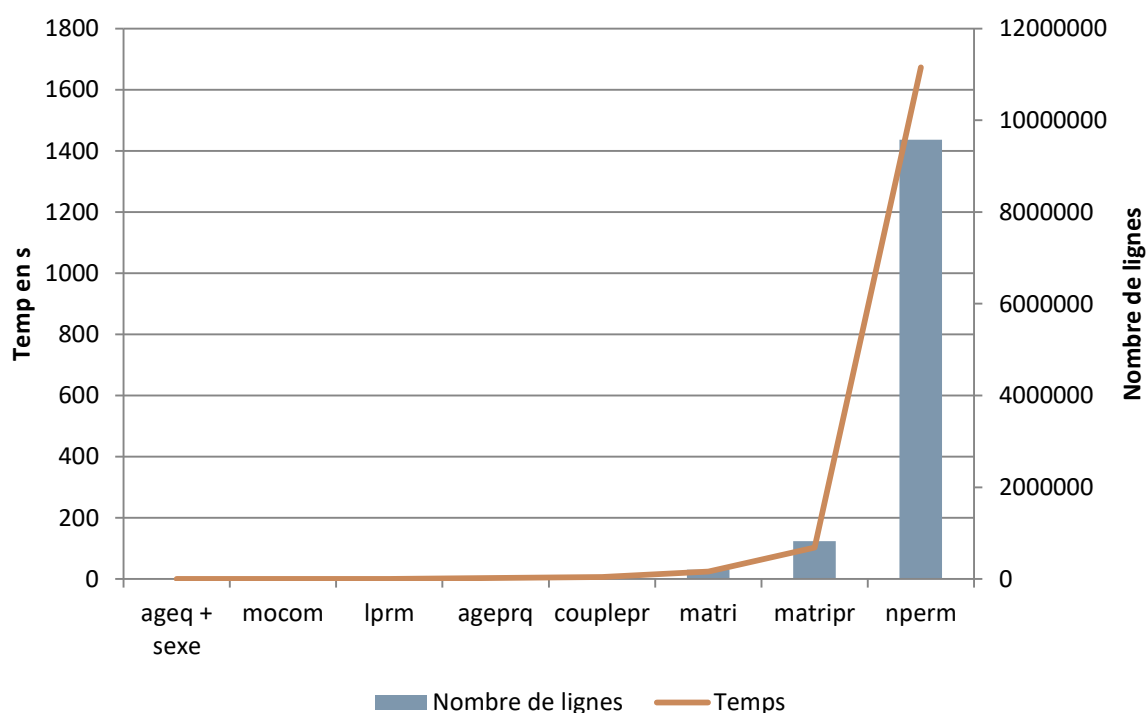


Figure 40 : Suivi de la taille de la matrice population et du temps de calcul au cours de l'ajout de 7 variables à une matrice initiale. Légende du nom des variables : voir Tableau 32.

Tableau 32 : Légende des variables de la Figure 40.

Code	Intitulé	Exemple de modalités
ageq	Âge quinquennal de l'individu	0, 5, 10, 75, ...
sexe	Sexe de l'individu	Femme ou homme
mocom	Mode de cohabitation de l'individu	Enfant d'un couple, adulte d'une famille monoparentale, personne vivant seule, etc.
lprm	Lien à la personne de référence du ménage	Personne de référence du ménage, conjoint, enfant, ascendant, etc.
couplepr	La personne de référence vit en couple	Oui ou non
matri	État matrimonial légal de l'individu	Célibataire, marié(e), veuf ou veuve, divorcé(e)
matripr	État matrimonial légal de la personne de référence	<i>idem</i>
nperm	Nombre de personnes du ménage	Numérique (1 à 20 environ)

Ces problèmes peuvent être contenus par une gestion de la taille de la matrice population. Nous nous sommes en effet aperçu que plus la segmentation de la population – et donc l'accroissement de la matrice – était poussée, moins l'influence sur le résultat était perceptible. Il est donc possible d'atteindre des résultats équivalents avec un processus dont la matrice la plus grande atteint 500 000 lignes, ce qui permet des temps de calculs

raisonnables, et avec processus dont la matrice la plus grande atteint 10 000 000 de lignes. Les stratégies mises en place pour contenir le nombre de lignes de la matrice population sont décrites en Annexe 10.

b) Enjeu de la manipulation de matrice à l'échelle de l'individu ou du ménage

Les indicateurs des usages énergétiques dont nous souhaitons simuler l'évolution à long terme se rapportent tantôt à des individus (ex. distance parcourue par individu), tantôt à des ménages (ex. nombre de logements, volumes d'achats d'appareils électroménagers). Le recours à ces deux « échelles » implique de manipuler des matrices population dont l'unité de base est tantôt l'individu, tantôt le ménage.

Le passage d'une échelle à l'autre implique de résoudre des problèmes d'appariement que nous n'avons pas abordé au cours de nos recherches. Nous avons opté pour l'alternative consistant à conduire séparément les processus à l'échelle de l'individu et à l'échelle du ménage. Cette option nécessite néanmoins d'être vigilant quant à la cohérence des hypothèses formulées. En effet, étant donné que les matrices de corrélations ne peuvent qu'être différentes selon l'échelle à laquelle les variables sont observées, il est nécessaire de s'assurer l'équivalence des transformations de matrice.

Le cas s'est présenté par exemple plusieurs fois pour la question de la localisation des ménages ou des individus. Dans ce cas, si l'hypothèse porte sur le nombre d'individus dans chaque type d'espace urbain par exemple, il est nécessaire de vérifier que la répartition des individus est la même dans les deux processus.

3.5 CONCLUSION DU CHAPITRE

La finalité initiale de notre projet de recherche consiste à proposer des développements méthodologiques afin de faciliter les réflexions sur nos futurs modes de vie dans le cadre d'exercices de prospective énergie-climat. Celle-ci nous a conduit à envisager une approche quantitative par la modélisation, démarche qui permet à la fois de formaliser et de représenter cet objet protéiforme que constituent les modes de vie ainsi que d'expérimenter des transformations futures. La modélisation proposée repose sur l'exploitation statistique d'enquêtes nationales relatives aux pratiques de logement, de mobilité, d'achats ou encore d'usage du temps des individus et des ménages. Elle aboutit à la proposition d'un formalisme destiné à représenter la population et ses modes de vie et à la spécification d'un processus de simulation. Celui-ci part d'une description minimaliste d'une population future (p. ex. effectifs par classes d'âge), puis consiste à enrichir progressivement cette description jusqu'à obtenir les informations désirées. C'est au cours de cette étape d'enrichissement que nous proposons d'introduire des changements de modes de vie afin de simuler leurs conséquences sur les futurs usages énergétiques.

Cette description plutôt conceptuelle de la démarche de modélisation proposée soulève plusieurs enjeux d'ordre opérationnel. En premier lieu sa mise en pratique repose sur l'outil informatique, et donc le développement de plusieurs scripts dont nous avons précisé les fonctions et la temporalité d'usage dans la partie 3.4. Ensuite, nous avons souligné deux difficultés à gérer lors de la mise en œuvre du processus. La première consiste à contenir l'augmentation de la taille de la matrice population au cours de son processus d'enrichissement. La seconde découle de la nécessité de mener deux processus de simulation distincts, l'un à l'échelle de l'individu, l'autre à l'échelle du ménage. Ceci soulève des enjeux de cohérence des deux processus.

Le chapitre suivant sera l'occasion d'une application de l'ensemble du processus de simulation dans le cadre d'une démarche prospective. Elle nous permettra d'illustrer concrètement les différents enjeux de modélisation.

CHAPITRE IV

EXPLORATION DE SCENARIOS D'EVOLUTION DES MODES DE VIE POUR LA FRANCE A L'HORIZON 2072

Le chapitre précédent était consacré à la présentation de l'approche méthodologique que nous avons développée dans le cadre de nos travaux. Le présent chapitre va nous permettre d'en illustrer la mise en œuvre. Nous la mobilisons en effet pour interroger le rôle que jouent nos futurs modes de vie lorsqu'on cherche à atteindre des objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre.

Nous commencerons par introduire le contexte de réalisation de la démarche prospective, ses motivations et ses objectifs (4.1). Nous détaillerons ensuite le déroulement et les produits des étapes-clés du processus de simulation (4.2). Nous présenterons dans la troisième section les résultats de la modélisation des modes de vie⁹⁰ et en proposerons un premier commentaire (4.3). Nous poursuivrons la discussion de ces résultats à l'aune d'autres résultats d'exercices de prospective dans la section suivante (4.4). Cette interrogation a nourri les scénarios évalués dans le cadre d'une démarche prospective plus globale menée au CMA appelée « Dessiner une France zéro émission à l'horizon 2072 »⁹¹. Nous ouvrirons alors la discussion à l'ensemble de cette démarche prospective en insistant sur les apports de la combinaison de plusieurs modèles (4.5).

⁹⁰ Les produits intermédiaires du processus (matrices de corrélations et matrices population) n'étant pas présentables dans ce manuscrit étant donnée leur taille, seuls les résultats synthétiques de l'ensemble du processus de simulation seront ensuite présentés.

⁹¹ Cette démarche prospective a fait l'objet d'une communication lors de la journée de la chaire « modélisation prospective au service du développement durable » le 14 décembre 2016. Les travaux propres aux modes de vie ont également été intégrés dans un article paru dans la revue *Energy* en juillet 2017.

4.1 CONTEXTE : L'EXERCICE « DESSINER UNE FRANCE ZÉRO ÉMISSION À L'HORIZON 2072 »

L'accord de Paris, issu de négociations entre 195 pays ayant abouti en décembre 2015 et ratifié par 160 pays au 19 septembre 2017, comporte deux articles qui évoquent directement ou indirectement un objectif « zéro émission » au cours de la deuxième moitié du XXI^{ème} siècle. L'article 4 évoque un *équilibre* des flux d'origine anthropique qui revient à atteindre des émissions nettes nulles pour les activités humaines comme on peut le lire dans l'extrait suivant : « *Opérer des réductions rapidement [...] de façon à parvenir à un équilibre entre les émissions anthropiques par les sources et les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre au cours de la deuxième moitié du siècle* ». L'article 2 fixe quant à lui une cible d'élévation de la température de 1,5°C⁹² qui, interprété à l'aide des scénarios d'émissions du groupement intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), revient à atteindre l'objectif zéro émission au cours de la deuxième moitié du siècle en cours.

Parmi les *conditions d'atteinte* de cet objectif figurent les questions qui portent sur le déploiement des technologies et les coûts qui y sont associés. Elles consistent à se demander : quelles évolutions du mix énergétique permettent d'atteindre la cible de réduction des émissions ? Quelles sont les technologies de conversion de l'énergie mises en jeu ? Quels sont les gains d'efficacité énergétiques nécessaires ? Quelle est la place des technologies de stockage du carbone ? Toutefois avant de répondre à ces questions, il est nécessaire de s'interroger sur les usages à satisfaire. Cela suppose d'anticiper les besoins et aspirations des ménages et individus en termes de logement, d'activités pratiquées et donc de mobilité, de consommation de biens et de services. Cela suppose donc d'anticiper les futurs modes de vie. Ceux-ci se situent ainsi en arrière-plan des objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre.

Or à un horizon si lointain, il est improbable que les modes de vie actuels, et donc la structure actuelle des usages de l'énergie, persistent. Nous proposons donc d'élaborer des scénarios exploratoires d'évolutions des modes de vie dans le cadre de l'étude de trajectoires de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour la France, avec en point de mire une interrogation : en quoi les modes de vies peuvent-ils contribuer à l'objectif d'une France zéro émission, ou au contraire rendre la tâche plus difficile ?

Ces scénarios alimentent un exercice de prospective plus global initié au Centre de Mathématiques Appliquées sous l'impulsion d'Edi Assoumou et où sont explorés sous l'angle technico-économique des scénarios « zéro émission » pour la France à l'horizon de la deuxième moitié du XXI^{ème} siècle (travaux menés au sein de la chaire « Modélisation prospective au service du développement durable »). Ce travail prospectif a d'une part pour

⁹² Extrait de l'article 2 : « [Contenir] l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels et en poursuivant l'action menée pour limiter l'élévation de la température à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels »

ambition de dépasser l'horizon 2050, qui a concentré une grande partie de l'attention sur les enjeux énergie-climat depuis plus d'une décennie, et d'autre part de se confronter à l'atteinte de cet objectif de neutralité carbone pour la France. Car si la division par quatre des émissions de gaz à effet de serre du pays à l'horizon 2050 est un objectif ambitieux et fixé depuis 2005 par la loi POPE, il est communément admis que les émissions de gaz à effet de serre restantes seront les plus difficiles et les plus coûteuses à éviter. Ce sont donc les conditions d'atteinte d'une « France zéro émission » qui sont étudiées dans le cadre de cet exercice à caractère exploratoire. Notons que le champ d'investigation retenu couvre uniquement les émissions de gaz à effet de serre d'origine énergétique, c'est-à-dire environ les trois quarts des émissions.

Dans ce cadre, nous avons choisi l'horizon 2072 pour trois motifs principaux. Premièrement, nous souhaitons nous projeter au-delà de l'horizon 2050 et aborder l'horizon temporel évoqué dans l'Accord de Paris. Deuxièmement, un horizon de si long terme conduit à envisager des mutations profondes des modes de vie et permet de s'affranchir en partie de l'inertie liée à certaines dynamiques (p. ex. inertie du parc de logements). Il constitue ainsi un bon moyen de mettre le modèle proposé à l'épreuve d'une démarche exploratoire. Troisièmement, le centenaire de la publication du rapport *The Limits to Growth* par le Club de Rome (Meadows et al., 1972) confère à l'an 2072 une portée symbolique.

4.2 MISE EN ŒUVRE DU PROCESSUS DE SIMULATION DES MODES DE VIE : ESQUISSES DE SCENARIOS, CHOIX DE MODELISATION

La présentation des principes de modélisation et du processus de simulation proposés dans le chapitre 2 s'est achevée par la description des six grandes étapes de la mise en œuvre du processus. Dans cette section, nous proposons de détailler les quatre étapes-clés du processus. Les deux étapes non décrites ici consistent à exécuter et contrôler des tâches purement informatiques.

4.2.1 Préfiguration des scénarios : trois trajectoires d'évolution des modes de vie

La première étape du processus de modélisation a pour objectif d'esquisser les scénarios d'évolution des modes de vie que l'on souhaite explorer. L'écriture de ces scénarios s'est inspirée de la méthode des scénarios pour la méthodologie et des scénarios du projet PROMOV pour appréhender le champ des possibles. Elle est encadrée par trois intentions :

- Disposer d'un scénario de référence, point de repère pour l'analyse, et explorer deux alternatives contrastées. Le scénario de référence considère un minimum de variation par rapport à la situation actuelle (uniquement celles qui sont considérées comme très probables) ;
- Identifier des « moteurs » d'évolution des modes de vie indépendants des enjeux du changement climatique pour les deux scénarios alternatifs. Dans la littérature, plusieurs auteurs décrivent des scénarios considérant des modes de vie durables ou « bas carbone » (Goodall, 2010; Mont et al., 2014) que nous aurions pu étudier dans cet exercice, lui conférant ainsi une vocation normative. Toutefois leur généralisation à l'ensemble de la population suppose que les enjeux environnementaux ou le changement climatique deviennent un moteur central des changements de modes de vie. Nous n'avons pas souhaité envisager cette éventualité dans cet exercice et avons préféré élaborer des scénarios exploratoires ;
- Rechercher une cohérence interne à chaque scénario – comme pour toute démarche prospective – et une complémentarité entre scénarios (i.e. les scénarios expérimentent des moteurs de changement différents).

A partir de ce cadre de travail, nous avons défini (1) « l'esprit » des deux scénarios alternatifs, en l'occurrence les changements culturels et du système de valeurs qui guident l'évolution des modes de vie ; (2) les dimensions des modes de vie que nous souhaitons faire varier, correspondant aux variables-clés de notre système ; (3) les hypothèses d'évolution

pour chacune des dimensions et chacun des scénarios. Le Tableau 33 ci-dessous synthétise l'ensemble de ces éléments pour les deux scénarios alternatifs. L'esprit des scénarios guide les évolutions de chacune des dimensions des modes de vie considérées.

Tableau 33 : Résumé des hypothèses des deux scénarios alternatifs

DIGITAL SOCIETY	NOM DU SCENARIO	COLLECTIVE SOCIETY
« Dans cette société plus individualiste, plus technologique, les individus sont animés par le désir d'accomplissement personnel et de vivre longtemps. »	Esprit du scénario	« Dans cette société organisée autour du lien social et de la coopération, les individus sont animés par le désir d'être - et de faire - avec les autres. »
↓ Hypothèses ↓	↓ Dimensions ↓	↓ Hypothèses ↓
Vivre le plus longtemps possible est devenu une fin en soi et les efforts induits (dépenses de santé, alimentation, activité physique) portent leurs fruits. L'attention grandissante portée à l'accomplissement personnel et l'affaiblissement du lien parent-enfant dans les normes sociales conduisent à une baisse du désir d'enfant, et de la natalité.	Comportements démographiques	Les tendances actuelles en termes d'évolution de l'espérance de vie, de migration et de natalité se prolongent comme le scénario central de l'Insee l'envisage à l'horizon 2060. Naturellement, le vieillissement de la population se poursuit.
Le désir d'accomplissement personnel conduit à préférer une vie sans la contrainte des autres. Alors que le modèle familial perd du terrain, le mode de vie en solo se diffuse progressivement à tous les âges.	Pratiques de cohabitation	La recherche de lien social et de modes d'organisation collectifs se traduisent notamment dans une diffusion des pratiques d'habitat partagé. Celles-ci accompagnent le recul du modèle du noyau familial lié à l'évolution des mœurs (augmentation du nombre de familles monoparentales) et au vieillissement de la population.
La technologie est perçue comme un moyen d'augmenter sa capacité d'action et d'accroître son espérance de vie en bonne santé. Elle est omniprésente dans la vie des individus. Un budget conséquent lui est consacré.	Choix des modalités d'équipement et rapport aux technologies	Aucun changement significatif n'est envisagé, les pratiques futures sont considérées comme dans la lignée des pratiques actuelles.

L'usage des télécommunications et l'apparente abolition de la distance qui l'accompagne continuent de s'étendre dans la vie quotidienne. L'équilibre entre interactions ou activités réelles et virtuelles se déplace vers davantage de virtualité, en particulier au travail (télétravail, visioconférence), dans les relations sociales ou encore pour les achats.	Pratiques de mobilité et rapport à l'espace	La vie s'organise le plus souvent à l'échelle du quartier, échelle spatiale permettant d'entretenir des relations de coopération et de voisinage. Ce mouvement a été accompagné par une organisation spatiale des activités adaptée : émergence d'un maillage fin d'espaces de travail partagés, prédominance de commerces de proximité, ...
Le travail est à la fois considéré comme un moyen de valorisation sociale et un moyen de disposer de revenus suffisant pour accéder à une consommation satisfaisante (accomplissement social ou personnel). Le travail reste donc au cœur de l'organisation du temps et prend même davantage d'importance, avec notamment un étalement des horaires de travail qui empiète bien souvent sur le temps personnel. Il se place au cœur d'une vie animée où le nombre d'activités pratiquées croît.	Attitude à l'égard du travail	En même temps que les revenus perdent de leur importance dans le système de valorisation sociale, le travail perd son rôle central dans l'organisation du temps. Le temps de travail rémunéré par actif ayant un emploi est inférieur à la situation actuelle, résultant d'une forme de partage du travail. Le temps libéré est notamment consacré à des activités de gestion des collectifs (ex. habitat partagé, jardin partagé, magasin collectif) et à des activités associatives.
Le désir d'accomplissement personnel et le souci de valorisation de son image sociale conduisent à préférer les espaces offrant un accès à de nombreux services et loisirs, et notamment aux plus spécialisés (pratiques distinctives, logiques d'ostentation). Les espaces urbains des grandes métropoles sont, à ce titre, particulièrement attractifs.	Choix des modalités d'habitation <i>(localisation de l'habitat)</i>	Le désir d'inscrire l'organisation de sa vie sur un territoire, à l'échelle d'un quartier conduit à privilégier des espaces multifonctionnels tels que les centres et les banlieues urbaines de toutes tailles ou certains espaces ruraux. Les espaces périurbains, plus souvent monofonctionnels sont peu recherchés ou peu à peu convertis.
Le niveau des revenus étant un des piliers de l'organisation de la vie des individus, la vie s'organise également autour de la recherche de revenus confortables. En conséquence le niveau de vie général s'élève (baisse de la part des bas revenus, hausse de la part des hauts revenus, en équivalence aux revenus actuels).	Niveau de vie, revenus et distribution	L'attention se détourne en partie des revenus en même temps qu'ils constituent moins un pilier des activités distinctives ou d'intégration sociale. On observe un resserrement global de la distribution des revenus (baisse de la part des bas revenus et des hauts revenus, en équivalence aux revenus actuels).
Les voyages lointains sont valorisés socialement et font partie des moyens d'accomplissement personnel. Le monde entier est perçu comme un horizon des possibles pour une part plus importante de la population.	Pratiques touristiques et du voyage de loisir	Les voyages lointains font moins partie du système de valorisation sociale que la participation à différentes activités collectives, ancrées sur le territoire de vie. Ils sont plus rares qu'aujourd'hui, et les destinations sont plutôt moins lointaines.

Ce sont donc huit dimensions des modes de vie qui font l'objet de changements, selon le cadre décrit dans le chapitre 1. Les moteurs d'évolution de ces deux scénarios peuvent être considérés – au moins au premier abord – comme antagonistes, se situant chacun à une extrémité d'un axe de clivage « vie individuelle / vie collective ». Les tendances menant à ces deux futurs trouvent toutefois leur germe dans la société française actuelle. Dans une lecture simpliste, la première constituerait plutôt le *sens de l'histoire* récente, c'est-à-dire la tendance observée au cours des dernières décennies alors que les possibilités de mener une vie individuelle s'étendent avec l'augmentation des niveaux de revenus, le travail des femmes, l'individuation. La seconde tendance constitue plutôt une expansion de tendances minoritaires (p. ex. diversification des formes de colocation) ou de signaux faibles (p. ex. pratiques d'habitat collectif).

Décrit selon le même cadre, le scénario de référence – aussi appelé scénario « *current practices* » – est résumé par le Tableau 34.

Tableau 34 : Résumé des hypothèses du scénario de référence.

NOM DU SCENARIO	CURRENT PRACTICES
Esprit du scénario	« Le scénario de référence considère un minimum de variation par rapport à la situation actuelle. »
↓ Dimensions ↓	↓ Hypothèses ↓
Comportements démographiques	Les tendances actuelles en termes d'évolution de l'espérance de vie, de migration et de natalité se prolongent comme le scénario central de l'Insee l'envisage à l'horizon 2060. Naturellement, le vieillissement de la population se poursuit.
Pratiques de cohabitation	Les pratiques sont proches des pratiques actuelles avec une poursuite du vieillissement de la population qui contribue à réduire la taille moyenne des ménages
Choix des modalités d'équipement et rapport aux technologies	Maintien des pratiques actuelles
Pratiques de mobilité et rapport à l'espace	Maintien des pratiques actuelles
Attitude à l'égard du travail	Maintien des pratiques actuelles
Choix des modalités d'habitation (localisation de l'habitat)	Les tendances actuelles se poursuivent : la préférence pour l'habitat individuel conduit à une poursuite de la périurbanisation.
Niveau de vie, revenus et distribution	Maintien des pratiques actuelles
Pratiques touristiques et du voyage de loisir	Maintien des pratiques actuelles

Pour conclure, cette formulation littérale des hypothèses a vocation à exprimer une intention. Elle constitue également un moyen d'introduire une certaine cohérence dans la construction des scénarios. Les deux étapes suivantes (4.2.2 et 4.2.3) permettront de traduire ces hypothèses en modifications d'un système décrit quantitativement et de représenter leurs conséquences.

4.2.2 Sélection des variables et définition des suites de variables du processus de simulation

Nous avons vu dans le chapitre 2 que l'une des étapes-clés du processus de simulation consistait à sélectionner les variables qui seront ajoutées à la matrice population initiale et l'ordre dans lequel elles seront ajoutées. C'est ce que nous appelons aussi la *suite de variables* d'un processus de simulation. La définition de cette suite doit répondre à plusieurs enjeux. Premièrement, elle doit contenir des variables permettant de quantifier et qualifier les usages énergétiques (sous-partie a)). Deuxièmement, elle doit contenir des variables représentatives des dimensions des modes de vie qui font l'objet de changements. Troisièmement, la suite doit permettre d'assurer la cohérence statistique du processus de simulation. Ces deux derniers enjeux sont traités conjointement dans la sous-partie b) où sont présentées les suites de variables finalement retenues.

Ce sont ces suites de variables qui permettront de piloter l'étape d'élaboration des matrices de corrélations à partir des données des enquêtes, puis ultérieurement de configurer le processus de simulation à mettre en œuvre.

a) Sélection des indicateurs des usages énergétiques

Afin de sélectionner des variables permettant de quantifier et qualifier les usages, nous proposons une décomposition en trois postes : usages énergétiques résidentiels, usages liés à l'achat de biens et services et usages liés à la mobilité. Les variables retenues, correspondant à des indicateurs par de ces usages, sont détaillées par poste ci-dessous.

i. Indicateurs des usages résidentiels

La consommation d'énergie du secteur résidentiel est couramment décomposée en quatre catégories d'usages : l'énergie nécessaire à l'atteinte du confort thermique (chauffage et refroidissement ; environ 68% de l'énergie finale du secteur en 2013 (CEREN, 2015)), l'énergie nécessaire à la mise à disposition d'eau chaude sanitaire (11%), l'électricité spécifique correspondant à plusieurs usages (15%) et l'énergie de la cuisson des aliments (6%). Nous nous intéressons dans cette étude aux changements relatifs aux trois premières catégories d'usages.

La consommation d'énergie pour l'atteinte du confort thermique du logement peut être décrite par l'Équation 6 (inspirée de Raux et al., 2006).

Équation 6

$$C_H = \sum_{z,h,d} e_{z,h,d} \times S_{z,h,d} \times C_{z,h,d}^U$$

z désigne la zone climatique ; h désigne le type de logement (individuel ou collectif) ; d désigne la période de construction ;

$e_{z,h,d}$ désigne l'effectif de logements de type h en zone climatique z et construits pendant la période d ;

$S_{z,h,d}$ désigne la surface moyenne de logements de type h en zone climatique z et construits pendant la période d ;

$C_{z,h,d}^U$ désigne la consommation unitaire des logements de type h en zone climatique z et construits pendant la période d .

Dans cet exercice, nous considérons que la consommation unitaire des logements est plutôt un facteur relatif à l'efficacité énergétique et que les deux autres facteurs représentent plutôt la composante « usages » de la consommation d'énergie. L'indicateur que nous chercherons à simuler sera donc la surface totale de logement par type (qui correspond au produit du nombre de logements par type par la surface moyenne). Nous construirons cet indicateur à partir de la variable « surface de logement par personne ». Dans l'exercice présenté ici, nous ne distinguons qu'une seule zone climatique⁹³. Les périodes de constructions seront quant à elle obtenues à l'aide d'un post-traitement que nous présentons dans la partie 4.2.4. Notons que l'évolution des surfaces de logement totales est également un indicateur représentatif du volume d'activité du secteur de la construction. Elle pourra ainsi être utile à la comptabilisation de la consommation d'énergie indirecte liée au secteur résidentiel.

La consommation d'eau chaude sanitaire est régie par des comportements individuels d'une grande variabilité. Toutefois, une variable explicative est régulièrement utilisée pour appréhender cette variabilité : la taille du ménage. Il s'agit par exemple de la seule variable retenue par le Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie (CEREN) pour estimer la consommation d'électricité associée à la fourniture d'eau chaude sanitaire (CEREN, 2007). Ainsi, le volume quotidien d'eau chaude consommé par personne décroît avec la taille du ménage (Figure 41). Or les scénarios d'évolution des modes de vie prévoient justement des modifications des pratiques de cohabitation. Nous utiliserons donc cette corrélation entre taille du ménage et volumes quotidiens d'eau chaude consommés par

⁹³ En distinguant plusieurs aurait nécessité de territorialiser les projections démographiques de départ. Or, comme nous le verrons les projections de l'Insee à l'horizon 2060 étaient disponibles à l'échelle nationale, alors que les projections régionalisées n'étaient disponibles qu'à l'horizon 2040.

individu pour construire un indice de consommation d'eau chaude sanitaire qui correspondra à la composante « usage » de la consommation d'énergie (utilisation des valeurs de la Figure 41). Des composantes relatives à l'efficacité ou aux comportements d'économie d'énergie pourront ensuite être introduites en utilisant d'autres modèles (p. ex. taux de satisfaction des usages, taux d'économie d'eau).

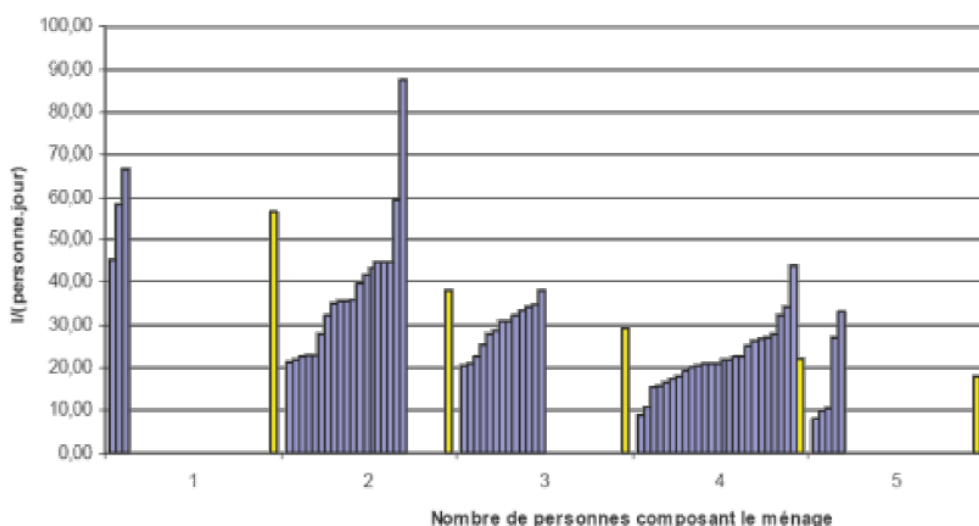


Figure 41 : Volume quotidien d'eau chaude à 60°C puisé par personne en fonction de la taille du ménage.
Source : EDF R&D Guillaume BINET © Copyright EDF ; graphique extrait de (Allibe, 2012).

L'électricité spécifique désigne la consommation d'électricité pour les autres usages que le chauffage, l'eau chaude sanitaire et la cuisson. Elle regroupe plusieurs usages : le froid alimentaire et le lavage (~35%), l'audiovisuel et l'informatique (~27%), l'éclairage (~10%), la climatisation et la ventilation (~4%) et les autres usages résidentiels (~24%) (données: RTE, 2016). Plusieurs facteurs liés aux modes de vie peuvent influencer cette consommation : la mutualisation d'équipements, la surface de logement (à éclairer), le type d'activités pratiquées et les temps de pratiques (p. ex. temps passé à regarder la télévision) ou encore la localisation de ces activités (p. ex. loisirs extérieurs ou à domicile). Nous avons choisi d'observer cette consommation de manière agrégée, c'est-à-dire en considérant sans distinction la totalité de la consommation d'électricité spécifique de chaque ménage. Nous avons construit pour cela un indice dédié et censé représenter plutôt la composante « usage » de cette consommation. La construction de celui-ci utilise une variable de consommation d'électricité des ménages disponible dans l'enquête logement. Afin d'isoler la consommation d'électricité spécifique, nous avons construit les arbres de régression en incluant uniquement les ménages qui n'utilisent l'électricité ni pour le chauffage, ni pour l'eau chaude sanitaire. L'indice est normalisé, c'est-à-dire que la consommation de chaque segment de population est rapportée à la consommation moyenne des ménages (calculée à partir de l'échantillon observé et des pondérations de l'enquête). Selon cet indice, la consommation moyenne des ménages est égale à 1 et l'indice varie de 0,60 à 2,78 pour les quinze segments issus de la segmentation des ménages.

Le Tableau 35 récapitule les trois indicateurs retenus pour le secteur résidentiel. Ces trois indicateurs ont une expression globale utile à la présentation des résultats et une expression unitaire (individu ou ménage) qui est construite par combinaison de variables de l'enquête logement. Ces versions unitaires sont introduites en tant que variables dans le jeu de données relatif à cette enquête en vue des traitements statistiques nécessaires (construction des arbres de décision, des matrices de corrélations).

Tableau 35 : Récapitulatif des indicateurs des usages énergétiques résidentiels retenus dans le cadre de l'exercice "France 2072"

	Indicateur global des usages	Commentaire
DEMANDE RESIDENTIELLE	Surface de logement par type (individuel ou collectif) <i>[en m²/personne]</i>	Un module d'évolution du parc permet de ventiler les surfaces par période de construction. La surface totale est obtenue par produit de la surface par personne avec le nombre d'individus.
	Indice de consommation d'électricité spécifique <i>[sans unité]</i>	Cet indice est construit à partir de la variable de consommation électrique (les logements chauffés à l'électricité étant retirés de l'échantillon). L'indice pour la population est obtenu par produit de l'indice unitaire (par ménage) avec le nombre de ménages.
	Indice de consommation d'eau chaude sanitaire <i>[sans unité]</i>	Ce proxy est un indice relatif à la taille des ménages, facteur considéré comme déterminant de la demande en eau chaude sanitaire. L'indice pour la population est obtenu par produit de l'indice unitaire (par ménage) avec le nombre de ménages.

ii. Indicateurs des usages liés à la demande en biens et services

Les demandes en biens (p. ex. alimentation, équipements audiovisuels) et en services (p. ex. assurance, service de restauration, santé) font partie des usages énergétiques indirects⁹⁴. Différentes étapes de leur cycle de vie induisent une consommation d'énergie (p. ex. fabrication, acheminement). Cette consommation est généralement comptabilisée à travers la consommation des secteurs productifs (industrie, secteur tertiaire, transport de marchandises, agriculture), bien qu'elle bénéficie en bout de chaîne aux ménages. Afin de tenir compte de cette consommation d'énergie indirecte des ménages, nous proposons

⁹⁴ La consommation d'électricité spécifique liée à l'usage des biens électriques et électroniques est intégrée aux usages énergétiques résidentiels.

d'étudier l'évolution de la demande en une sélection de biens durables⁹⁵ ancrés dans la société actuelle : la voiture, les équipements électroménagers, les équipements audiovisuels, les biens informatiques, les biens numériques, les meubles et les équipements de jardin (cf. Tableau 36 pour le détail de la construction des indices).

La consommation d'énergie indirecte liée à la demande en biens et services peut être décrite par l'Équation 7.

Équation 7

Pour une année n , la consommation d'énergie $C_j(n)$ nécessaire à la mise à disposition d'un bien j peut être décomposée selon la formule suivante :

$$C_j(n) = \varphi(n) \times a_j(n) \times c_j(n)$$

φ la taille de la population, en nombre d'individus ou de ménages ;

a_j la consommation annuelle moyenne d'un bien j par individu ou par ménage ;

c_j la consommation d'énergie unitaire pour la mise à disposition d'un bien (fabrication, transport, etc.).

Dans cet exercice, nous considérons que la consommation d'énergie unitaire est plutôt un facteur relatif à l'efficacité énergétique⁹⁶ et que la taille de la population φ et la consommation annuelle moyenne a_j d'un bien (par individu ou par ménage) constituent les facteurs relatifs à la composante « usages » de cette consommation d'énergie indirecte. Ces facteurs équivalent aux volumes d'achat de biens neufs à l'échelle de la population entière.

Pour quantifier ces usages, nous avons construits des indicateurs agrégés d'achats par catégories de biens à partir de variables du nombre d'achats annuels de ces biens disponibles dans l'enquête « budget des ménages » (sauf pour la voiture, traitée directement). La composition de ces indices agrégés est détaillée dans le Tableau 36. Les versions unitaires de ces indices sont obtenues par combinaison de variables et sont introduites sous forme de variables dans les jeux de données issus de l'enquête budget des ménages afin de faire l'objet des traitements nécessaires (construction d'arbres de décision, des matrices de corrélations). Des versions agrégées à l'échelle de la population seront ensuite calculées en vue de la présentation des résultats.

Tableau 36 : Composition des indices d'équipements et d'achats. *Les indices construits par catégorie de biens agrègent plusieurs types de biens précisés dans la deuxième colonne. Lorsque cela était possible, des pondérations ont été attribués aux différents types de bien afin de tenir compte de leur « poids » relatif. Ces pondérations se sont*

⁹⁵ Catégorie de bien permettant une utilisation répétée et prolongée dans le temps selon une classification des biens en fonction de leur durée de vie. Trois catégories sont distinguées : les biens durables, semi-durables et non durables. A titre d'exemple, les équipements électroménagers font partie des biens durables, les vêtements sont des biens semi-durables et les biens alimentaires sont des biens non durables (car ils sont utilisables une seule fois).

⁹⁶ Le facteur (c_j) s'intéressant à l'ensemble des modalités de mise à disposition des biens pourra être étudié par d'autres modèles (modèles représentant l'appareil productif et le secteur énergétique).

basées sur des facteurs d'émissions de gaz à effet de serre lorsqu'ils étaient disponibles sur la base de données <http://bilans-ges.ademe.fr/>.

Indice	Biens concernés et pondérations (entre parenthèse)
Équipements électroménagers	Réfrigérateurs (1), congélateurs indépendants (1), lave-linges (1), sèche-linges (1), lave-vaisselles (1)
Équipements audiovisuels	Téléviseurs (4), <i>home cinéma</i> et vidéoprojecteurs (4), lecteurs DVD/Blue Ray de salon (2), consoles de jeux vidéo (1)
Biens informatiques	Ordinateurs de bureau (20), ordinateurs portables (10), netbooks et ultraportables (3), tablettes PC et iPad (3), téléphones portables (1)
Biens numériques	Appareils photos numériques (1), caméscopes numériques (1), baladeurs et lecteurs CD/MP3 (1), lecteurs vidéo portables (1), cadres numériques (1)
Biens d'ameublement	Tables et chaises de salle à manger (1), autres meubles de salle à manger (1), sièges, fauteurs ou canapés (3), autres meubles de salon ou séjour (1), meubles pour chambre à coucher (2), matelas et literie (3), meubles de cuisine ou de salle de bain (3), meubles d'extérieur et de jardin (1), barbecues de jardin (1), meubles pour informatique (1), étagères ou rayonnages pour garage (1), meubles pour puériculture (1), lot de meubles (3), autres meubles (1)
Équipements de bricolage et de jardinage	Tondeuse à gazon (4), motoculteur (4), pompe ou système d'arrosage (2), nettoyeur haute pression (4), taille-haie ou tronçonneuse (2), perceuse, scie sauteuse, poste à souder (1)

Notons toutefois que pour les véhicules automobiles, nous avons opté pour l'usage d'un indicateur de la taille du parc automobile, obtenu à partir d'une variable du niveau d'équipement des ménages (disponible dans toutes les enquêtes) plutôt qu'un indicateur d'achat. Ce choix est motivé par des enjeux de complémentarité avec les autres modèles utilisés dans l'exercice. Le Tableau 37 récapitule les indicateurs retenus pour les usages énergétiques liés à la demande en biens et services.

Tableau 37 : Récapitulatif des indicateurs des usages énergétiques indirects liés à la demande en biens retenus dans le cadre de l'exercice "France 2072"

	Indicateur des usages	Commentaire
DEMANDE EN BIENS	Taille du parc de véhicules automobiles <i>[en nombre de véhicules]</i>	La taille totale du parc est obtenue par produit avec le nombre de ménages.
	Indice d'achats de biens électroménagers, informatiques, audiovisuels, numériques, de meubles et d'équipements pour le jardin <i>[sans unité]</i>	L'indice global pour la population est obtenu par produit avec le nombre de ménages.
DEMANDE EN SERVICES	Non abordée	-

iii. Indicateurs des usages liés à la mobilité

Deux types principaux de mobilité sont généralement distingués pour analyser les déplacements : la mobilité locale et la mobilité à longue distance. La mobilité locale regroupe l'ensemble des déplacements réalisés à l'occasion d'activités situées à moins de 80 km du domicile. Son champ couvre donc globalement les activités quotidiennes : se rendre sur son lieu de travail, sur son lieu d'étude, dans un magasin, sortir avec ses amis ou encore effectuer une démarche administrative. En 2008, elle représentait environ 98% des déplacements et 60% des distances parcourues par l'ensemble de la population annuellement (Armoogum et al., 2008). La mobilité à longue distance correspond aux déplacements réalisés pour des activités situées à plus de 80 km du domicile. Représentant seulement 2% des déplacements annuels de la population, ces activités revêtent donc généralement un caractère relativement exceptionnel (p. ex. voyage de vacances, déplacement professionnel occasionnel, visite à des membres de la famille à l'étranger). Ces déplacements représentent toutefois 40% des distances parcourues annuellement par la population française. L'enquête nationale transport et déplacements (dernière édition en 2008) distingue ces deux types de déplacements et prévoit deux modalités spécifiques de recueil des données correspondantes (sur une ou deux journées pour l'une, sur plusieurs semaines pour l'autre). Il s'agit de la seule enquête s'intéressant également à l'articulation entre ces deux types de mobilité. Afin de couvrir l'ensemble des déplacements de la population, nous proposons des indicateurs couvrant ces deux types de mobilité.

Qu'elle soit locale ou à longue distance, la consommation d'énergie associée à la mobilité de la population française peut être exprimée à partir de l'Équation 8.

Équation 8

La demande en énergie $C_m(n)$ liée la mobilité des individus pour une année n peut être exprimée ainsi :

$$C_m(n) = \varphi(n) \times d(n) \times \sum_k [\alpha_k(n) \times c_k(n)]$$

avec

φ la taille de la population ;

d la distance moyenne annuelle parcourue par individu ;

α_k la part modale du mode de transport k (avec $\sum_k \alpha_k = 1$) ;

c_k la consommation d'énergie unitaire du mode de transport k .

Le produit $\varphi(n) \times d(n)$ correspond à la distance totale parcourue.

Dans cet exercice, nous considérons que la consommation unitaire d'énergie des modes de transport relève plutôt de problématiques d'efficacité énergétique et que les trois autres

facteurs relèvent plutôt de la composante « usages ». Nous proposerons donc des indicateurs des distances parcourues à partir des variables disponibles dans l'enquête nationale transport et déplacements (nombre de trajets par individu et par jour et distance par trajet). Pour des questions de complémentarité avec les autres modèles utilisés dans l'exercice, nous ne préciserons en revanche pas les parts modales de chaque mode de transport⁹⁷. À la place, nous proposerons une désagrégation par tranche de distances des distances parcourues. En effet, la distance est un paramètre déterminant des choix modaux comme l'illustre la Figure 42. L'objectif est de fournir une structure de la mobilité relative aux usages tout en laissant une marge de manœuvre à la simulation de modification des infrastructures par d'autres modèles.

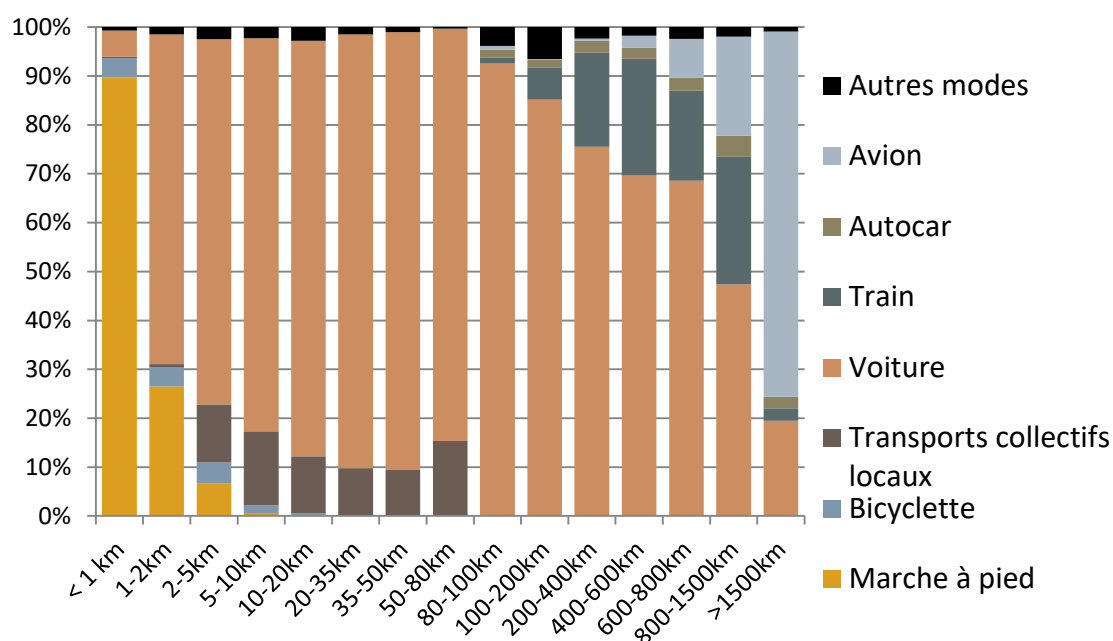


Figure 42 : Parts modales par tranche de distance pour la mobilité des personnes (source des données : enquête nationale transports et déplacements 2008).

Le Tableau 38 récapitule les indicateurs retenus pour quantifier l'usage d'énergie lié à la mobilité des individus.

⁹⁷ Notons toutefois qu'ils ont été simulés dans le cadre d'un autre exercice mené à l'aide de l'approche statistique proposée (voir le papier présenté au cours de la conférence SDEWES 2016).

Tableau 38 : Récapitulatif des indicateurs des usages énergétiques liés à la mobilité retenus dans le cadre de l'exercice "France 2072"

	Indicateur des usages	Commentaire
DEMANDE EN MOBILITE	Locale : distances parcourues annuellement par individu par tranche de distance de déplacements <i>[en km.passager]</i>	La distance totale est obtenue par produit des variables « nombre de trajets par jour par individu », « distance par trajet » et du nombre d'individu et rapporté à l'année.
	Longue distance : distances parcourues annuellement par individu par tranche de distance de déplacements <i>[en km.passager]</i>	La distance totale est obtenue par produit des variables « nombre de trajets par jour par individu », « distance par trajet » et du nombre d'individu et rapporté à l'année.

b) Définition des suites de variables

Nous avons présenté le travail préparatoire à la définition de la suite de variables du processus de simulation dans le chapitre 3 (partie 3.2.3). Il consiste à construire et analyser une série d'arbres de décision relatifs d'abord aux variables représentatives des usages énergétiques (voir ci-dessus) puis relatifs aux variables les plus déterminantes des arbres obtenus. La sélection finale de variables doit tenir compte à la fois du pouvoir explicatif des différentes variables et du souci d'intégrer des variables représentatives des dimensions des modes de vie sur lesquelles portent les changements. Nous présentons dans un premier temps les suites retenues, avant de présenter la manière dont elles répondent à ce second enjeu.

Dans le cadre de l'exercice « Dessiner une France zéro émission à l'horizon 2072 », deux suites de variables ont été définies : l'une appliquée aux ménages, l'autre appliquée aux individus. Cela conduit à deux processus de simulation disjoints pour une seule et même population⁹⁸. La suite de variables du processus « ménages » est présentée dans le Tableau 39, la suite du processus « individus » dans le Tableau 40. Pour chacun des tableaux, une ligne correspond à une opération relative à une variable et appliquée à la matrice population. La première colonne indique l'opération en question, à savoir l'ajout ou le retrait d'une variable à la matrice population. Notons que la ou les variables de la matrice population initiale, également incluse(s) dans le tableau, ne font pas l'objet d'une opération. La seconde colonne indique le nom de la variable en question et la troisième, son libellé. La

⁹⁸ Comme nous l'avons signalé dans la partie 3.4.2, ces deux processus pourraient en principe être joints, mais cela nécessiterait de passer par la résolution d'un problème d'appariement, problème que nous avons sorti du champ de nos investigations.

quatrième colonne indique le nombre de modalités de la variable correspondante (p. ex. deux pour le type de logement : maison individuelle ou immeuble collectif). La cinquième colonne indique la version de la matrice population sur laquelle est réalisée l'opération (désignée par le nom de la dernière variable ajoutée). Par exemple, ci-dessous la variable « couplepr » est ajoutée à la matrice population dont la dernière variable ajoutée était « ageprq ». Les lignes sur fond blanc correspondent aux variables de construction, les lignes sur fond bleu correspondent aux variables-cibles⁹⁹, c'est-à-dire les variables qui permettent de quantifier les usages énergétiques à l'issue de la simulation.

Tableau 39 : Suite de variables du processus « ménages » pour l'exercice « Dessiner une France zéro émission à l'horizon 2072 ». Les cases bleues contiennent les variables « résultats ». NB : certaines des variables présentées ont été renommées (dans une ou plusieurs enquêtes), modifiées (p. ex. regroupements de modalités) voire créées (par combinaison, calcul de plusieurs variables existantes).

Opération	Nom de la variable	Libellé de la variable	Nombre de modalités	Etape précédente
-	nperm	Nombre de personnes du ménage	10	-
Ajout	ageprq	Age quinquennal de la personne de référence du ménage	18	nperm
Ajout	couplepr	Vie en couple de la personne de référence	2	ageprq
Ajout	cs8pr	Catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence	8	couplepr
Ajout	tugg	Tranche de taille de l'unité urbaine de la résidence principale du ménage (au recensement de la population 1999)	9	cs8pr
Ajout	numcom_AUCat	Catégorie d'aire urbaine de la résidence principale	4	tugg
Ajout	inl4	Type de logement (individuel ou collectif)	2	numcom_AUCat
Ajout	spp	Surface de logement par personne	Numérique	inl4
Ajout	ielsp	Indice de consommation d'électricité du ménage	Numérique	spp
Ajout	jnbveh	Nombre de voitures du ménage	Numérique	inl4
Ajout	sdeln	Indice d'équipement électroménager du ménage	Numérique	inl4
Ajout	sdaun	Indice d'équipement audiovisuel du ménage	Numérique	inl4
Ajout	sdinfn	Indice d'équipement informatique du ménage	Numérique	inl4
Ajout	sddnumn	Indice d'équipement numérique du ménage	Numérique	inl4
Ajout	asdel	Indice d'achats d'équipements électroménagers du ménage	Numérique	sdeln
Ajout	asdau	Indice d'achats d'équipements audiovisuels	Numérique	sdaun

⁹⁹ Notons que la frontière entre variables de construction et variables-cibles n'est pas toujours nette. D'une part, une variable peut jouer les deux rôles tour à tour. D'autre part, une variable de construction peut être utile pour détailler des résultats (p. ex. la variable « inl4 » permet de ventiler les surfaces de logements par type).

Ajout	asdnf	Indice d'achats d'équipements informatiques du ménage	Numérique	sdinf
Ajout	asnum	Indice d'achats d'équipements numériques	Numérique	snum
Ajout	asmeu	Indice d'achats de meubles du ménage	Numérique	inl4
Ajout	asdj	Indice d'achats d'équipements de jardin du ménage	Numérique	inl4

La suite de variables du Tableau 39 correspond au processus où l'unité de base est le ménage, c'est-à-dire que la colonne « effectif » de la matrice population dénombre les ménages. Cette suite comprend une variable initiale : celle qui renseigne le nombre de personnes du ménage (nperm). Cette variable constitue la variable la plus déterminante de cette suite de variables et est donc positionnée la plus en amont. Elle fait en outre l'objet d'hypothèses directes sur la distribution des ménages par taille. Sont ensuite ajoutées tour à tour plusieurs variables à partir de la matrice initiale et de matrices de corrélation (p. ex. la matrice de la variable « tugg » en fonction des quatre variables de la matrice population disponibles à ce stade de la reconstruction de la matrice). La variable « spp » (surface de logement par personne) est la première variable-cible listée dans le tableau. Elle permet d'estimer la demande en logement selon une unité de surface. Cette variable est ensuite utilisée pour obtenir l'indice de consommation d'électricité du ménage. Notons que la plupart des variables listées ensuite sont obtenues à partir d'une même matrice, celle qui contient les sept premières variables du tableau (jusqu'à inl4, variable relative au type de logement). La Figure 43 permet d'illustrer le fait que le processus d'enrichissement de la matrice population jusqu'à l'obtention des variables relatives aux usages énergétiques n'est pas unique. Dans cet exemple, il occasionne la génération de huit matrices population « finales ».

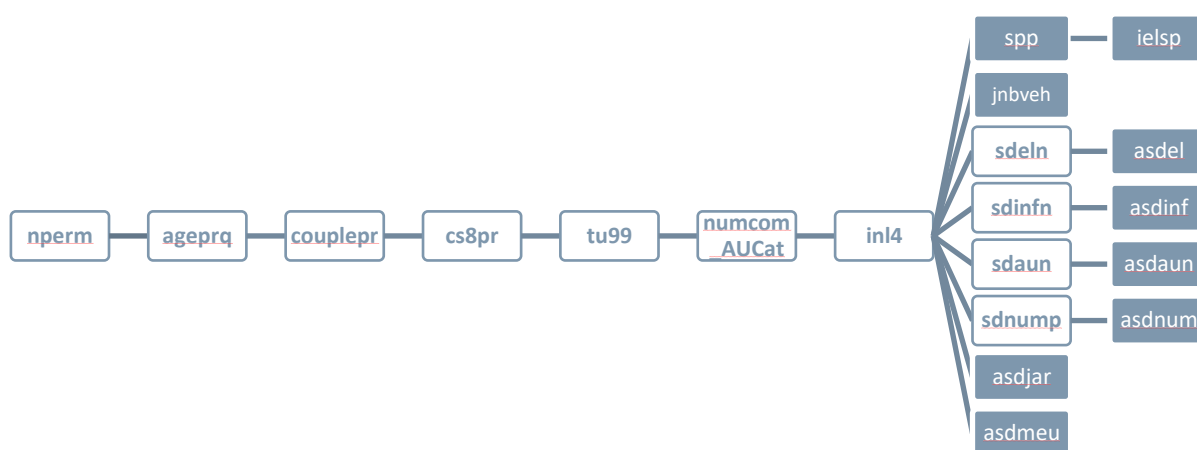


Figure 43 : Représentation du processus "ménage" jusqu'aux variables-résultats

Le Tableau 40 représente la suite de variables du processus dont l'unité de base est l'individu. Ce processus permet dans cet exercice d'obtenir les indicateurs relatifs aux mobilités locale et longue distance. Le point de départ de ce processus est une matrice population renseignant les effectifs par tranche d'âge et par genre (information qui peut être fournie par une pyramide des âges). Quatre variables relatives aux individus ou au

ménage auquel ils appartiennent sont ensuite ajoutées à la matrice population. Ce sont ensuite onze variables qui sont ajoutées à cette même matrice population générant ainsi onze matrices population (voir aussi Figure 44). Les dix premières concernent la mobilité courte distance et correspondent au nombre de déplacements par jour des individus qui sont décomposés en dix motifs (p. ex. achats, école, visite, loisirs). Ces dix matrices sont ensuite enrichies sur un même modèle jusqu'aux variables de distances des déplacements. La onzième matrice population va permettre de simuler la demande en mobilité longue distance. Au cours de ce processus de simulation à l'échelle de l'individu, le nombre de variables et de modalités devient critique car il engendre des temps de calcul très élevés. Pour surmonter ce problème, certaines variables utilisées pour assurer la cohérence statistique lors de l'ajout d'une variable sont ensuite retirées car peu influentes pour l'ajout de variables ultérieures (p. ex. « situam » et « cs8pr » ci-dessous). Elles sont signalées par une police orangée dans le Tableau 40.

Tableau 40 : Suite de variables du processus « individu » pour l'exercice « Dessiner une France zéro émission à l'horizon 2072 ». Les cases bleues contiennent les variables « résultats ». La police rouge fait référence au retrait de variables de la matrice. NB : certaines des variables présentées ont été renommées (dans une ou plusieurs enquêtes), modifiées (p. ex. regroupements de modalités) voire créées (par combinaison, calcul de plusieurs variables existantes).

Opération	Nom de la variable	Libellé de la variable	Nombre de modalités	Etape précédente
-	sexe	Sexe de l'individu	2	-
-	ageq	Âge quinquennal de l'individu	21	-
Ajout	situam	Situation de l'individu (scolaire, actif ayant un emploi, retraité, etc.)	7	ageq
Ajout	ageprq	Âge quinquennal de la personne de référence du ménage	18	situam
Ajout	cs8pr	Catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence	8	ageprq
Ajout	tugg	Tranche de taille de l'unité urbaine de la résidence principale du ménage (au recensement de la population 1999)	9	cs8pr
Ajout	motsi1 (une variable pour chaque motif)	Nombre de déplacements quotidiens pour le motif 1 (« école, étude »)	Numérique	tugg
Ajout	numcom_AUCat	Catégorie d'aire urbaine de la résidence principale	4	motsi1 (une variable pour chaque motif)
Retrait	cs8pr	Catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence	8	numcom_AUCat
Ajout	cs8	Catégorie socioprofessionnelle de l'individu	8	cs8pr (ci-dessus)
Retrait	situam	Situation de l'individu	7	cs8
Ajout	jnbvehb	Nombre de voitures du ménage (en 3 modalités : "0", "1" ou "2 et plus")	3	situam (ci-dessus)

Ajout	dmotsi1 (une variable pour chaque motif)	Distance moyenne des déplacements pour le motif 1	Numérique	jnbvehb
Ajout	cs8	Catégorie socioprofessionnelle de l'individu	8	tugg
Retrait	situam	Situation de l'individu	7	cs8 (ci-dessus)
Retrait	sexe	Sexe de l'individu	2	situam (ci-dessus)
Ajout	nivie10	Décile de revenus	10	sexe (ci-dessus)
Ajout	logsecond	Disposition d'une résidence secondaire	2	nivie10
Ajout	nanld	Nombre de déplacements « longue distance » sur l'année	Numérique	logsecond
Ajout	DistLD	Distance moyenne de déplacements « longue distance » sur l'année	Numérique	nanld

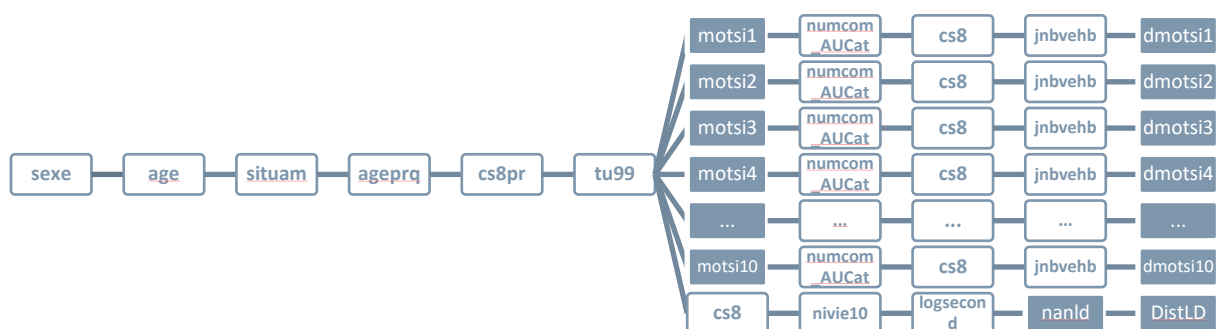


Figure 44 : Représentation du processus "individu" jusqu'aux variables-résultats (les retraits de variables ne sont pas représentés)

c) Quelles variables pour représenter les dimensions des modes de vie ?

Ces deux suites de variables ont pour ambition de répondre à l'enjeu de rendre le système sensible aux changements de modes de vie envisagés. Le Tableau 41 établit les correspondances entre les dimensions des modes de vie qui font l'objet d'hypothèses de changements et les variables des deux suites qui les représentent. Il permet de constater que chaque dimension est représentée par une ou plusieurs variables, mais que certaines variables ne sont présentes que dans un processus. Dans la plupart des cas, cela est lié à un choix méthodologique : la variable n'avait que peu d'influence sur les variables de la suite (et en particulier les variables relatives aux usages de l'énergie) ou était concurrencée par une variable plus pertinente statistiquement et fortement corrélée (p. ex. la variable « revenus » n'est guère explicative lorsque la variable « catégorie socioprofessionnelle » est disponible). Dans certains cas toutefois, l'absence d'une variable est davantage la résultante d'une contrainte méthodologique liée au problème d'appariement que nous n'avons pas traité.

Tableau 41 : Tableau récapitulatif des variables représentatives des dimensions des modes de vie dans les deux processus de simulation. Les variables marquées d'un astérisques sont aussi des variables-cibles, c'est-à-dire utilisées directement pour quantifier les usages énergétiques.

DIMENSIONS	VARIABLES REPRESENTATIVES	PROCESSUS	
		Ménage	Individu
Comportements démographiques	Âge et effectifs par âges (matrice population initiale)	Non	Oui
Pratiques de cohabitation	Taille du ménage	Oui	Non
Choix des modalités d'habitation (localisation de l'habitat)	Tranche de taille de l'unité urbaine de la résidence principale du ménage Catégorie d'aire urbaine	Oui	Oui
Attitude à l'égard du travail	Situation de l'individu (actif ayant un emploi, chômeurs) Nombre de déplacements quotidiens motif travail	Oui	Oui
Niveau de vie, revenus et distribution	Décile de revenus	Non	Oui
Choix des modalités d'équipement et rapport aux technologies	Indice d'équipement électroménager du ménage Indice d'équipement audiovisuel du ménage Indice d'équipement informatique du ménage Indice d'équipement numérique du ménage	Oui	Non
Pratiques de mobilité et rapport à l'espace	Nombre de déplacements quotidiens par motif* Distance moyenne des déplacements par motif * Nombre de voitures du ménage*	Non	Oui
Pratiques touristiques et du voyage de loisir	Nombre de déplacements « longue distance »* Distance des déplacements « longue distance »*	Non	Oui

Ce tableau appelle deux remarques relatives aux choix de désagrégation de certains problèmes. Tout d'abord nous avons conservé à la fois les variables de nombre de déplacements et de distance par trajet pour la mobilité, permettant d'aborder deux notions distinctes. La première est le besoin en mobilité, qui résulte des activités pratiquées (modalités d'usage du temps) et des déplacements effectifs ou virtuels qu'elles engendrent (équilibre entre réel et virtuel). La seconde est la notion d'espace de vie, composé d'un ensemble de lieux avec lesquels un individu est en rapport, et dont l'étendue peut largement varier. Nous avons également conservé une désagrégation de ces deux variables (nombre et distance des trajets) par motifs afin d'explicitier le type d'activités pratiquées¹⁰⁰. Ensuite, nous avons adjoint aux variables relatives à l'achat de biens des variables de niveau d'équipements des ménages. Elles en constituent en effet à la fois une variable explicative majeure et une variable plus directement relative à la dimension « choix des modalités

¹⁰⁰ École ou études ; achats ; soin ; visite ; accompagner ou aller chercher ; loisirs ; voyage ; professionnel ; trajet domicile-domicile ; autres.

d'équipements et rapports aux technologies ». Les indices de niveaux d'équipement des ménages sont construits sur le même modèle que les indices d'achats.

Dans la partie suivante, nous présentons la manière dont les matrices relatives à ces variables ont été transformées dans cet exercice.

4.2.3 Transformation des matrices

Dans cette partie, nous proposons de revenir en détail sur l'introduction des hypothèses de changement dans le processus de simulation. Comme expliqué dans la section 3.3, cette tâche consiste à transformer certaines matrices de corrélations ou la matrice population initiale. Dans l'exercice que nous présentons, nous avons travaillé d'abord sur une image des changements à l'horizon 2072 (sous-parties (a)) à (i))) avant de construire les images intermédiaires (sous-partie (j)), c'est-à-dire selon une approche de type *backcasting*. Signalons que dans cet exercice qui vise avant tout à explorer des scénarios contrastés et globaux d'évolution des modes de vie, les transformations de matrices ne sont pas étayées par des analyses complémentaires (p. ex. études rétrospectives).

a) *Comportements démographiques à l'horizon 2072*

L'évolution de la démographie est à la base des scénarios élaborés. Deux hypothèses distinctes ont été formulées pour les trois scénarios (cf. Tableau 33, p. 176), une hypothèse étant commune à deux scénarios.

Pour les scénarios « *current practices* » et « *collective society* », nous considérons une évolution tendancielle de la population, c'est-à-dire prolongeant les tendances passées. En France, l'Insee et l'INED réalisent régulièrement des projections démographiques qui font référence en adoptant ce principe. Nous nous sommes donc basés sur les plus récentes projections disponibles au moment de l'étude (Blanpain et Chardon, 2010). Ces simulations reposent sur des modèles de projection démographique représentant les dynamiques démographiques et dont les trois facteurs principaux sont l'indice de fécondité, l'espérance de vie à la naissance et le solde migratoire. Les projections considérées étudient à l'horizon 2060 trois variantes pour chacun des trois facteurs précédemment cités (valeur haute, valeur médiane basse, valeur médiane, soit vingt-sept projections). Pour construire la matrice population initiale des scénarios « *current practices* » et « *collective society* », nous avons prolongé la projection centrale de l'Insee, c'est-à-dire celle qui considère des valeurs médianes pour les trois facteurs. L'hypothèse peut être intégralement représentée sous la forme d'une pyramide des âges (effectifs de population par âge et par genre).

Pour le scénario « *digital society* », nous souhaitons disposer d'une structure des âges significativement différente pour une taille de population sensiblement équivalente afin de

faciliter les comparaisons. Aucune des simulations de l'Insee ne correspondant à ces souhaits, nous avons donc construit une nouvelle projection (travail réalisé à l'aide du modèle de type « dynamique des systèmes » développé et décrit au Centre de Mathématiques Appliquées par Briens (2015)). Cette projection considère un indice de fécondité inférieur à celui du scénario central de l'Insee et une espérance de vie accrue dans des proportions permettant l'atteinte d'une population de taille équivalente¹⁰¹ en 2072 à celle des deux autres scénarios (~ 75,4 millions d'habitants pour la France métropolitaine, pour ~ 62,8 millions en 2010).

La Figure 45 représente la structure des âges à l'horizon 2072 pour les trois scénarios. Le vieillissement de la population est clairement visible pour les trois scénarios, et davantage accentué pour le scénario « *digital society* ».

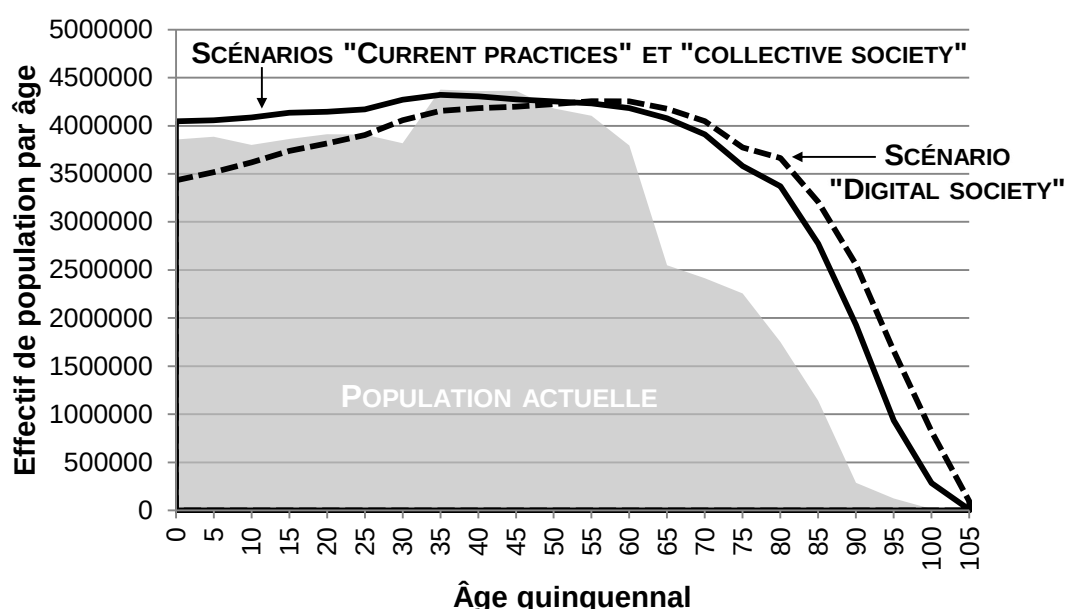


Figure 45: Structure des âges en 2072 pour les trois scénarios et comparaison à la population actuelle

Finalement, le détail des effectifs de population par âge et par genre à l'horizon 2072 – qui résulte de ce travail de formulation des hypothèses de comportements démographiques – constitue le point de départ du processus de simulation mené à l'échelle de l'individu, c'est-à-dire sa matrice population initiale. En revanche, l'évolution de la structure des âges n'a pu être intégrée dans le processus mené à l'échelle du ménage, car cela aurait nécessité de mettre au point un module de simulation spécifique pour l'appariement des individus et la constitution des ménages.

¹⁰¹ Notons que nous aurions pu aussi faire le choix de ne pas contrôler la taille de la population, les différentes hypothèses de futurs comportements démographiques auraient conduit à des populations de taille différente, ce qui aurait fait partie du défi d'atteinte d'une France zéro carbone en 2072.

b) Pratiques de cohabitation à l'horizon 2072

Les hypothèses d'évolution des pratiques de cohabitation font partie des hypothèses structurantes des scénarios que nous avons élaborés. Dans le processus mené à l'échelle du ménage, l'influence de cette dimension est telle qu'elle nous a conduits à faire de la taille des ménages – résultante des pratiques de cohabitation – la première variable de description de la population. La matrice population de départ de ce processus détaille donc les effectifs de ménages par taille. En revanche dans le processus mené à l'échelle de l'individu, la taille des ménages ne figure pas parmi les variables les plus influentes. Elle n'a donc pas nécessité de transformation de matrices.

Nous avons fixé des hypothèses différenciées de distribution des ménages par taille. Le scénario « *current practices* » sert de référence, l'hypothèse de distribution tente de traduire les tendances passées et les conséquences du vieillissement de la population. Les deux autres hypothèses de distributions sont définies "de part et d'autre" de cette référence Figure 46, dans une logique de scénarios exploratoires.

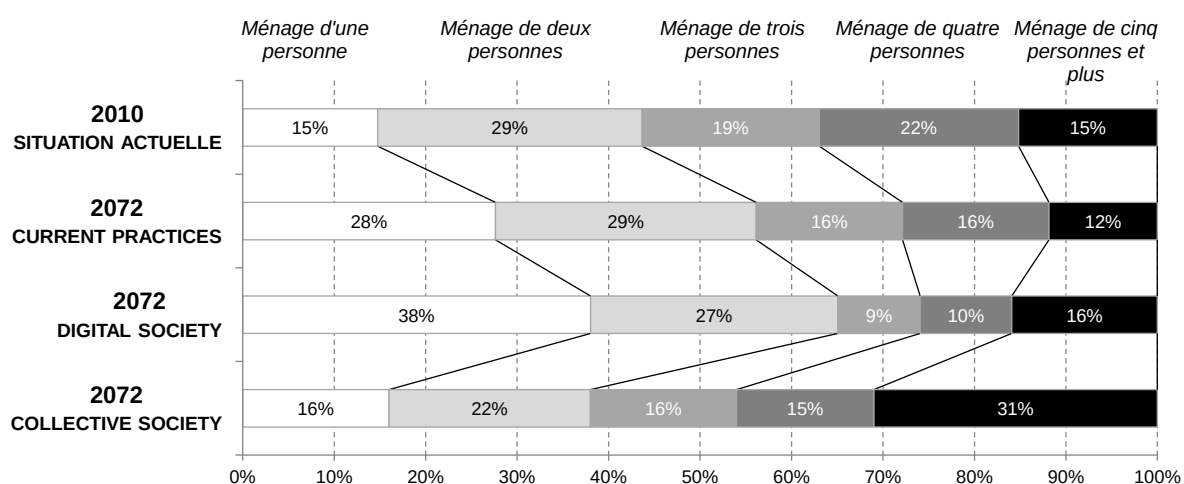


Figure 46 : Hypothèses de distribution des ménages par taille pour les trois scénarios (et situation actuelle)

c) Choix de localisation des ménages à l'horizon 2072

Les choix de localisation des ménages font également partie des hypothèses structurantes des scénarios. Ils sont aujourd'hui dépendants de multiples facteurs, comme la catégorie socioprofessionnelle et l'âge de la personne de référence par exemple. Afin de conserver certaines caractéristiques de la distribution actuelle (p. ex. les préférences selon la position dans le cycle de vie – i.e. étudiant, parent, retraité, etc.) mais de faire évoluer la répartition de la population dans son ensemble, nous avons opéré à une transformation des deux matrices rendant compte du type d'espace dans lequel résident les ménages (variables « *tug9* » et « *numcom_AUCat* », pour plus de détail sur ces variables, voir Annexe 11).

La volonté de tester des hypothèses contrastées est le principal critère qui a régi la transformation de ces deux matrices, conduisant à proposer trois versions transformées pour chacune. Sur le modèle de l'exemple présenté dans la partie 0 (chapitre 3), les transformations ont été opérées en visant des proportions cibles de la population dans chaque zone lorsqu'elles sont utilisées dans un scénario de référence. Ces proportions sont représentées par la Figure 47 et la Figure 48. Notons que dans ce cas, la matrice du scénario « *current practices* » est également légèrement transformée afin de prolonger les tendances actuelles.

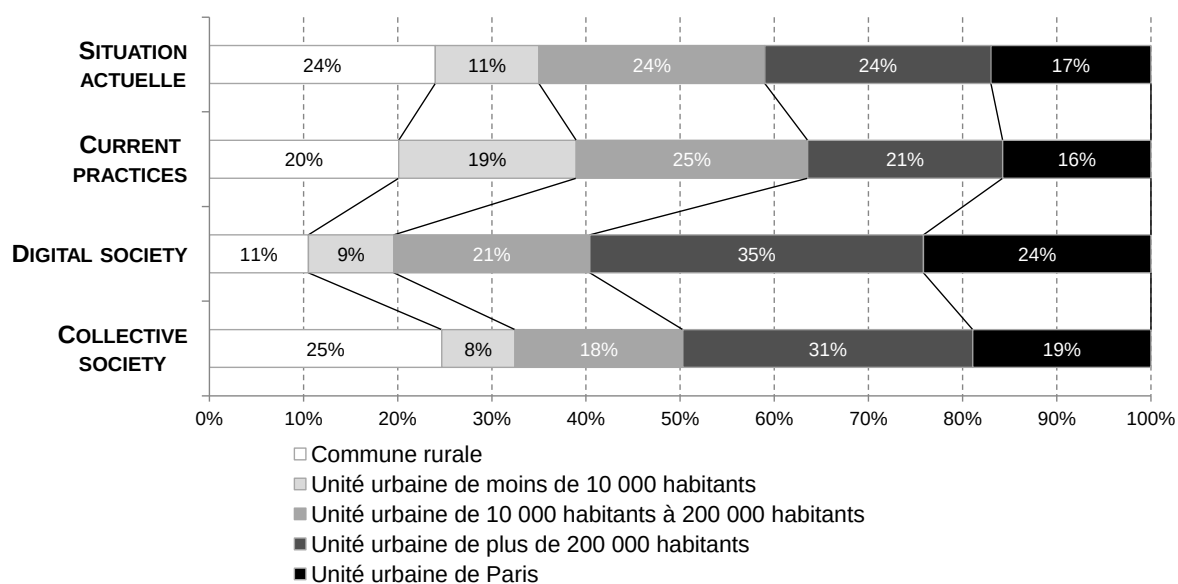


Figure 47. Proportions cibles de la population dans chaque tranche de taille d'unité urbaine en 2072 selon les scénarios. NB : les codes 1 et 2 d'une part et 3, 4, 5 et 6 sont ici regroupés pour faciliter la lecture.

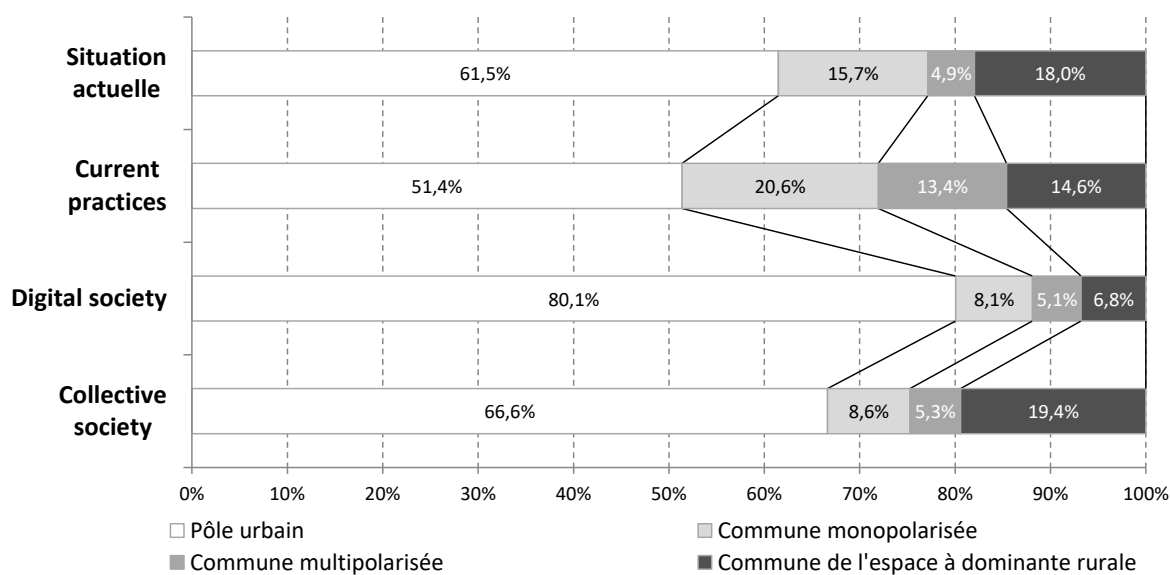


Figure 48. Proportions cibles de la population dans chaque catégorie d'aire urbaine en 2072 selon les scénarios.

Notons que cette modalité de transformation a été appliquée aux deux processus, « individus » et « ménages » avec l'objectif que les deux processus aient une même distribution des ménages et des individus par type d'espace.

d) Niveau de vie et distribution des revenus à l'horizon 2072

Le processus « individus » comprend une variable relative aux niveaux des revenus (variable d'appartenance à un décile de revenus). Le procédé de transformation de la matrice correspondante est le même que pour le choix de localisation des ménages, à savoir une transformation à partir de valeurs-cibles, valeurs-cibles qui sont elles-mêmes fixées par le modélisateur afin de tester des hypothèses contrastées. La distribution retenue dans cet exercice est présentée par la Figure 49. Le scénario « *digital society* » prévoit ainsi en principe une élévation du niveau de vie moyen contrairement aux deux autres. Notons toutefois qu'ici, la notion manipulée fait référence à des classes de revenus, qui ont un caractère relatif. Cette variable informe donc sur des équivalences de comportements plutôt que sur des niveaux absolus de revenus. Pour l'illustrer, prenons le dernier décile de la Figure 49. L'usage de cette variable signifie qu'en 2072 dans le scénario « *digital society* » environ 16% de la population adopte des comportements de dépenses équivalents à ceux des 10% des ménages ayant les revenus les plus élevés actuellement.

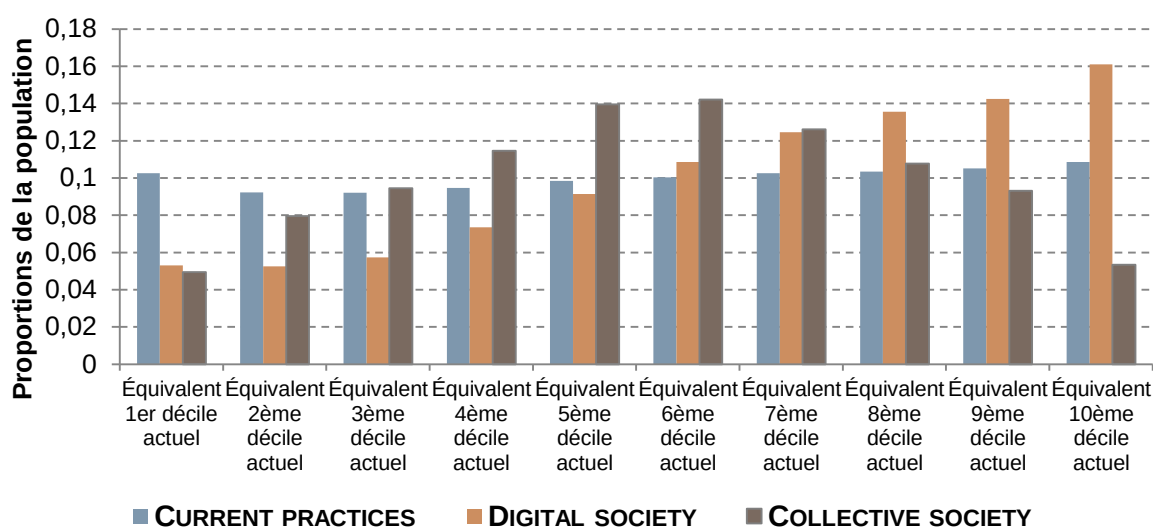


Figure 49. Hypothèses de distribution de revenus en 2072 pour les trois scénarios.

e) Modalités d'équipement et rapports aux technologies à l'horizon 2072

Dans le scénario « *digital society* », le rapport aux technologies évolue et leur rôle dans la société s'intensifie. Pour traduire cette hypothèse, les indicateurs qui font l'objet de notre attention sont des indices de niveau d'équipement et d'achats pour quatre catégories de

biens suivis dans l'enquête budget des ménages : les équipements électroménagers, les équipements audiovisuels, les biens informatiques et les biens numériques.

Dans cet exercice, nous considérons que l'omniprésence des biens technologiques se rapporte plutôt à des niveaux d'équipements des ménages (nombre de biens possédés par un ménage) plutôt qu'aux achats d'équipements (nombre de biens achetés par an). Les deux variables sont liées mais nous prenons ici le parti de transformer uniquement les matrices des niveaux d'équipement des ménages. Les niveaux d'équipements influent ensuite sur les volumes d'achats (p. ex. plus un ménage est équipé, plus ses achats sont fréquents pour le renouvellement). Les volumes d'achats sont les indicateurs de la consommation de ces biens et donc les indicateurs des usages énergétiques indirects que l'on souhaite obtenir. Les matrices relatives aux volumes d'achats (en fonction des niveaux d'équipement, de la composition des ménages, etc.) sont conservées intactes, traduisant des pratiques relativement stables à situation comparable (p. ex. la durée de vie des biens ne change pas radicalement).

Les matrices comprennent des valeurs d'un indice relatif d'équipement (la valeur 1 représentant la moyenne d'équipement de la population de 2010) pour dix à trente segments de population selon les biens et équipements concernés (d'après la segmentation issue de la construction des arbres de décision). L'hypothèse que nous adoptons ici consiste à considérer que les segments de population les plus équipés aujourd'hui s'approchent d'un seuil de saturation. Par conséquent, une augmentation générale du niveau d'équipement consisterait à tendre vers une homogénéisation des pratiques, en se rapprochant des plus équipés de 2010 selon la formule énoncée ci-dessous (Équation 5).

Équation 9

Soit I l'ensemble des segments de population i de pratique $p_n(i)$ l'année n . On a alors :

$$\forall i \in I, \quad p_{2072}(i) = \frac{\max_{k \in I}(p_{2010}(k)) + p_{2010}(i)}{2}$$

Cette proposition fait écho à la pratique en prospective consistant à considérer que les pratiques futures se trouvent en germes dans les pratiques actuelles. La Figure 50 représente à titre d'illustration les changements de valeur des indices pour les matrices des équipements électroménagers (à gauche) et informatiques (à droite).

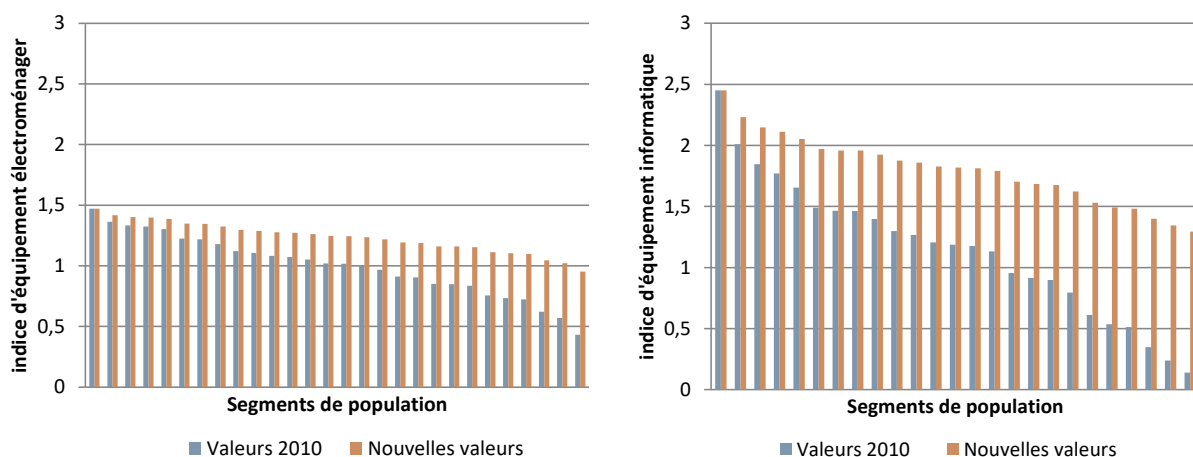


Figure 50 : Transformation des indices d'équipements dans le scénario "digital society" : l'exemple des équipements électroménagers (à gauche) et informatiques (à droite)

Cette figure permet de constater que les profils d'équipements sont actuellement très variables pour ces deux catégories de biens (valeurs 2010 cf. barres de couleurs bleue) : les disparités sont nettement plus fortes pour les biens informatiques (rapport de 1 à 3 d'une part et de 1 à 20 d'autre part entre les segments extrêmes). Dans ces conditions, la transformation de matrice proposée revient à considérer que l'usage de biens informatiques se généralise à tous les segments de population, entraînant une réduction de ces disparités (gommant par exemple l'effet « génération »). Les changements sont bien moins spectaculaires pour les équipements électroménagers dont le niveau d'équipement est plus homogène aujourd'hui.

f) *Pratiques touristiques et du voyage de loisir à l'horizon 2072*

Si plusieurs changements des modes de vie proposés précédemment peuvent jouer sur la demande en voyage à longue distance (p. ex. revenus, localisation des ménages), nous avons également souhaité formuler une hypothèse spécifique portant sur l'attrait pour ces voyages. Nous avons procédé de la même manière que pour les matrices d'équipement en biens technologiques : en rapprochant tous les segments de population des pratiques actuelles d'un segment de population « modèle ». Les pratiques concernées sont décrites par les matrices des variables « nombre de déplacements longue distance par an » et « distances des déplacements » (nommées respectivement *nanld* et *DistLD*). Guidés par la volonté de formuler des hypothèses contrastées, deux versions alternatives de chacune de ces matrices ont été construites. Pour la première matrice dont les transformations sont représentées par la Figure 51, les pratiques des deux segments extrêmes servant tour à tour de « modèle » sont conservées et les segments intermédiaires s'en rapprochent. Le segment « modèle » est pour le scénario « *digital society* » le segment actuel le plus mobile (à gauche), et pour le scénario « *collective society* » le segment actuel le moins mobile (à droite). Le segment actuellement le moins mobile est composé des agriculteurs, employés, ouvriers, retraités ou autre disposant de revenus faibles (trois premiers déciles). Le segment

le plus mobile correspond aux artisans, commerçants, chefs d'entreprise, cadres et professions intellectuelles supérieures de 30 à 44 ans habitant en communes rurales ou en unité urbaine petite (5 à 9 999 habitants) ou moyenne (20 à 49 999 habitants) et aux revenus intermédiaires ou élevés (déciles 3, 4, 7 et 10).

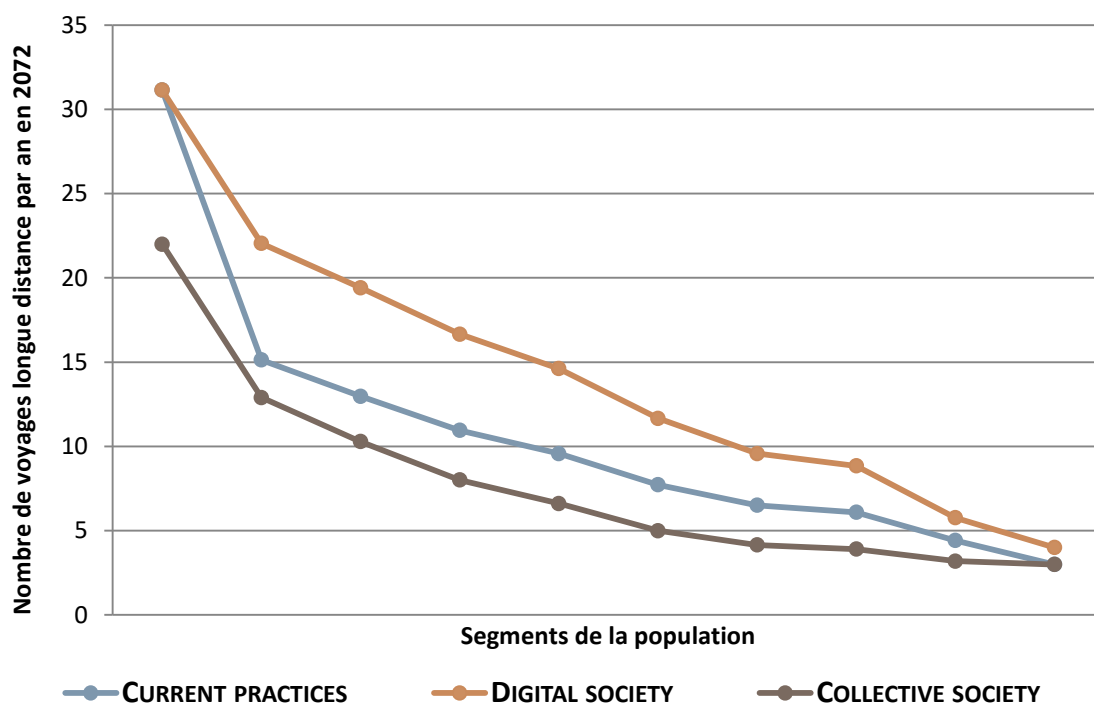


Figure 51 : Représentation graphique de la transformation de la matrice du nombre de voyages longue distance par an pour les trois scénarios à l'horizon 2072

La démarche est équivalente pour la matrice de la variable « distances de déplacement » avec une matrice détaillant quatre tranches de distances (Figure 52). Un segment de population est considéré comme « source d'inspiration » pour les autres. Pour le scénario « *digital society* », le segment « modèle » est relativement hétérogène. Il comprend des artisans, commerçants, chefs d'entreprise et individus exerçant une profession intermédiaire âgés de 20 à 29 ans ou de plus de 50 ans, habitant en espace rural ou dans les grandes unités urbaines (plus de 200 000 habitants) et disposant de revenus soit très élevés (déciles 9 et 10) soit très faibles (décile 1). Pour le scénario « *collective society* », le segment « modèle » comprend les individus de tous les autres déciles de revenus (2 à 8) vivant dans des communes rurales ou des unités urbaines hors Paris (sauf de 5 000 à 9 999 habitants et de 50 000 à 100 000 habitants).

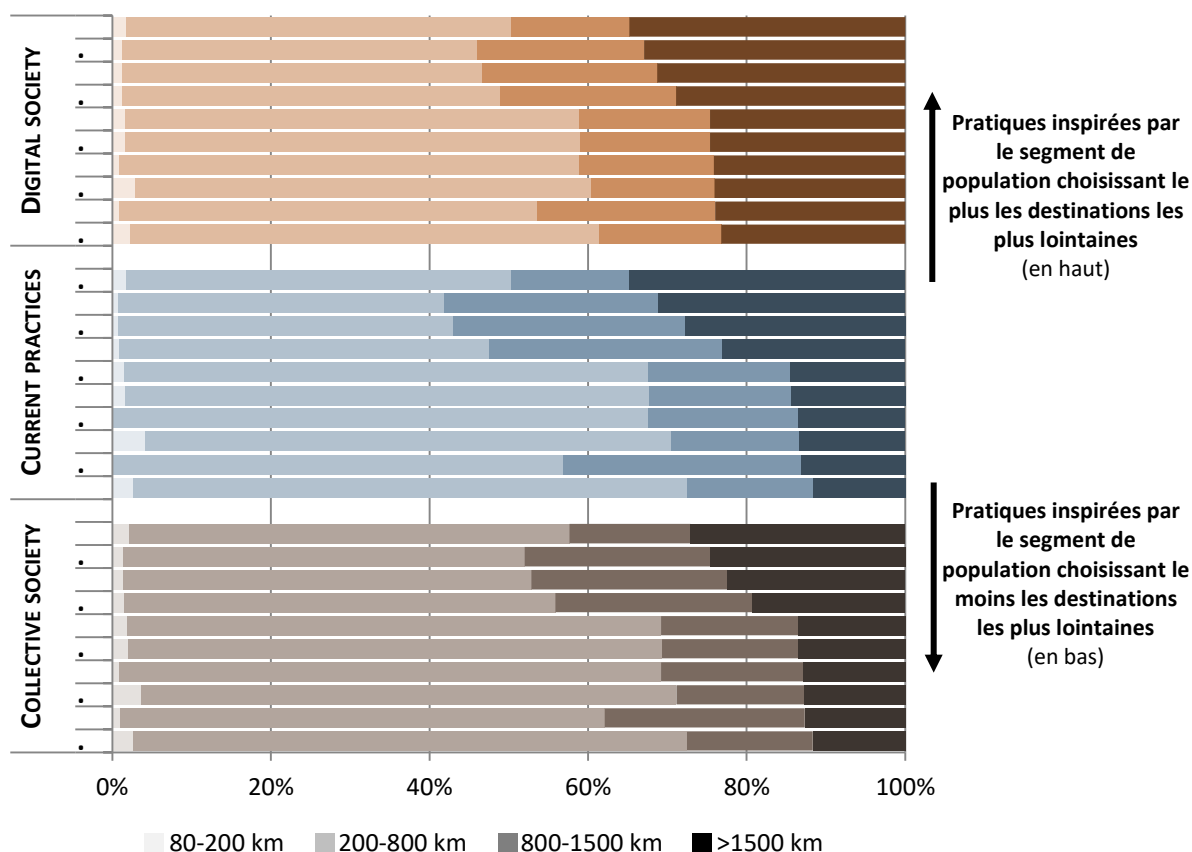


Figure 52 : Représentation graphique de la transformation de la matrice de la part des déplacements longue distance par tranche de distance pour les trois scénarios à l'horizon 2072. Chaque barre horizontale correspond à un segment de la population, représentée pour chaque scénario.

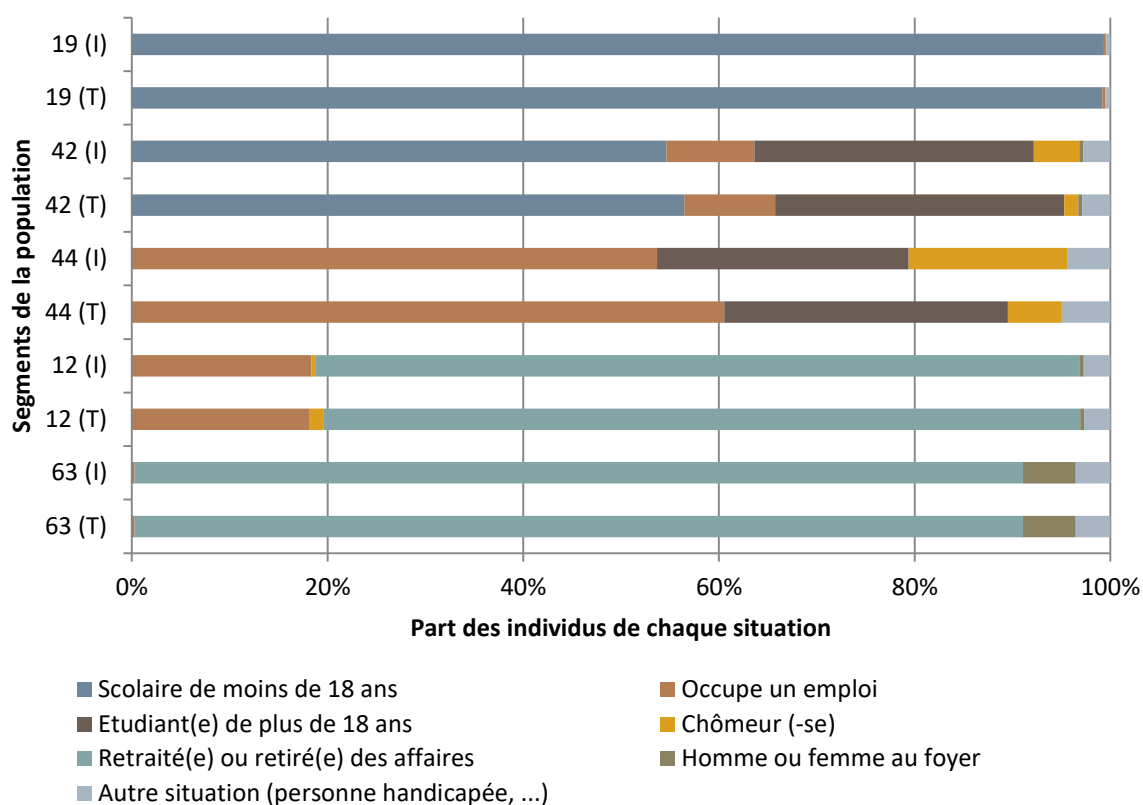
g) Attitude à l'égard du travail à l'horizon 2072

Le scénario « *collective society* » considère un recul de la place du travail dans l'organisation de la société, qui se traduit par une réduction du temps de travail rémunéré. Plusieurs modalités de prise en compte de cette hypothèse ont été envisagées. Celle qui a été retenue est d'associer à cette réduction du temps de travail par actif ayant un emploi un taux de chômage inférieur. Ce choix permet d'introduire dans les scénarios des conséquences d'un changement d'organisation du temps à l'échelle de la société. Cette transformation de matrice a été opérée selon la formule énoncée dans l'Équation 10, visant à faire baisser la proportion de chômeurs dans chaque segment, chômeurs substitués par les autres situations en fonction de leurs proportions actuelles. Un extrait de la matrice transformée (et de la matrice initiale par comparaison) est représenté par la Figure 53 (cinq segments sur trente-six).

Équation 10

Soit I l'ensemble des segments de population i . La distribution des situations d'un segment i l'année n est représentée par un vecteur $(s_{n,k}(i))_{k \in \llbracket 1;7 \rrbracket}$ avec en particulier $s_{n,1}$ la proportion de chômeurs l'année n . On a alors :

$$\forall i \in I \left\{ \begin{array}{l} \forall k \in \llbracket 2;7 \rrbracket, \quad s_{2072,k}(i) = \frac{s_{2010,k}(i)}{\frac{s_{2010,1}(i)}{3} + \sum_{k \in \llbracket 2;7 \rrbracket} s_{2010,k}(i)} \\ s_{2072,1}(i) = \frac{\frac{s_{2010,1}(i)}{3}}{\frac{s_{2010,1}(i)}{3} + \sum_{k \in \llbracket 2;7 \rrbracket} s_{2010,k}(i)} \end{array} \right.$$



h) Pratiques de mobilité et rapport à l'espace à l'horizon 2072 (1) : contraction de l'espace de vie

Le scénario « *collective society* » envisage à l'horizon 2072 une diminution de l'étendue de l'espace de vie, c'est-à-dire que les individus mènent une plus grande part de leurs activités quotidiennes à proximité de leur domicile, dans leur quartier par exemple. Une telle hypothèse influence la distribution des distances de déplacements.

La mobilité locale est simulée à l'aide de deux indicateurs (le nombre de déplacements quotidiens et la distance par trajet) détaillés pour dix motifs de déplacements¹⁰². Vingt matrices peuvent donc potentiellement être transformées. Dix d'entre elles informent sur la moyenne de nombre de déplacements par jour pour chaque segment de la population, les dix autres contiennent une fréquence de trajets par tranche de distance de déplacements et une moyenne de distance pour cette tranche pour chaque segment de la population (pour un exemple, voir Tableau 42).

Tableau 42 : Extrait de la matrice de la distance des déplacements locale pour le motif "achats" (4 segments sur 71). Signification des segments : segment 13 = agriculteurs, professions intermédiaires, employés et ouvriers ne possédant pas de voiture et habitant hors zone rurale ; segment 16 : individus de 70 ans et plus ne possédant pas de voiture, habitant en commune rurale et dont la personne de référence est âgée de plus de 60 ans ou de 30 à 34 ans ou de 45 à 54 ans ; segment 17 : mêmes caractéristiques que le segment 16 mais pour les individus de moins de 70 ans ; segment 89 : agriculteurs, commerçants, artisans ou chefs d'entreprises habitant en zone rurale, ayant une voiture à disposition et dont la personne de référence n'a pas 25 à 34 ans ou 70 à 74 ans.

		Fréquence par tranche de distance					Distance moyenne par tranche (en km)				
		Moins de 1 km	De 1 à 2 km	De 2 à 5 km	De 5 à 10 km	Plus de 10 km	Moins de 1 km	De 1 à 2 km	De 2 à 5 km	De 5 à 10 km	Plus de 10 km
Identifiant du segment	13	33%	7%	9%	17%	34%	0,5	1,4	3,6	7,4	24,2
	16	64%	16%	15%	5%	1%	0,5	1,4	3,4	6,5	13,1
	17	50%	16%	21%	9%	4%	0,5	1,3	3,4	6,6	16,8
	89	13%	22%	20%	18%	27%	0,3	1,3	2,9	6,8	22,0

Afin d'accroître la proportion des trajets les plus courts tout en conservant la variabilité inter- et intra-segments¹⁰³, nous proposons d'appliquer un jeu de coefficients de transformation aux fréquences de déplacements par tranche de distance (partie gauche de la matrice) en privilégiant les déplacements les plus courts. L'Équation 11 explicite la

¹⁰² École ou études ; achats ; soin ; visite ; accompagner ou aller chercher ; loisirs ; voyage ; professionnel ; trajet domicile-domicile ; autres.

¹⁰³ Cette variabilité aura notamment des conséquences sur les modes de transport employés et reflète un ensemble de phénomènes sociaux, psychosociaux, économiques, etc.

modalité d'application de ces coefficients. Le Tableau 43 représente un extrait des matrices initiale et transformée selon cette modalité.

Équation 11

Soient I l'ensemble des segments de population i et $\{a_1(i), \dots, a_5(i)\}$ les coefficients de la matrice de corrélation initiale renseignant la fréquence de déplacements pour les cinq tranches (ordre croissant) de distance. On note $\{b_1(i), \dots, b_5(i)\}$ les coefficients de la nouvelle matrice. On a alors :

$$\forall i \in I, \quad \forall j \in \llbracket 1, 5 \rrbracket, \quad b_j(i) = \frac{k_j \cdot a_j(i)}{k_1 \cdot a_1(i) + k_2 \cdot a_2(i) + k_3 \cdot a_3(i) + k_4 \cdot a_4(i) + k_5 \cdot a_5(i)}$$

avec $\{k_1, k_2, k_3, k_4, k_5\} = \{5, 4, 3, 2, 1\}$.

Tableau 43 : Extrait de la matrice transformée pour le scénario « collective society à l'horizon 2072 (les deux autres scénarios utilisant la matrice initiale). Variable « distance des déplacements locale pour le motif "achats" » (4 segments sur 71)

		Fréquence par tranche de distance					Distance moyenne par tranche (en km)					
		Moins de 1 km	De 1 à 2 km	De 2 à 5 km	De 5 à 10 km	Plus de 10 km	Moins de 1 km	De 1 à 2 km	De 2 à 5 km	De 5 à 10 km	Plus de 10 km	
MATRICE INITIALE	Identifiant du segment	13	33%	7%	9%	17%	34%	0,5	1,4	3,6	7,4	24,2
		16	64%	16%	15%	5%	1%	0,5	1,4	3,4	6,5	13,1
		17	50%	16%	21%	9%	4%	0,5	1,3	3,4	6,6	16,8
		89	13%	22%	20%	18%	27%	0,3	1,3	2,9	6,8	22,0
MATRICE TRANSFORMÉE	Identifiant du segment	13	58%	10%	10%	12%	12%	0,5	1,4	3,6	7,4	24,2
		16	73%	14%	10%	2%	0%	0,5	1,4	3,4	6,5	13,1
		17	63%	16%	16%	4%	1%	0,5	1,3	3,4	6,6	16,8
		89	23%	32%	22%	13%	10%	0,3	1,3	2,9	6,8	22,0

i) Pratiques de mobilité et rapport à l'espace à l'horizon 2072 (2) : équilibre réel/virtuel

Envisager la substitution d'une partie des activités et interactions réelles par des activités et interactions virtuelles conduit *a priori* à une décroissance de la mobilité physique. Sans préciser quantitativement le lien, l'ADEME évoque par exemple le développement du télétravail comme contribuant à la baisse de 20% de la mobilité individuelle à l'horizon 2050 (ADEME, 2013). L'application d'une réduction brute de la mobilité physique à tous les individus semble toutefois négliger d'éventuels effets-rebonds liés au développement des télé-activités et mis en évidence par exemple par Falch (2012). Dans le même temps, les possibilités d'étudier ce phénomène dans la population actuelle à travers les enquêtes dont

nous disposons¹⁰⁴ sont limitées (variables incomplètes, nombre d'individus restreints) et nous n'avons pas mené d'étude spécifique permettant d'étayer la formulation d'hypothèses.

À l'instar de ce qui a été proposé pour la mobilité à longue distance ou les niveaux d'équipements en biens électriques et électroniques, l'approche que nous avons retenue consiste finalement à réduire la mobilité physique actuelle en s'inspirant de la mobilité des groupes les moins mobiles tout en gardant la spécificité des déplacements actuels (distances, variabilité entre segments de la population, etc.). La transformation opérée s'appuie sur une équation comparable à l'Équation 5 pour sept des dix matrices transformées. Pour les trois autres matrices, c'est l'*opérateur Identité* qui est utilisé¹⁰⁵. Il est en effet considéré que les déplacements pour les motifs « école », « soins » et « voyage » ne sont pas concernés par la substitution. Dix nouvelles matrices ont donc été proposées pour le scénario « *digital society* » (voir l'exemple de la Figure 54).

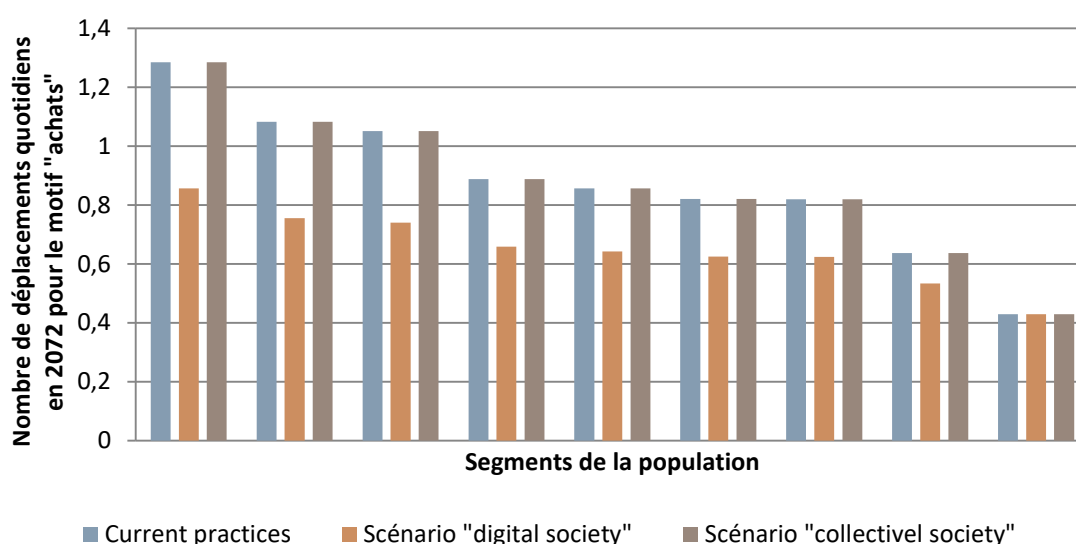


Figure 54 : Représentation des matrices du nombre de déplacements quotidiens pour le motif "achats" à l'horizon 2072 pour les trois scénarios (la matrice transformée est celle du scénario « *digital society* »). NB : tous les segments sont représentés.

j) Matrices de corrélations pour les années intermédiaires

Dans l'exercice « Dessiner une France zéro émission à l'horizon 2072 », il est nécessaire de produire des étapes intermédiaires des trois scénarios proposés, en particulier car d'autres modèles sont utilisés dans l'exercice et que ceux-ci sont de type dynamique, c'est-à-dire qu'ils calculent l'état du système représenté à un temps t à partir de l'état du système au

¹⁰⁴ Si la pratique avaient été plus visibles et développées dans les enquêtes, il aurait par exemple été possible d'analyser la mobilité d'individus ayant substitué une partie de leur mobilité physique par de la mobilité virtuelle, puis de s'inspirer de leurs pratiques pour représenter les pratiques futures des différents segments.

¹⁰⁵ Ceci signifie que la matrice obtenue à l'issue de l'opération est identique à la matrice de départ.

temps $(t - 1)^{106}$. Dans ce cas, la construction de l'image du système à l'horizon 2072 nécessite de construire l'ensemble de la trajectoire du système de l'état actuel à l'état final.

La méthodologie appliquée consiste à effectuer de nouvelles simulations pour chaque étape intermédiaire (2025, 2040, 2055) avec de nouvelles transformations des matrices initiales et de corrélations. Les matrices initiales ont pu être construites à partir des deux projections démographiques utilisées puisqu'elles détaillaient l'état de la population chaque année (par construction). Pour les transformations de matrice, nous avons choisi de nous baser sur les matrices produites pour l'année 2072 et de considérer que l'ensemble des changements s'opéraient de manière régulière à partir de 2020. Formellement, cela revient à considérer une transformation linéaire des matrices à partir de l'année 2020 (Équation 12). D'autres modalités de transformations pourraient être envisagées pour rendre compte d'autres types de dynamiques (Figure 55). Notons enfin que la durée de simulation revêt une importance accrue lorsque, comme ici, le processus de simulation est répété à de nombreuses reprises (p. ex. quatre échéances, trois scénarios soit douze simulations).

Équation 12

Soit I l'ensemble des segments de population i de pratique $p_n(i)$ l'année n . La matrice des pratiques l'année n peut être écrite $\{p_n(i)\}_{i \in I}$. On a alors :

$\forall i \in I, \forall n \in \llbracket 2010, 2072 \rrbracket,$

$$p_n(i) = \begin{cases} p_{2010}(i) & , \quad si \ n \leq 2020 \\ p_{2010}(i) + (n - 2020) \times \left(\frac{p_{2072}(i) - p_{2010}(i)}{2072 - 2020} \right) & , \quad si \ n > 2020 \end{cases}$$

¹⁰⁶ Voir en tenant compte d'états antérieurs.

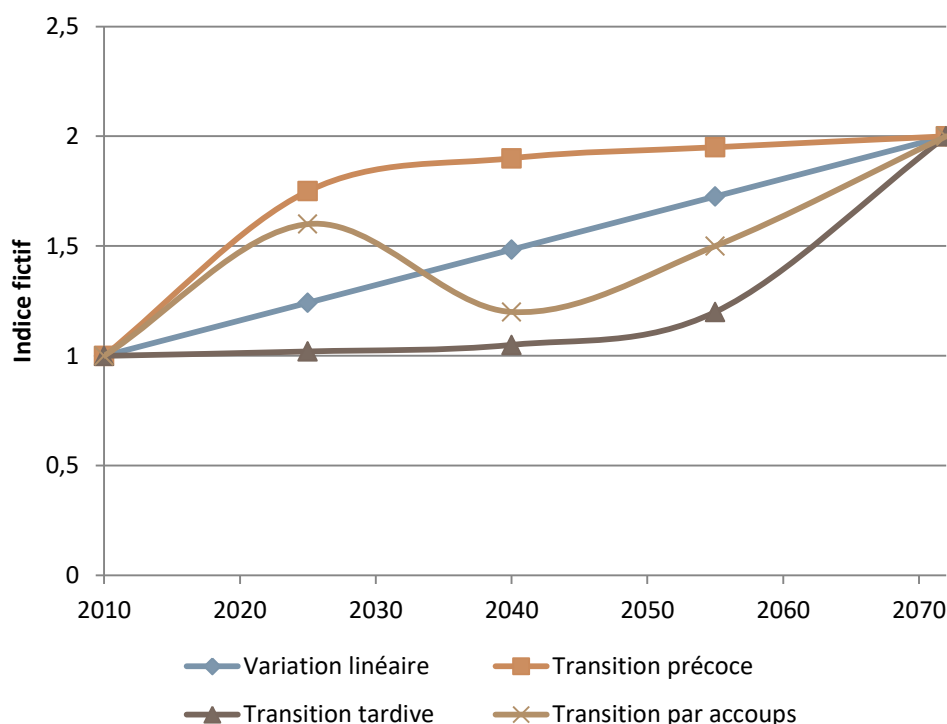


Figure 55 : Quelques trajectoires d'évolution possibles d'un indice fictif entre 2010 (valeur 1) et 2072 (valeur 2).

4.2.4 Extraction et mise en forme des résultats

a) *Traitements des matrices population pour l'obtention d'indicateurs*

A l'issue du processus de simulation, les matrices font l'objet de traitements pour obtenir les indicateurs des usages énergétiques aux formats souhaités. Par exemple, la demande en surface de logement totale sera obtenue par le produit de la surface par personne, du nombre de personnes par ménage et des effectifs de ménages (pour rappel du format d'une matrice, voir le Tableau 44). Elle pourra être ventilée ou non par le type de logement (individuel ou collectif), par catégorie d'aire urbaine, ou toute autre variable disponible dans la matrice population¹⁰⁷.

¹⁰⁷ Si elle n'a pas été prise en compte dans cet exercice, une ventilation par zone climatique aurait pu être envisagée par exemple.

Tableau 44 : Format type d'une matrice population à partir d'un extrait de matrice issue du processus "ménage". Les intitulés des variables sont ici rappelés par commodité de lecture. Les chiffres dans les colonnes 5 et 6 correspondent à des codes (5 = « Employés » et 6 = « Unité urbaine de 100.000 à 199.999 habitants »).

Effectif	nperm	ageprq	couplepr	cs8pr	tugg	numcom_A UCat	inl4	spp
Effectif	Nombre de personnes du ménage	Age quinquennal de la personne de référence du ménage	La personne de référence est en couple	Catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence	Tranche de taille de l'unité urbaine de la résidence principale du ménage	Catégorie d'aire urbaine de la résidence principale	Type de logement (individuel ou collectif)	Surface de logement par personne (moyenne du segment)
1 209	3	35	Oui	5	6	Pôle urbain	Collectif	38 m ²

b) Traitements complémentaires liés à l'approche multi-modèles

Dans l'exercice présenté, les modes de vie constituent le moteur principal de l'évolution des usages de l'énergie. Toutefois leur description stricte ne suffit pas à caractériser cette évolution. Les trois grands postes de la demande que sont la demande résidentielle, la demande en biens et services et la demande en mobilité sont en effet structurellement liés à un contexte, et notamment à des infrastructures. Par infrastructures, nous entendons ici notamment le parc de logements pour le premier poste, l'appareil productif pour le second ou encore les systèmes de transports de personnes pour le troisième. La relation est dialogique : les modes de vie (passés, présents, aspirés) influencent l'évolution des infrastructures, les infrastructures génèrent des opportunités et des limites qui façonnent les modes de vie.

Ces infrastructures sont régies par leurs propres logiques, en partie indépendantes des modes de vie. La représentation des liens entre les modes de vie et les infrastructures se situe donc en frontière de modèle. Seules les infrastructures passées sont en effet « contenues » dans les données passées. L'exercice de prospective dans son ensemble prévoit de combiner plusieurs modèles qui offrent chacun une représentation d'une partie de ces infrastructures. La gestion de ces interactions entre modes de vie et infrastructure passe donc en partie par la gestion des interactions entre modèles, qui fera l'objet d'une discussion dans la partie 4.5. En attendant, nous signalerons que pour des enjeux de complémentarités entre modèle, nous avons développé un module représentant le parc de logements et sa dynamique d'évolution d'une période à l'autre. Celui-ci fait partie de travaux de post-traitement des résultats de simulation que nous avons mis en œuvre. Les principaux processus en jeu sont la destruction et la construction de logements. Le point de départ est le parc de logements en 2010 dont nous connaissons les caractéristiques (nombre de logements, types, surface et périodes de constructions). Les logements restants de chaque période peuvent être connus dès lors que des hypothèses de destruction sont formulées (hypothèses précisant le nombre, le type, les surfaces en jeu, et les périodes de construction). Nous avons formulé ces hypothèses à partir de dynamiques passées de destruction. Une fois les caractéristiques du parc existant connues, le nombre et les surfaces

caractéristiques des nouvelles constructions à une période donnée peuvent être déduites des caractéristiques du parc total à cette période, qui correspond à la demande en logements issue de nos simulations (Figure 56). Ce module est dynamique puisqu'il s'appuie sur les données de sorties de la période précédente (caractéristiques du parc) pour la détermination des caractéristiques du parc à une période donnée.

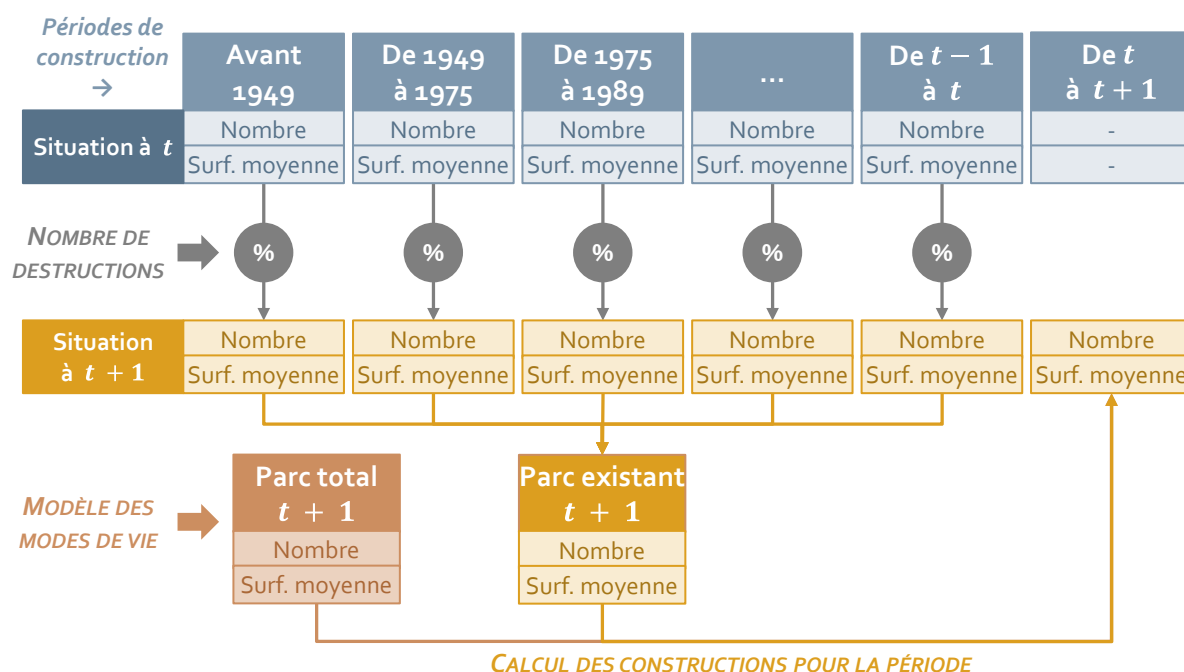


Figure 56 : Principe de fonctionnement du module de dynamique du parc de logements, illustration pour un type de logement (p. ex. appartements) pour la période t à $t+1$

4.2.5 Conclusion

Le processus de simulation commence par l'esquisse des scénarios que l'on souhaite étudier. Elle comprend l'identification d'un esprit général du scénario qui guidera la transformation des modes de vie, le choix des dimensions des modes de vie qui feront l'objet de changements et la définition littérale des hypothèses d'évolution. Dans l'exercice que nous avons mené à l'horizon 2072, nous avons choisi trois scénarios guidés par une attitude exploratoire : un scénario de référence (aussi appelé « *current practices* »), un scénario où la société devient plus individualiste et où les technologies de l'information et de la communication occupent une place centrale (« *digital society* ») et un scénario où la société est centrée sur le lien social et une recherche d'organisations collectives (« *collective society* »).

Pour représenter ces scénarios dans un processus de simulation, nous avons dans un premier temps identifié des variables disponibles dans les enquêtes qui permettent d'aborder les différentes dimensions des modes de vie faisant l'objet de changements. Dans

une démarche statistique, nous avons construit deux suites de variables menant aux variables indicatrices des usages énergétiques. Dans un second temps, nous avons converti les hypothèses littérales en transformations de certaines matrices de corrélations. La transformation de la matrice population initiale s'appuie en partie sur des résultats de projections démographiques réalisées à l'aide d'un modèle de type dynamique. Les transformations de matrices de corrélations s'inspirent parfois de pratiques actuelles de groupes de population ou cherchent simplement à proposer un contraste par rapport à la situation moyenne actuelle.

Nous avons également abordé brièvement les post-traitements nécessaires pour mettre en forme les résultats de simulation ou compléter les informations qu'ils apportent. Dans la section suivante, nous proposons de présenter ces résultats. La quantification de cet exercice sera l'occasion de premiers commentaires sur le rôle possible des futurs modes de vie sur les usages énergétiques à long terme.

4.3 RESULTATS DE SIMULATIONS DES USAGES ENERGETIQUES

Confort thermique d'un logement, mobilité, éclairage, mise à disposition d'eau chaude, conservation d'aliments, ... l'énergie consommée par l'Homme vise à satisfaire plus ou moins directement des usages. Ce sont ces usages que nous avons simulés à l'aide du modèle développé pour les trois scénarios élaborés dans le cadre de l'étude « Dessiner une France zéro émission à l'horizon 2072 ». Les résultats de ces simulations sont présentés pour les usages liés au secteur résidentiel (résultats présentés dans la sous-partie 4.3.1), pour les usages liés à la consommation d'un ensemble de biens (4.3.2) et pour les usages liés à la mobilité des individus (4.3.3). Les usages sont quantifiés et qualifiés à l'aide d'indicateurs que nous avons sélectionnés parmi les variables des enquêtes étudiées (ou construits à partir de ces variables) et que nous avons introduits dans la partie 4.2.2.

4.3.1 Usages résidentiels

a) *Confort thermique : évolution de la demande en surface de logements*

Dans nos scénarios, la croissance démographique et l'évolution des modes de vie sont le moteur de l'évolution de la surface totale du parc de résidences principales¹⁰⁸. Notons qu'en nous intéressant à la demande résidentielle, nous excluons la partie du secteur tertiaire qui offre également une fonction de logement à une partie de la population (internats, maisons de retraite, casernes militaires, etc.). Cette partie de la population et ses besoins en logement n'est donc pas prise en compte dans les simulations de ce secteur.

La Figure 57 présente l'évolution de la surface totale de résidences principales entre 2010 et 2072. D'après les résultats de simulation, cette surface croît de 28% dans le scénario « *current practices* », de 34% dans le scénario « *digital society* » et de 10% dans le scénario « *collective society* » pour une augmentation de la taille de la population de 18%. Dans les deux premiers scénarios cités, la croissance de la surface totale est principalement tirée par le phénomène de décohabitation, pris comme hypothèse d'évolution des pratiques, et donc par l'augmentation du nombre de logements (Figure 58). Il est néanmoins atténué dans le scénario « *digital society* » par l'attrait pour les grandes villes, où les logements sont en moyenne significativement plus petits que dans les espaces ruraux ou périurbains (Figure 58). Il est en revanche accentué dans le scénario « *current practices* » où la préférence pour la maison individuelle contribue à la dynamique du parc. A l'inverse, le phénomène de

¹⁰⁸ Remarque : la prise en compte des résidences secondaires n'affecte que très marginalement la consommation énergétique du secteur (environ 4% pour l'électricité et le fuel, et 1% pour le gaz d'après des données du CEREN). Nous n'étudions donc pas cette partie du parc de logements. Notons toutefois que des hypothèses de ruptures sur le taux de possession de telles résidences pourraient avoir des conséquences significatives sur le secteur de la construction.

cohabitation et la mutualisation d'espace qui l'accompagne permettent de contenir la croissance de la demande en logements dans le scénario « *collective society* ».

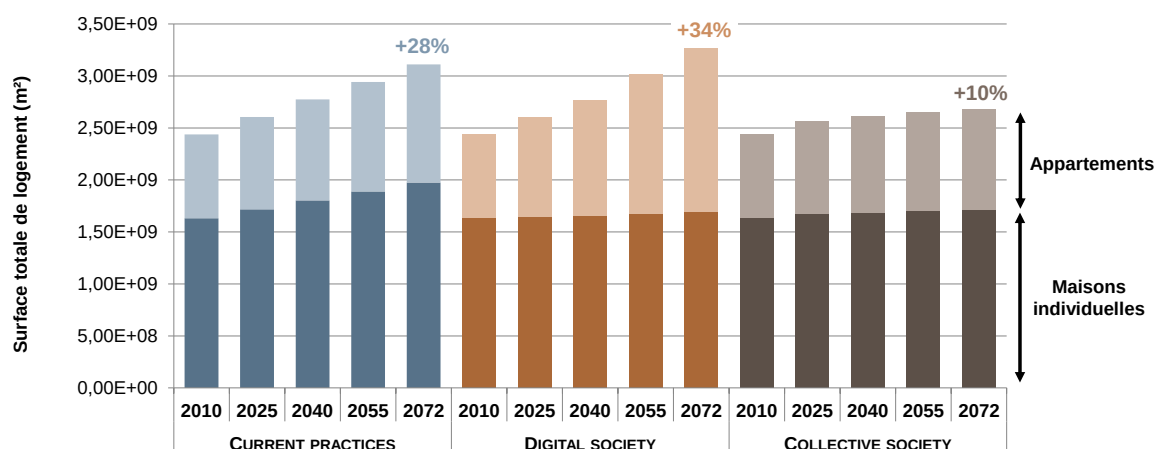


Figure 57 : Surface totale de logement entre 2010 et 2072 pour les trois scénarios

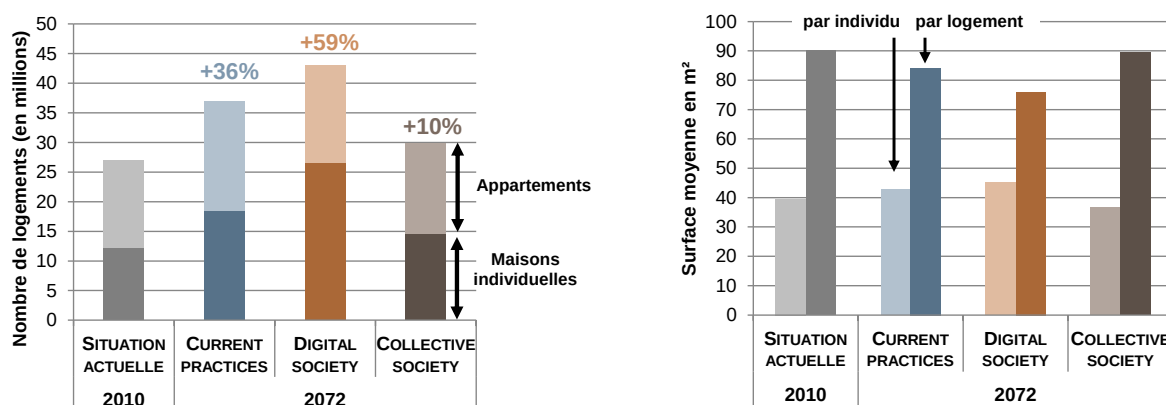


Figure 58 : Nombre de logements (à gauche) et surfaces moyennes par individu et par logement (à droite) à l'horizon 2072 pour les trois scénarios

b) Eau chaude sanitaire et électricité spécifique

L'évolution des modes de vie peut également avoir des conséquences sur l'usage d'eau chaude sanitaire – par l'évolution de la taille des ménages – et l'usage d'électricité spécifique. Comme énoncé précédemment, nous étudions ces conséquences à travers deux indices d'évolution. Dans les deux cas, l'indice que nous proposons est un indice d'évolution des usages, que nous considérons découplé des choix technologiques afin d'isoler d'une certaine manière les effets de l'évolution des modes de vie d'autres effets potentiels qui peuvent être étudiés ultérieurement par d'autres modèles.

La Figure 59 présente les résultats de simulation de ces indices à l'horizon 2072 pour les trois scénarios. Les tendances sont proches pour les deux indices, à savoir une augmentation de

la demande supérieure à la croissance démographique pour le scénario « *current practices* » (respectivement +29% et +26%), une demande encore supérieure pour le scénario « *digital society* » (respectivement + 42% et +36%) et une demande inférieure à la croissance démographique pour le scénario collective society (respectivement +12% et +8%). Cette variabilité de la demande en fonction des scénarios de modes de vie est avant tout tirée par l'évolution de la composition des ménages (effet isolé pour la consommation d'eau chaude sanitaire). Les effets de la mutualisation d'équipements (p. ex. réfrigérateur) et des usages se font donc de nouveau sentir. Notons enfin que les scénarios explorés ne considèrent pas de changements de l'intensité des pratiques, alors que ceux-ci pourraient avoir des conséquences importantes. Par exemple, de nouveaux usages ou équipements pourraient être considérés (p. ex. développement de la robotique, des technologies d'assistance au maintien à domicile), ou une augmentation importante de l'usage des équipements électroniques par les individus de 70 ans et plus, tenant ainsi compte d'un effet « génération ». De telles hypothèses ont néanmoins été considérées comme en dehors du champ de l'étude.

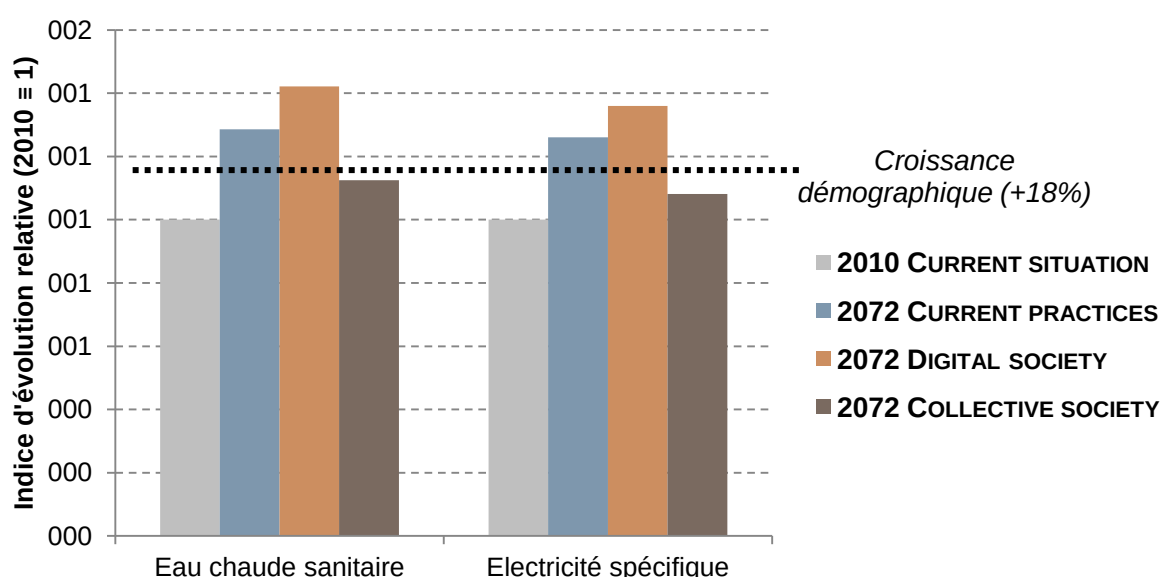


Figure 59 : Indices d'évolution de la demande en eau chaude sanitaire et en électricité spécifique pour les trois scénarios à l'horizon 2072.

4.3.2 Usages indirects liés à la demande en biens

La consommation de biens est suivie à partir d'indices de volumes d'achats d'un *pool* de biens durables : les véhicules automobiles, les équipements électroménagers, les équipements audiovisuels, les biens informatiques, les biens numériques, les meubles et les équipements de jardin. D'après les simulations, les hypothèses d'évolution des modes de vie formulées (comportements de cohabitation et localisation des ménages) conduisent à une augmentation de la taille du parc de véhicules inférieure dans les trois scénarios à la

croissance démographique (Figure 6o). Pour le scénario « *digital society* », l'effet de réduction de la mutualisation des véhicules à l'échelle des ménages est compensé par le déplacement des populations dans des espaces urbains plus denses où l'équipement automobile est un peu moins courant. Pour le scénario « *collective society* », à l'effet de la mutualisation s'ajoute un effet lié à la localisation des ménages (plus faible que dans le scénario « *digital society* » néanmoins). Pour les trois scénarios, les différences avec les taux d'équipement actuels demeurent relativement faibles, du fait notamment de l'absence de rétroaction de l'évolution des pratiques de mobilité sur les pratiques d'équipement en véhicules. Ainsi, certaines perspectives envisagées telles que la modification du rapport à la propriété et la diffusion de l'autopartage (p. ex. parcs de véhicules en copropriété, recours à des services de locations plus fréquents) ou l'émergence de services de transport basés sur le véhicule sans chauffeur n'ont pas été explorées.

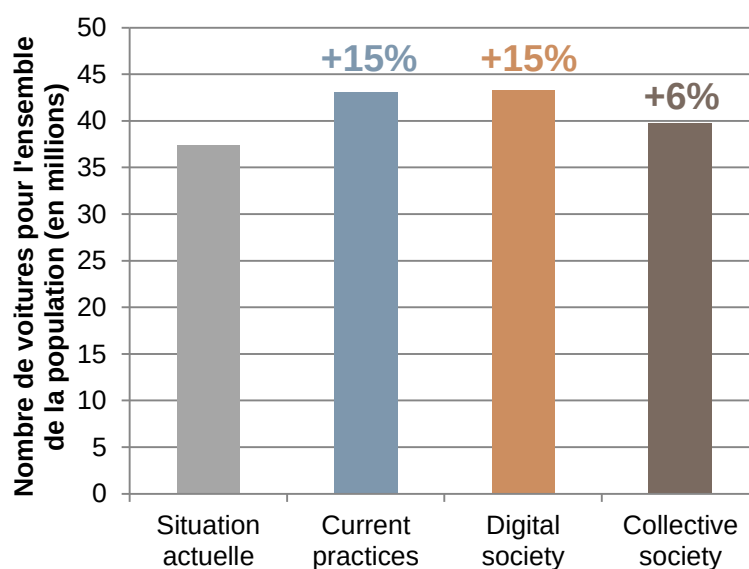


Figure 6o : Taille du parc de véhicules automobiles en 2072 selon les trois scénarios.

Les autres biens durables ont été choisis pour explorer différentes caractéristiques des scénarios. En premier lieu, les meubles et les appareils électroménagers sont des biens pour lesquels il est aujourd'hui considéré qu'un taux de saturation en équipement a été atteint. Sans hypothèses de changement de leur durée de vie, les achats futurs dépendent essentiellement du nombre de logements (et donc de ménages) à équiper. Le phénomène de mutualisation est donc de nouveau prépondérant sur la demande future. Par conséquent, les évolutions constatées sont une demande supérieure à la croissance démographique pour le scénario « *current practices* », une demande encore supérieure pour le scénario « *digital society* » et une demande inférieure à la croissance démographique pour le scénario « *collective society* ».

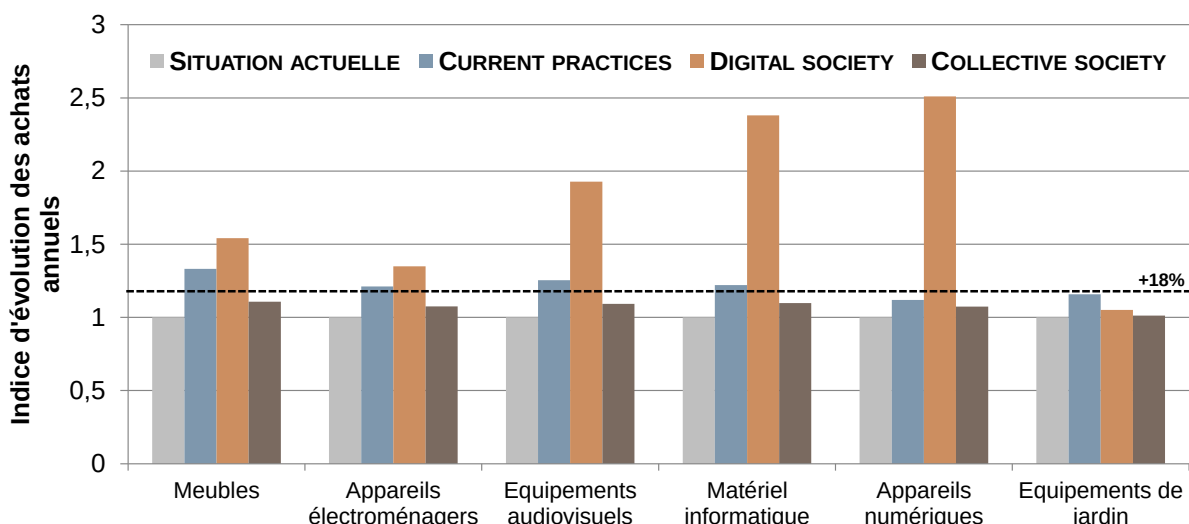


Figure 61 : Consommation de six types de biens durables pour les trois scénarios et la situation actuelle (indices d'évolution des achats annuels).

Viennent ensuite des biens dont le niveau d'équipement varie davantage dans la population actuelle, de ménages pas ou très peu équipés à des ménages hyper-équipés. Ces derniers sont des ménages dont la personne de référence est âgée de 50 à 64 ans et exerce une fonction de cadre, une profession intellectuelle supérieure ou une profession intermédiaire. Les demandes des différents scénarios à l'horizon 2072 se classent dans un même ordre que précédemment mais cette fois, le scénario « *digital society* » se distingue plus nettement avec 1,8 à 2,3 fois plus d'achats que dans le scénario « *collective society* ». Cette différence s'explique par les hypothèses formulées sur le rapport aux technologies, avec une homogénéisation des niveaux d'équipements sur le modèle des ménages actuellement les plus équipés.

Enfin, la demande en équipements de jardin a été simulée, moins pour son influence sur la consommation d'énergie indirecte que pour étudier un type de bien dont la consommation repose sur d'autres facteurs. Au-delà des effets de mutualisation, un effet lié à l'évolution des types de loisirs pratiqués et à la localisation des ménages associée est observé. Cet effet est particulièrement visible en comparant le scénario « *digital society* » au scénario « *current practices* ». Ces scénarios s'opposent en effet sur les préférences en termes de type d'habitat : appartement en grande ville pour le premier (pour les activités auxquelles la ville donne accès), maison individuelle pour le second (pour les activités auquel ce type d'espace donne accès). Ces préférences ont des conséquences sur la part de la population qui dispose d'un jardin, et achète donc des équipements de jardin.

4.3.3 Usages liés à la mobilité

a) Demande en mobilité locale

La demande en mobilité locale issue des simulations à l'horizon 2072 est représentée sur la Figure 62 (en km.passager). La distance totale parcourue croît de 16% dans le scénario « *current practices* », soit presque autant que la taille de la population (+18%), la différence étant essentiellement due au vieillissement de la population, et ce malgré un léger allongement des distances moyennes dû à la poursuite de la périurbanisation. Les deux autres scénarios voient en revanche une diminution des distances totales parcourues malgré la croissance démographique, de 11% pour le scénario « *digital society* », de 35% pour le scénario « *collective society* ».

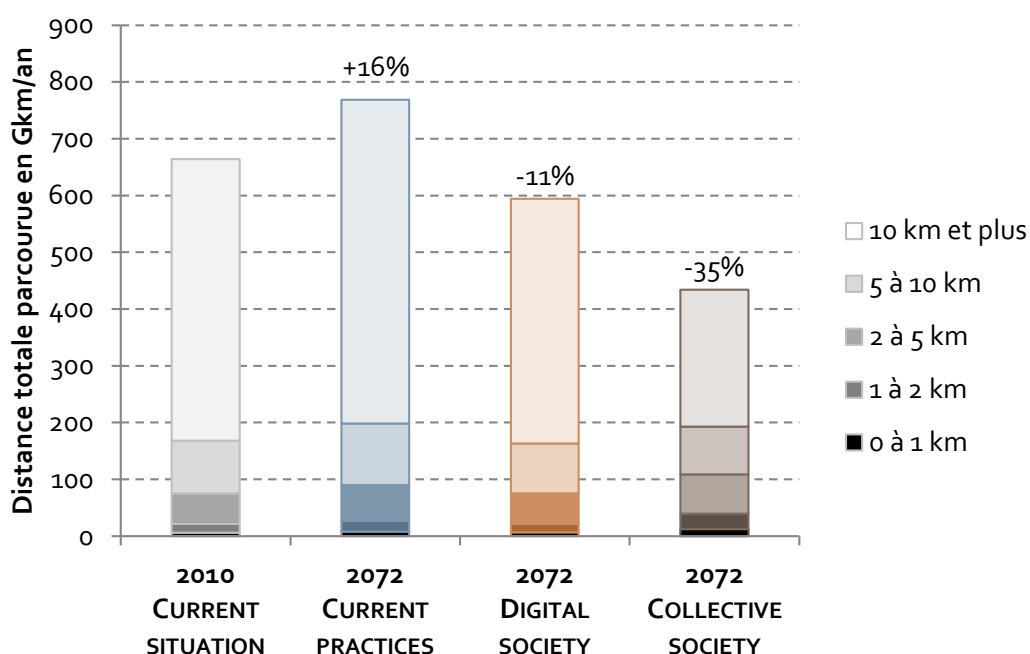


Figure 62 : Demande en mobilité locale en milliards de km.passager pour les trois scénarios à l'horizon 2072.

Dans le scénario « *digital society* », cette diminution est essentiellement due à la baisse du nombre de déplacements du fait d'une substitution d'une partie de la mobilité physique par de la mobilité virtuelle. Dans le scénario « *collective society* », c'est la contraction de l'espace de vie (davantage d'activités menées à l'échelle du quartier) qui est principalement responsable de la diminution puisque le nombre de déplacements total est très proche de celui du scénario « *current practices* ». Dans ces deux scénarios alternatifs, les évolutions de la localisation des ménages vers des espaces favorisant des distances de déplacements plus courtes accentuent légèrement ces effets par rapport au scénario de référence.

Pour ces deux scénarios, la modification de la ventilation des déplacements par tranche de distance (principalement visible pour le scénario « *collective society* ») et l'évolution de la localisation des ménages préfigurent également une évolution des choix modaux pour effectuer ces déplacements. Ces deux critères constituent la composante de ces choix liée aux modes de vie alors qu'il existe également d'autres composantes importantes liées aux infrastructures existantes et aux coûts des différents modes notamment.

b) Demande en mobilité longue distance

Pour terminer cette présentation des résultats de simulation, la Figure 63 représente les résultats de simulation pour la mobilité à longue distance. Là encore, les hypothèses considérées conduisent à un contraste marqué entre les trois scénarios. Si l'augmentation de la demande pour le scénario « *current practices* » n'est guère différente de la croissance démographique (+16% en nombre de déplacements, +14% en distance parcourue), les deux autres scénarios envisagent des évolutions radicalement différentes. Le scénario « *digital society* », avec une population plus urbaine, plus aisée et surtout intrinsèquement plus portée sur les voyages à longue distance voit sa demande plus que doubler (+115% en distance parcourue, +77% en nombre de déplacements). Le scénario « *collective society* » dans lequel la distribution des revenus se resserre (moins de ménages très aisés) et dont la population est globalement moins attirée par les destinations lointaines voit au contraire sa demande en mobilité à longue distance décroître (-34% en distance de déplacements, -28% en nombre de déplacements).

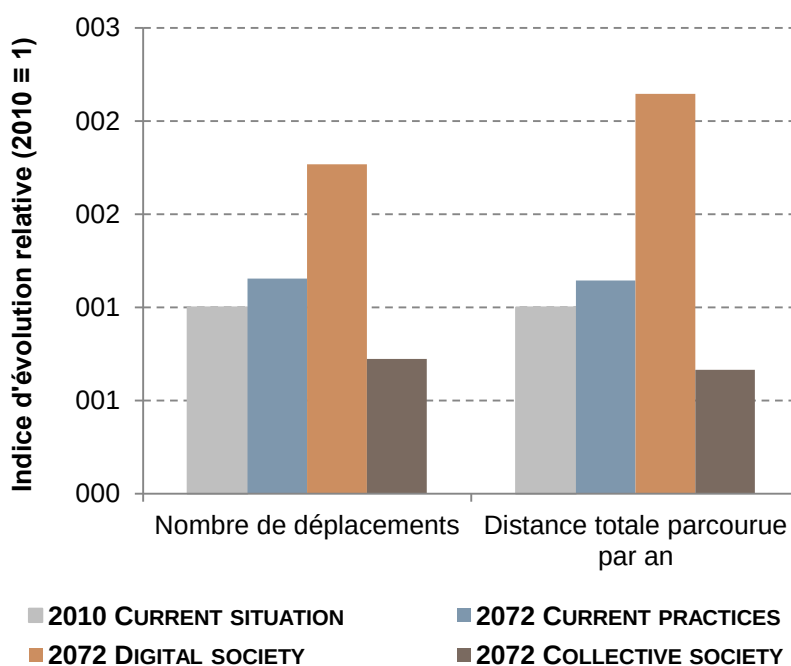


Figure 63 : Indices d'évolution des composantes de la mobilité à longue distance en 2072 selon les trois scénarios.

4.3.4 Conclusion et discussion

Les simulations des trois scénarios élaborés fournissent un aperçu quantifié de l'influence des futurs modes de vie sur les usages énergétiques à l'horizon 2072.

Sur les usages du secteur résidentiel, l'ampleur du défi d'une transition vers un habitat bas carbone varie significativement entre les trois scénarios. Ainsi la surface de logement à chauffer et à rafraîchir augmente légèrement dans le scénario « *collective society* » (+10% par rapport à la situation actuelle) et plus nettement dans les scénarios « *current practices* » (+28%) et « *digital society* » (+34%). Les variations sont du même ordre pour les usages en électricité spécifique et en eau chaude sanitaire. Ces simulations montrent à quel point les futures pratiques de cohabitation et les futurs choix de localisation seront déterminants sur la « quantité » d'usages énergétiques résidentiels à satisfaire. L'accroissement de la part relative des formes d'habitat partagé d'une part et celui de la part de l'habitat collectif d'autre part peuvent notamment permettre de limiter la surface de logement à chauffer et à rafraîchir, mais également à rénover et à construire. Ainsi, le « coût » de l'atteinte de la performance énergétique du parc de logements pourrait être moindre, de même que la demande énergétique liée au secteur du bâtiment. Toutefois, il n'est probablement pas souhaitable que ces évolutions soient impulsées par la contrainte. Ainsi, le processus de décohabitation observé ces dernières décennies n'est pas le fruit de la seule montée des valeurs individualistes, mais aussi de progrès sociaux tels que l'accès au travail rémunéré pour les femmes, la hausse du niveau de vie, la généralisation des systèmes de protection sociale. De même, le recours aux pratiques d'habitat partagé est aujourd'hui parfois le résultat d'aspirations, mais aussi parfois imposé par le marché de l'immobilier. Un raisonnement similaire peut être tenu pour l'équilibre entre habitat dans un immeuble collectif et maison individuelle. Il semble difficile de considérer comme un progrès le développement des contraintes poussant vers l'habitat collectif, sachant que certaines contraintes existent déjà, dans un sens ou dans l'autre (p. ex. prix du foncier, accès à l'emploi). L'éventualité de déplacements de l'équilibre des aspirations vers les pratiques d'habitat partagé ou d'habitat collectif, qui trouvent un écho dans certains mouvements politiques (p. ex. convivialisme, décroissance), reste donc aujourd'hui fondamentalement à interroger.

Les simulations de la demande en biens à l'horizon 2072 ont également mis en évidence des contrastes importants entre scénarios, variant selon les types de biens considérés entre -15% et +130% par rapport au scénario tendanciel. Elles ont également permis d'explicitier certains effets liés à la mutualisation d'équipements et, de manière plus anecdotique, à la localisation. Nous pourrions alors renouveler la réflexion précédente, avec toutefois un niveau d'enjeu moindre. Nous avons également expérimenté une modification d'ordre culturel des pratiques d'équipements, portant sur la valeur matérialiste et le rapport aux technologies. L'hypothèse a consisté à proposer une hausse du niveau d'équipement pour certains types d'appareils. La formulation de cette hypothèse appelle deux remarques. La

première est d'ordre méthodologique. La matrice relative à cette hypothèse est positionnée en avant-dernière position dans le processus de simulation, c'est-à-dire à proximité du résultat souhaité. L'apport de la représentation des corrélations dans le modèle est alors plutôt faible, par rapport aux variables telles que la taille des ménages, ou la localisation situées plus en amont. La seconde remarque est d'ordre thématique. Si l'hypothèse formulée permet bien de souligner l'ampleur des incertitudes portant sur ce poste d'usages, signalons que celle-ci est relativement simple, alors que le vaste champ des possibles dans le domaine de la consommation de biens et services permet d'envisager des scénarios plus riches et raffinés. Des changements importants pourraient ainsi être envisagés (p. ex. scénarios de déploiement des véhicules sans chauffeur, développement des systèmes robotiques) dans un champ qui est relativement peu investi par la recherche en prospective énergétique. Face à de telles perspectives, la pertinence du dispositif de modélisation proposé sera discutée au chapitre 5.

Enfin, les simulations sur les usages liés à la mobilité ont abouti à des contrastes marqués tant pour la mobilité locale que pour la mobilité à longue distance. Le scénario « *collective society* » aboutit à une baisse de 35% des distances parcourues annuellement à l'échelle locale malgré la croissance de la population du fait d'une contraction de l'espace de vie et d'une réorganisation des activités. Le nombre de trajets par individu demeure en revanche sensiblement identique. Une diminution de 11% des distances parcourues est également simulée pour le scénario « *digital society* », résultant cette fois principalement d'une diminution du nombre de déplacements effectués. En effet, une partie de la mobilité réelle est substituée par une mobilité virtuelle (p. ex. télétravail à domicile, e-commerce). Toutefois, la capacité du modèle à rendre compte des effets systémiques d'une telle hypothèse demeure limitée (p. ex. effets du report de la mobilité individuelle liée aux achats vers la livraison de marchandises, effets rebonds du télétravail, effets d'une présence accrue au domicile sur la consommation d'énergie domestique). De même, les conditions d'atteinte de l'hypothèse de contraction de l'espace de vie constituent une question de recherche que nous n'abordons pas. Pour la mobilité longue distance, des changements d'ordre culturel ont été explorés et ont conduit à un large éventail de résultats (de -34% à +115% par rapport à la situation actuelle). Ces simulations sur la mobilité à longue distance permettent de souligner d'une part la grande incertitude portant sur l'évolution des usages pour ce poste de consommation d'énergie (incertitudes accentuées par la sensibilité au prix et aux revenus (cf. p. ex. Knudsen, 2011)), et d'autre part les contradictions qui peuvent apparaître entre mobilité locale et mobilité à longue distance. Ces contradictions introduites dans le scénario « *digital society* » montrent qu'une réduction importante de la mobilité locale individuelle peut être plus que compensée par des pratiques de mobilité à longue distance plus intensives. Ce résultat incite donc à interroger les futures pratiques touristiques et du voyage de loisir dans un contexte où l'accessibilité à la très longue distance s'accroît. Dans la section suivante, nous proposons de mettre en perspective les résultats de simulation obtenus à partir d'autres exercices de prospective.

4.4 MISE EN PERSPECTIVE DES RESULTATS

Les scénarios que nous avons élaborés peuvent être mis en perspective avec d'autres scénarios énergie-climat élaborés pour la France. Toutefois, comme nous l'avons déjà expliqué, les méthodes que nous avons qualifiées de « directes » consistent à traduire directement les évolutions de modes de vie dans la formulation d'une hypothèse sur des indicateurs des usages énergétiques, ou des variables permettant de les reconstruire directement. Par conséquent, les résultats de nos simulations sont souvent à comparer aux *hypothèses* de ces scénarios, ou parfois à des résultats intermédiaires. Les trois scénarios que nous avons choisis ont déjà été évoqués dans le chapitre 2 et portent sur l'horizon 2050. Il s'agit du scénario du Conseil d'analyse stratégique (CAS), noté « CAS » (Conseil d'Analyse Stratégique, 2008), de la vision 2050 de l'ADEME (ADEME, 2013) et du scénario « négaWatt » (Association Négawatt, 2014). Le détail des hypothèses formulées dans ces scénarios est présenté en Annexe 12. Nous utilisons des indicateurs agrégés à l'horizon 2050 pour les comparaisons bien que des détails soient disponibles (p. ex. logements par tranche de surface ou par type, distance par tranche de distance).

4.4.1 Demande en logements

À l'horizon 2050, les évolutions de la surface totale de logements envisagées à travers les hypothèses des trois scénarios étudiés couvrent partiellement le spectre couvert par les simulations que nous avons effectuées (Figure 64). Le scénario du CAS est très proche du scénario « *digital society* » et envisage une demande en logements supérieure à la valeur du scénario « *current practices* ». Le scénario négaWatt envisage quant à lui une hypothèse légèrement inférieure à ce dernier scénario, selon son hypothèse de sobriété qui reste toutefois modérée par rapport au scénario « *collective society* ». Enfin, le scénario ADEME envisage une hypothèse de surface de logement significativement supérieure aux autres. Celle-ci a été formulée à partir de tendances de construction de logements qui, malgré l'hypothèse d'accroissement de la part de logements collectifs (de 40% en 2010 à 60% en 2050), conduit donc à un accroissement significatif de la surface de logement par personne. Le maintien de la surface moyenne des nouveaux logements malgré la diminution tendancielle de la taille des ménages joue un rôle important pour expliquer la valeur élevée de cette hypothèse. Notons toutefois que dans un second exercice mené à l'horizon 2030, l'ADEME envisage cette fois une réduction de la surface des logements neufs, « *en lien avec l'évolution des modes de vie (familles recomposées, vieillissement de la population, ...)* : de 115 à 100 m² dans les maisons individuelles neuves, de 67 à 64 m² dans le collectif pour une famille « moyenne » en 2030 » (ADEME, 2014). Remarquons enfin à la lecture des graphiques de la Figure 64 que les hypothèses de transformation des modes de vie du scénario « *collective society* » le démarquent assez nettement des autres scénarios sur cet indicateur.

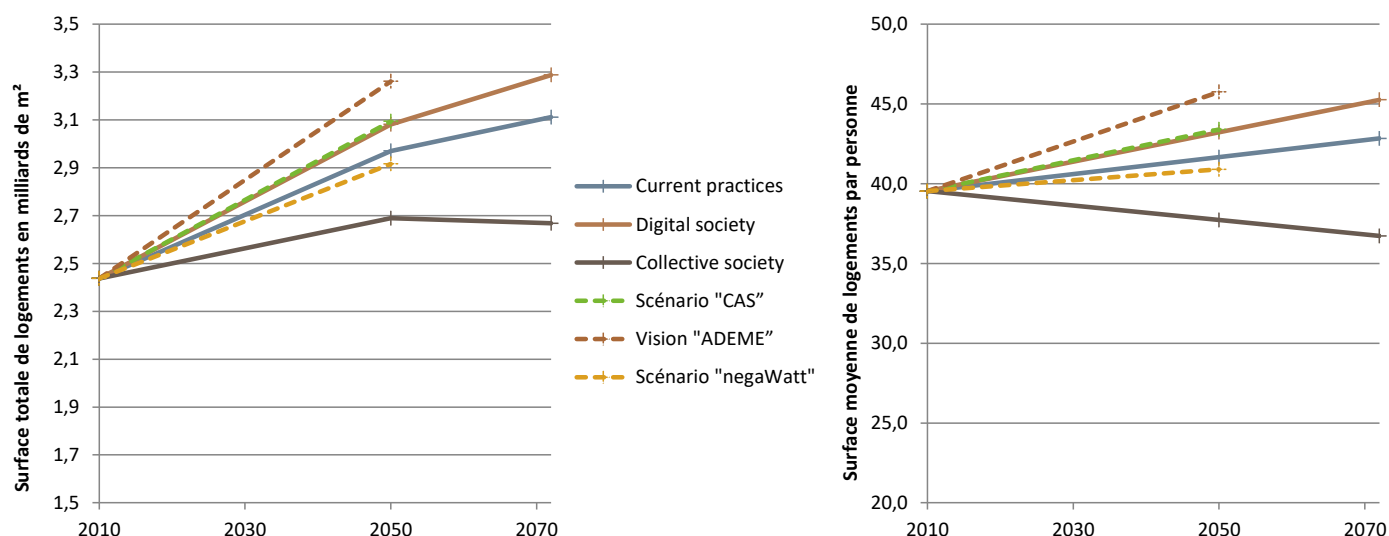


Figure 64 : Comparaison des hypothèses de trois scénarios énergétiques à l'échelle de la France avec les résultats de simulation pour la demande en logements. NB : seuls les points sont issus des différents exercices, les courbes sont tracées à titre indicatif pour des raisons de lisibilité.

Sur ce poste, nous pouvons identifier une attitude plutôt « prédictive » pour les scénarios du CAS et de l'ADEME, consistant à essayer de formuler une hypothèse « la plus probable possible », et une attitude plutôt normative pour le scénario negaWatt. Dans ce dernier cas, l'évolution des pratiques est censée permettre une hausse mesurée des usages à satisfaire. Signalons toutefois que chacun des trois exercices n'envisage qu'une seule hypothèse, alors que l'indicateur est sujet à l'incertitude. Parmi les cinq exercices de modélisation prospective envisageant explicitement une évolution des modes de vie et recensés dans la chapitre 2 (sous-partie 2.1.3c), exercices portant sur différentes échelles), seul le projet ETHEL précise la valeur obtenue : 2,7 milliards de m² en 2030, soit une valeur proche de quatre des six scénarios ci-dessus.

4.4.2 Demande en biens et services

La demande en biens et services hors mobilité et logement a été appréhendée dans le cadre de notre exercice à travers un ensemble de biens durables considérés comme emblématiques de la consommation matérielle. Ce choix présente l'intérêt d'explorer différentes facettes et facteurs explicatifs des évolutions différenciées de la consommation de ces biens. Il contraste toutefois avec le choix des scénarios existants. Ainsi dans les trois scénarios précédemment cités, les hypothèses relatives à la consommation de biens et services sont formulées en termes d'activité industrielle, qui ne couvre donc pas précisément le périmètre de consommation de la population française, ou de consommation par branche économique (scénario negaWatt). Les indicateurs ne sont donc pas directement comparables. L'un d'entre eux fait exception pour un scénario : celui de la taille du parc de véhicules. À l'horizon 2050, la vision de l'ADEME envisage ainsi un parc de

22 millions de véhicules, soit près de la moitié des parcs simulés dans nos trois scénarios (39 millions dans le scénario « *collective society* » en 2050, 42 millions dans les deux autres). Cette hypothèse de l'ADEME est expliquée par le choix de remplacer une partie du parc individuel par 5 millions de véhicules dits *serviciels*, c'est-à-dire intégrés dans des systèmes de location courte durée ou d'autopartage par exemple. Dans ce scénario, les auteurs considèrent « *qu'un véhicule serviciel « remplace » environ trois véhicules individuels* » (ADEME, 2013). Ils envisagent également un report vers les modes actifs et collectifs important, qui justifie qualitativement un recours moins systématique à la propriété de véhicules. En comparaison, nous n'avons testé que les effets de la localisation et de mutualisation à l'échelle du ménage des véhicules, sans aucune rupture dans les choix d'équipements en véhicules.

Un autre exercice de l'ADEME propose un scénario qui peut également permettre la mise en perspective des résultats obtenus car il est centré sur la consommation (ADEME, 2014). Les hypothèses envisagées à l'horizon 2030 portent sur six postes, dont les biens non alimentaires et les biens culturels et de loisirs qui s'apparentent aux biens que nous avons traités. L'une des hypothèses envisagées est un allongement de la durée de vie moyenne des équipements de 20%. Plusieurs autres orientations portent sur les modalités de production des biens (p. ex. écoconception, économie circulaire), ou sur les modes de consommations (p. ex. produits écolabellisés, produits généralistes plutôt que plusieurs produits spécifiques, consommation collaborative) mais ne sont pas explicitement quantifiées. Ce type d'orientations n'a pas été envisagé dans notre exercice, et nous verrons dans le chapitre 5 que cela tient notamment à l'usage des enquêtes nationales (section 5.2).

Sur ce poste, la comparaison (ou non comparaison) des scénarios et des hypothèses nous mène à dresser plusieurs constats. Premièrement, cet enjeu est généralement traité de manière indirecte dans les scénarios existants, à travers les niveaux d'activité économique. Deuxièmement, dans notre exercice, les hypothèses explorées sont restées relativement simples alors que les directions et dimensions de changements possibles sont nombreuses. Troisièmement, étant donné que d'autres hypothèses ont été formulées dans des scénarios existants (tels que ceux de l'ADEME), le modèle peut également être utilisé pour étudier les conditions de réalisation de certaines de ces hypothèses en les confrontant à la structure du système « population et modes de vie » actuel (p. ex. pour le cas du parc de véhicules).

4.4.3 Demande en mobilité

La comparaison des hypothèses de demande en mobilité fait également apparaître des disparités importantes. La Figure 65 représente l'évolution de la mobilité courte et longue distance pour l'ensemble de la population, dont l'effectif croît sur la période. Trois scénarios envisagent une hausse de cette mobilité globale. Pour le scénario « *current practices* », elle résulte quasi-exclusivement de la croissance démographique. Pour les deux autres

scénarios, elle est tirée essentiellement par une forte croissance de la demande en mobilité longue distance (Figure 66), et ce malgré la substitution d'une partie des trajets quotidiens par de la mobilité virtuelle dans le scénario « *digital society* ». Les scénarios de l'ADEME et négaWatt ont volontairement pris une hypothèse de réduction de la mobilité (Figure 66). L'ADEME justifie qualitativement cette baisse par de multiples raisons : « *télétravail, structure de la population, urbanisme et infrastructure permettant d'optimiser les besoins en mobilité, etc.* » (ADEME, 2013). Les mêmes raisons sont également avancées pour le scénario négaWatt, précisant notamment le déploiement « d'hôtels d'entreprises » et ajoutant la hausse du coût de l'énergie comme une raison de la substitution d'une partie des déplacements longue distance par la visioconférence (motifs professionnels) ou des déplacements moins lointains (motifs personnels). Le scénario « *collective society* » envisage quant-à-lui une hypothèse de contraction « socialement choisie » de l'espace de vie.

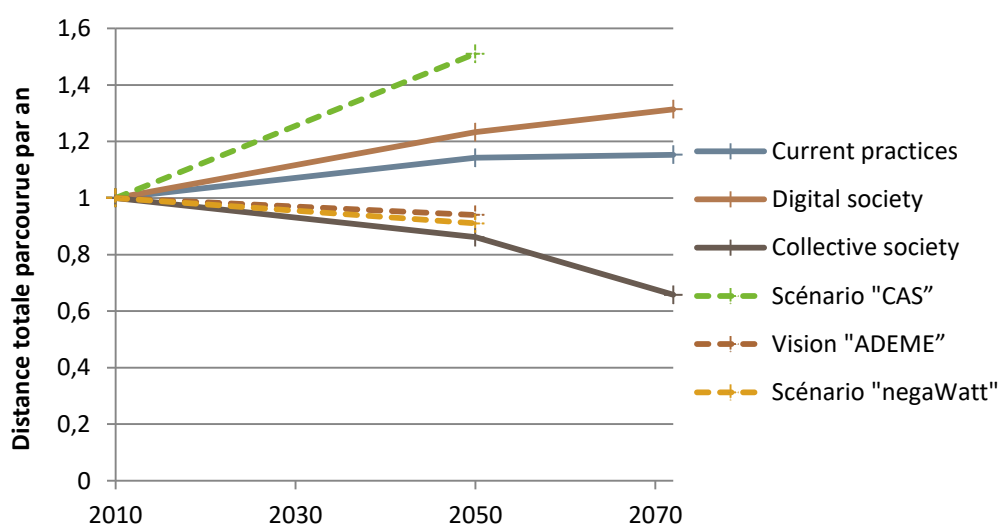


Figure 65 : Comparaison des hypothèses de trois scénarios énergétiques à l'échelle de la France avec les résultats de simulation pour la demande en mobilité courte et longue distance (indice d'évolution). NB : seuls les points sont issus des différents exercices, les courbes sont tracées pour des raisons de lisibilité.

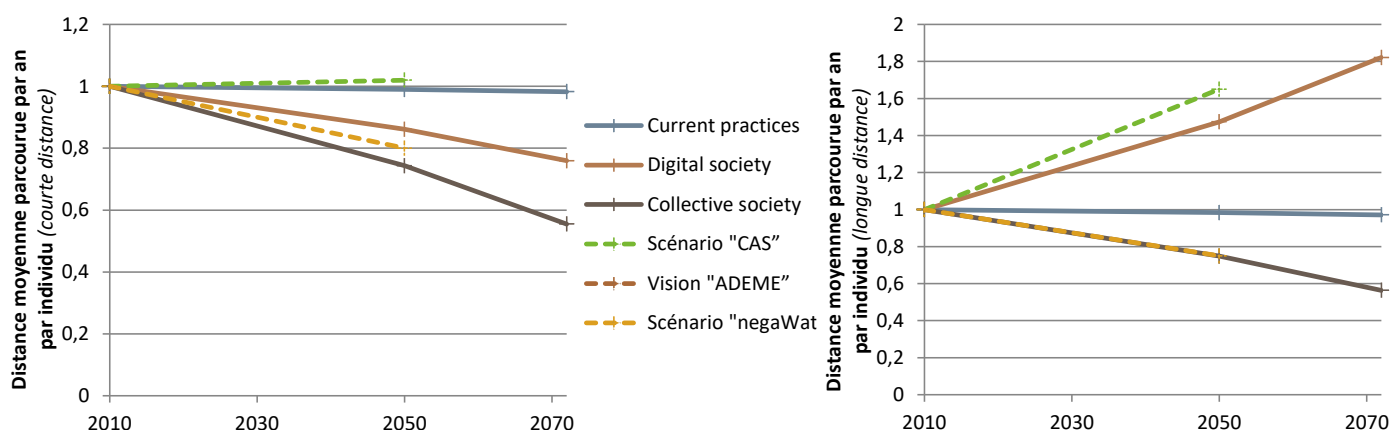


Figure 66 : Comparaison des hypothèses de deux scénarios énergétiques à l'échelle de la France avec les résultats de simulation pour la demande en mobilité individuelle courte (à gauche) et longue distance (à droite) (indices d'évolution). NB : seuls les points sont issus des différents exercices, les courbes sont tracées pour des raisons de lisibilité.

Ici encore, la diversité des hypothèses formulées entre les exercices, et l'éventail de nos résultats de simulation incitent d'une part à questionner les conditions d'atteinte des niveaux d'usage les plus bas, et d'autre part à penser les incertitudes sur ce poste dans les exercices de prospective énergétique. Pour le premier point, les travaux portant sur la mobilité individuelle, les infrastructures et la planification urbaine ne manquent pas. En revanche, chaque système territorial (p. ex. urbain) a ses spécificités et le passage de l'échelle locale à l'échelle nationale n'est pas au centre de l'attention dans ce domaine.

Pour le second point, l'une des difficultés réside dans la quantification de l'influence de pratiques sur lesquelles nous ne disposons que de peu de recul (p. ex. extension des domaines de la mobilité virtuelle). Et même en considérant des pratiques existantes, les incertitudes demeurent fortes comme l'illustrent les trois scénarios élaborés dans le cadre d'un exercice de prospective de la mobilité des individus sur le territoire de la France métropolitaine réalisé par l'EPFL pour la SNCF (Kaufmann et Ravalet, 2016). Le premier scénario est celui de l'*ultramobilité* où les tendances à l'accroissement de la mobilité individuelle et les croissances démographique et économique conduisent à une augmentation de 27% des distances totales parcourues en 2050 par rapport à 2013. Le second est celui de l'*altermobilité* où le poids de la voiture individuelle, considéré comme trop élevé au regard de son coût et de ses nuisances, recule. La distance totale parcourue augmente seulement de 8% en 2050 par rapport à 2013. Le dernier scénario est celui de la *proximobilité* qui suppose que « les logiques de déploiement urbain et de choix résidentiel aient profondément évolué sous l'impulsion de l'aspiration à une qualité de vie ancrée dans l'environnement local, de l'envie de vivre des temps de qualité et de prendre le temps » (Kaufmann et Ravalet, 2016). Ces trois scénarios ont été construits en s'appuyant sur l'analyse de tendances mais aussi de signaux faibles.

4.4.4 Conclusion et discussion

Les simulations que nous avons effectuées fournissent des indicateurs des usages énergétiques qui peuvent être comparés à des hypothèses ou à des résultats intermédiaires de plusieurs scénarios énergétiques élaborés pour la France. Cette comparaison montre que la variabilité des hypothèses formulées sur les indicateurs des usages énergétiques dans ces différents scénarios est du même ordre de grandeur que les contrastes obtenus sur ces mêmes indicateurs à l'issue de nos simulations. Ainsi, cet exercice de mise en perspective met en évidence que l'apport de la modélisation proposée ne se situe pas dans le caractère inédit des résultats – puisque des hypothèses aussi contrastées ont été formulées dans les trois scénarios étudiés – mais plutôt à trois autres niveaux.

Le premier niveau est un apport en termes de *cohérence* des scénarios. Alors que celle-ci repose dans les méthodes directes sur l'expertise, voire sur l'usage du récit lorsqu'il est mis en jeu, le modèle proposé permet de simuler les effets d'une même hypothèse de modification des modes de vie (p. ex. en termes de localisation des ménages, de pratiques de cohabitation) sur les différents indicateurs suivis (p. ex. mobilité, consommation de biens). L'exemple de l'hypothèse formulée sur la mobilité dans les exercices de l'ADEME (2013) et de l'Association Négawatt (2014) est à ce titre révélatrice : l'évolution des pratiques de mobilité et de localisation est évoquée en toile de fond de la formulation d'une hypothèse sur la distance moyenne parcourue par les individus. La cohérence apportée par la modélisation trouve toutefois ses limites dans les modalités d'application à travers les corrélations effectivement mises en jeu ou non. Pour fournir un exemple relatif aux suites de variables utilisées, soulignons l'absence de rétroactions des pratiques de mobilité sur les décisions d'équipements en véhicule (les corrélations entre ces variables sont en effet prises en compte dans un seul sens).

Le second niveau réside dans la discussion des hypothèses formulées dans les exercices de prospective existants. La modélisation peut alors permettre d'une part d'identifier des *conditions de réalisations* des hypothèses proposées à travers le cadre cohérent de scénarios de modes de vie, d'autre part de les situer dans un champ des possibles. Le modèle ne permettra toutefois pas *a priori* d'évaluer la plausibilité des hypothèses à formuler. Tout au plus permettra-t-il d'établir des valeurs limites s'inscrivant dans un cadre d'évolution tendancielle. Notons que nous ré-évoquerons brièvement cette éventualité dans le chapitre 5 (partie 5.1.3).

Le troisième niveau porte sur le degré de désagrégation des résultats. Les matrices populations finales offrent en effet une représentation très détaillée de la population et de ses pratiques, qui peut s'avérer utile lors d'un usage avec d'autres modèles. Par exemple, le modèle fournit des détails sur le parc de logements (p. ex. types de logement, distribution de leur taille, localisation) ainsi que sur les caractéristiques des occupants des différentes catégories de logements (p. ex. catégories socioprofessionnelles, composition du ménage,

âge de la personne de référence). Ces caractéristiques peuvent être utiles pour simuler des comportements d'investissements par exemple (p. ex. travaux d'isolation, remplacement d'équipements de chauffage). Il en est de même pour les caractéristiques de la demande en mobilité et des individus qui la génèrent, ce qui peut enrichir l'étude des futurs choix modaux.

Dans la section suivante, nous présentons quelques résultats préliminaires de l'exercice de prospective énergétique plus global. Cela nous donnera l'occasion de présenter et discuter l'expérience de couplage du modèle avec deux modèles représentants d'autres composantes du système énergétique.

4.5 EXPLOITATION DES RESULTATS DANS LA DEMARCHE « DESSINER UNE FRANCE ZERO CARBONE A L'HORIZON 2072 »

Les résultats de simulation présentés dans la section 4.3 ont été exploités dans le cadre d'un exercice exploratoire plus global portant sur les conditions d'atteinte d'une France zéro émission de gaz à effet de serre à l'horizon 2072. Cet exercice a été l'occasion d'expérimenter la combinaison de trois modèles représentant des composantes différentes du système énergétique. Nous proposons dans cette section de présenter le principe de l'approche mise en œuvre (4.5.1), d'aborder les enjeux liés à la combinaison de modèles (4.5.2) avant de donner un aperçu des résultats préliminaires obtenus (4.5.3), cet exercice est en effet toujours en cours au moment de la finalisation de ce manuscrit (septembre 2017).

4.5.1 Une approche multi-modèle

L'exercice « Dessiner une France zéro carbone à l'horizon 2072 » associe trois modèles, c'est-à-dire trois représentations de la réalité. Les trois modèles reposent sur des paradigmes et principes différents mais peuvent être combinés par leurs données d'entrée et de sortie. La Figure 67 représente l'articulation de ces trois modèles. La modélisation des modes de vie intervient en amont de la démarche prospective d'ensemble étant donné que ceux-ci sont considérés comme le moteur de l'évolution de la structure des usages de l'énergie. Le point de départ du processus sera donc constitué de la description qualitative de l'esprit et des hypothèses des scénarios d'évolution des modes de vie. Les résultats de simulation obtenus alimentent les deux autres modèles.

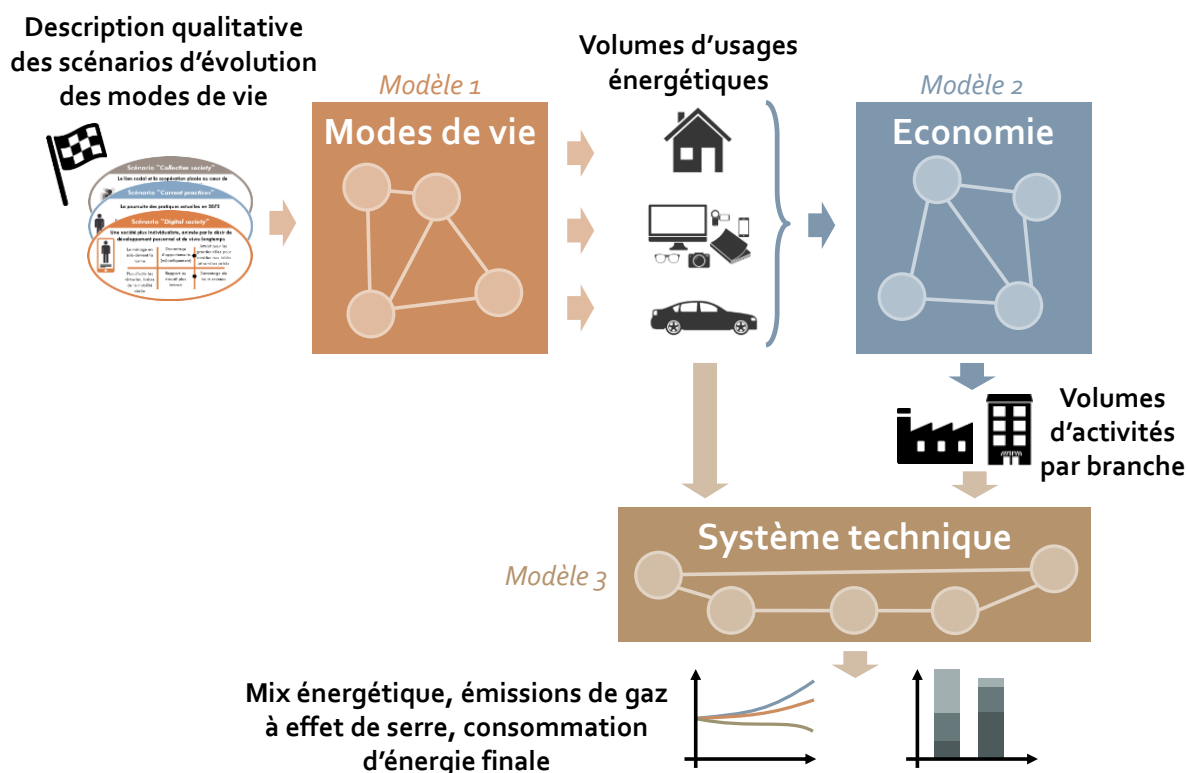


Figure 67 : Schéma de la combinaison des trois modèles dans l'exercice "Dessiner une France zéro carbone à l'horizon 2072"

Le second modèle utilisé est le modèle MODESTE (Briens, 2015) qui offre une représentation de l'économie (modèle de type *Input-Output*). Les données de sortie de ce modèle valorisées dans cet exercice sont essentiellement des volumes d'activités des différentes branches de l'économie. Exprimée en valeur (euros) ou en unités physiques (p. ex. tonnages produits par l'industrie cimentière, km.véhicule du secteur du transport de marchandises), cette demande correspond à l'activité nécessaire à la production des infrastructures (p. ex. bâtiments, routes), des biens (p. ex. véhicules, équipements électroménagers) ou encore des services (p. ex. hôtellerie, services de transport) dont la demande est générée par la population et ses modes de vie (y c. les consommations intermédiaires des différentes branches).

Le troisième modèle utilisé est le modèle MarkAI-TIMES pour la France (décrit notamment par Assoumou (2006)). Il exploite en entrée les données de volumes d'usages énergétiques relatifs à la demande en logements et en mobilité issues du premier modèle ainsi que les données de volumes d'activité produites par le second modèle. Ce modèle représente la composante technique du système énergétique, c'est-à-dire l'ensemble des technologies utilisatrices d'énergie. Basé sur un paradigme d'optimalité, ce modèle simule les choix technologiques effectués par les acteurs, et notamment les choix en termes de mix énergétique. Ces choix sont dépendants des coûts des différentes technologies et de leur durée de vie notamment. Il est possible de contraindre l'ensemble du système (et influencer les choix) par exemple en imposant un objectif de réduction d'émissions de gaz à effet de

serre, en instaurant une taxe carbone ou encore en fixant une part maximale d'énergie nucléaire dans le système électrique.

Nous proposons de revenir dans la partie suivante sur les interactions entre ces trois modèles, puisque cette démarche expérimentale soulève plusieurs enjeux de modélisation.

4.5.2 Discussion des interactions entre modèles

La combinaison de modèles constitue l'un des moyens d'élaborer des scénarios énergétiques à partir du modèle des modes de vie proposé. La Figure 68 illustre le rôle de chacun des trois modèles en termes de représentation de la « chaîne énergétique » telle que nous l'avons décrite au chapitre 1. Elle permet de visualiser la complémentarité des trois modèles pour l'exercice. Toutefois, au-delà de cette complémentarité descriptive, la combinaison de ces modèles soulève également plusieurs questions de cohérence des représentations des différentes composantes du système énergétique (au sens large).

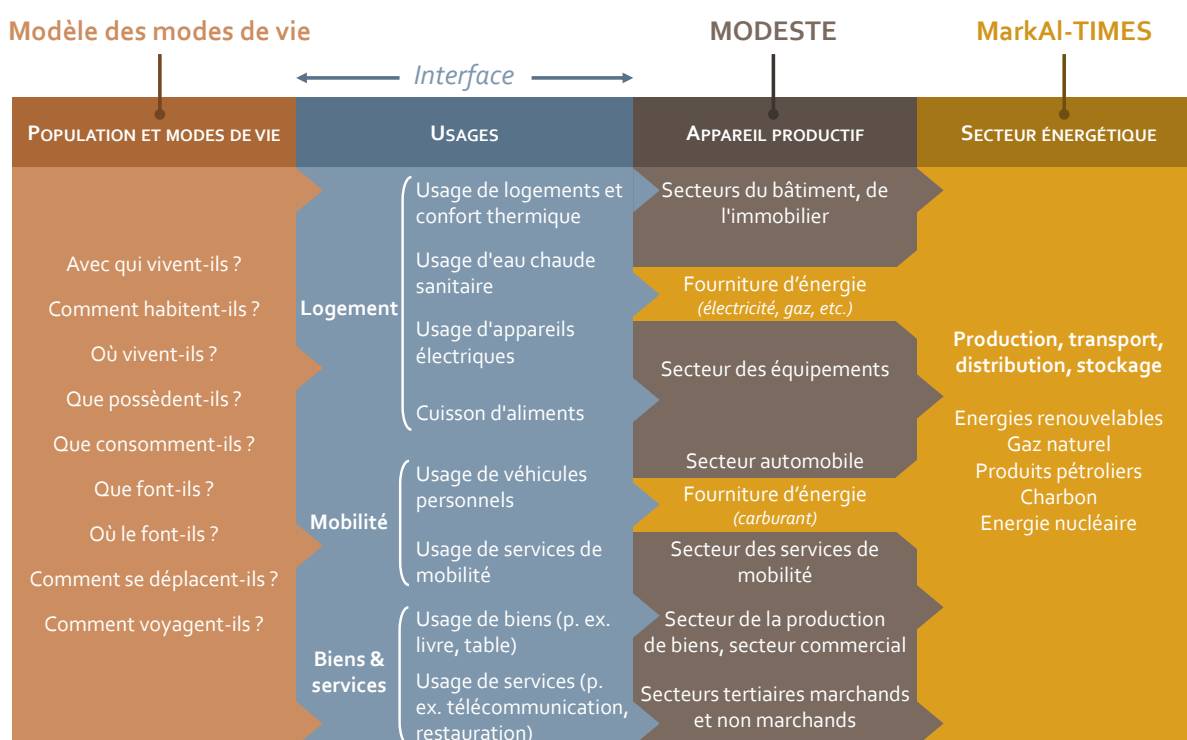


Figure 68 : Représentation du rôle de chacun des trois modèles le long de la "chaîne énergétique".

Les trois modèles utilisés appréhendent de manière plus ou moins détaillée les usages énergétiques tels que nous les avons définis. Nous proposons dans le Tableau 45 une analyse des comportements et des infrastructures que représente chacun des modèles.

Tableau 45 : Synthèse des comportements et infrastructures représentés par les trois modèles sur les trois grands postes de la demande énergétique.

	MODELE STATISTIQUE DES MODES DE VIE	MODESTE	MARKAL-TIMES
LOGEMENTS	Représentation de la taille et de la structure du parc de logements, complété par un module pour représenter sa dynamique d'évolution	Représentation agrégée de la dynamique du parc de logements, de ses caractéristiques techniques et des systèmes de chauffage	<i>Utilisation de la dynamique du parc</i> Représentation implicite de l'enveloppe des bâtiments, représentation explicite du parc d'appareils de chauffage
BIENS ET SERVICES	Représentation et simulation de certains comportements d'achat et d'équipement Pas de représentation directe de l'appareil productif hors considération d'une certaine pérennité des catégories de biens disponibles	<i>Utilisation de données de consommation (achats)</i> Représentation explicite de la structure de l'appareil productif par des tables entrées-sorties, représentation descriptive de bouclages économiques Représentation implicite de procédés (industriels, itinéraires techniques) Simulation des volumes d'activités des branches	<i>Utilisation des volumes d'activités des branches</i> Représentation des technologies de chaque branche industrielle : procédés, flux
MOBILITE	Représentation et simulation des déplacements : nombres, distances, modes de transports Représentation implicite des infrastructures et choix modaux par la reproduction des comportements dans les différents types d'espace urbain et en fonction de différentes caractéristiques des individus Simulation de la taille du parc de véhicules	<i>Utilisation des volumes de déplacements : nombres, distances</i> Représentation implicite des infrastructures et choix modaux par des matrices « parts modales par distance de déplacement » Représentation de la dynamique du parc de véhicules et de ses caractéristiques	<i>Utilisation de données sur les déplacements : distances par mode de transports</i> Représentation de la dynamique du parc de véhicules : renouvellements, type de motorisation, performance énergétique

Le Tableau 45 permet d'identifier à la fois les complémentarités entre les trois modèles, les recoupements et les points de tension. Sur le poste lié aux logements, il n'y a pas de recoupement entre le modèle statistique et le modèle TIMES qui permettent en outre une représentation complète du poste. Le modèle MODESTE n'est alors utilisé que pour sa représentation de l'activité économique générée par l'évolution du parc de logements dans le secteur du bâtiment. Ce choix vise à valoriser la représentation plus fine des technologies par TIMES et sa représentation plus complexe des comportements de renouvellement des équipements. La représentation de la dynamique d'évolution des technologies dans le parc de logements dans le modèle MODESTE requiert en effet des hypothèses exogènes.

Sur le poste des biens et services (hors logements et mobilité), la complémentarité est plus directe. Le modèle MODESTE est alimenté par des hypothèses d'évolution des volumes de consommation que fournit le modèle statistique. Le modèle TIMES utilise des données d'activités par branche que peut générer le modèle MODESTE. Notons toutefois que le modèle MODESTE représente également les technologies de l'appareil productif et donc ses consommations d'énergie et ses émissions de polluants. Une nouvelle fois nous préférons à cette représentation celle du modèle TIMES pour lequel la dynamique d'évolution des technologies est endogénéisée.

Enfin, pour le poste de la mobilité, où nous incluons ici le parc de véhicules, la situation est plus complexe. Ainsi si le modèle MODESTE offre une représentation de la quasi-totalité de la chaîne (nombre de déplacements, distances, modes de transport, performances des modes de transport), il requiert des hypothèses exogènes d'évolution des comportements de mobilité et des technologies. Celles-ci peuvent être simulées par le modèle statistique des modes de vie et exprimées en nombre de déplacements par tranche de distance. La simulation des parts modales est une donnée d'entrée du modèle TIMES. Elles pourraient être simulées à partir des deux autres modèles. Le modèle statistique s'appuie alors sur un mimétisme des comportements actuels qui comporte une grande inertie et présente un intérêt limité pour envisager une modification importante de la structure de l'offre dans les différents types d'espaces urbain (p. ex. développement des infrastructures de transport collectifs ou de modes doux). Le modèle MODESTE propose quant-à-lui une matrice des parts modales par tranche de distance de déplacements qu'il est possible de faire évoluer dans le temps de manière exogène (Figure 69) pour représenter de manière implicite une évolution des infrastructures. Nous avons choisi cette approche pour simuler l'évolution des parts modales à partir de la demande en mobilité par tranche de distance fournie par le modèle statistique. Ces résultats sont ensuite utilisés par le modèle TIMES. Ce choix revient donc à ne pas faire intervenir explicitement la possession d'une voiture ou la localisation dans les choix modaux (tout en en tenant compte en amont, à travers la distribution par tranches de distance).

Concernant le parc de véhicules particuliers, la logique qui a prévalu a consisté à considérer que les choix d'équipements étaient déterminés par des logiques de renouvellement technologique et non par les caractéristiques de la population (y compris leur localisation) ou leurs pratiques de mobilité. Les choix modaux n'interviennent donc pas directement sur l'achat ou non d'une voiture. Aucune hypothèse disruptive n'a été prise en considération à un horizon où il est possible que l'émergence des véhicules autonomes modifie en profondeur les pratiques. L'évolution de la taille du parc de véhicules est alors simulée par le modèle TIMES et utilisée par le modèle MODESTE pour simuler l'activité des branches industrielles qui en découlent. Le modèle TIMES simule également l'évolution des caractéristiques techniques des véhicules (p. ex. performance, type de motorisation).

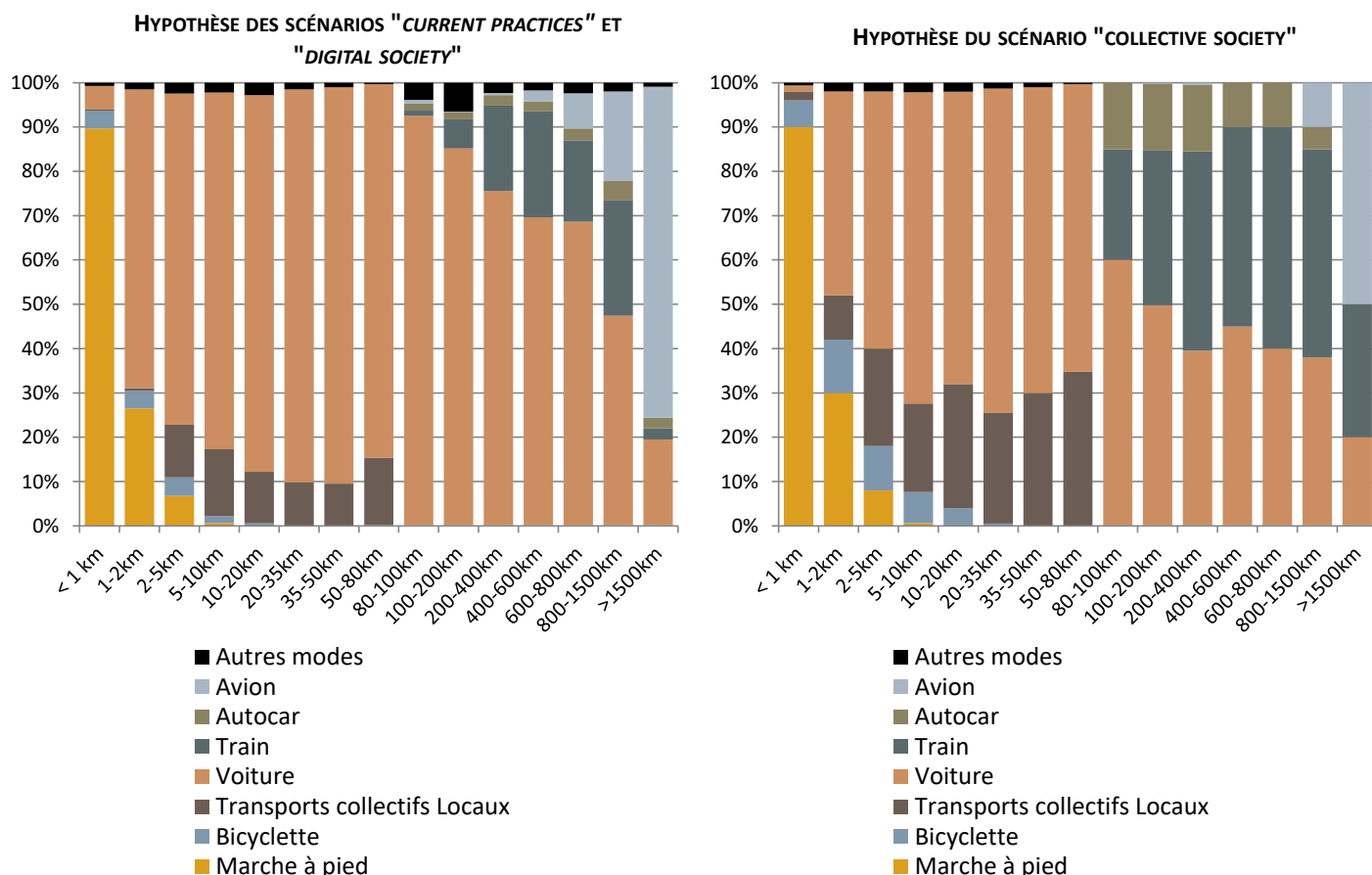


Figure 69 : Hypothèses de parts modales par tranche de distance (graphique de gauche obtenu à partir des données de l'enquête nationale transports et déplacements 2008). L'hypothèse du scénario « collective society » envisage des facilités d'accès aux transports en communs (p. ex. développement des infrastructures, amélioration de l'accessibilité) et pour l'usage de la bicyclette (p. ex. développement du réseau de voies dédiées, des places de stationnement).

L'ensemble des choix effectués a été synthétisé dans le Tableau 46 où sont distinguées les modalités de représentation des comportements relatifs aux usages et des infrastructures. Notons que ce sont également des comportements qui font évoluer les infrastructures (au sens large). Ceux-ci peuvent concerner des personnes morales (entreprises, collectivités gestionnaires de réseaux), mais aussi des individus ou ménages lorsqu'il s'agit d'équipements individuels (p. ex. systèmes de chauffage, voiture).

Tableau 46 : Choix de modélisation effectivement réalisés dans l'exercice

		Modèle statistique des modes de vie	MODESTE	MarkAI-TIMES
LOGEMENTS	<i>Comportements relatifs aux usages</i>	Comportements générant la demande en logement (choix de localisation, pratiques de cohabitation)	-	Comportements de restrictions du niveau de service (p. ex. température de confort)
	<i>Infrastructures et autres comportements</i>	Module représentant la dynamique du parc de logements	Représentation de l'activité du secteur du bâtiment (et secteurs dépendants)	Représentation de l'évolution technique du parc de logements (performance énergétique du bâtiment), simulation de la dynamique de renouvellement et de déploiement des systèmes énergétiques résidentiels (chauffage, eau chaude, etc.) et du type d'énergie utilisé
BIENS ET SERVICES	<i>Comportements relatifs aux usages</i>	Comportements générant une demande en biens	Hypothèses sur les comportements de demande en biens et services non simulés par le modèle statistique	-
	<i>Infrastructures et autres comportements</i>	-	Représentation de la structure de l'économie (activités des branches, flux entre branches)	Représentation de l'évolution des technologies industrielles et agricoles (procédés et performances, type d'énergie utilisée)
MOBILITE	<i>Comportements relatifs aux usages</i>	Comportements générant une mobilité (activités pratiquées, localisation des activités, parts d'activité réalisées à domicile, de mobilité virtuelle vs réelle) <i>NB : pas de rétroaction des infrastructures sur la mobilité</i>	Comportements justifiant les choix modaux en fonction des distances parcourues (implicitement : rapport au temps, perception des modes, etc.)	Comportements de restrictions du niveau de service Comportements d'achats de véhicules (à partir du ratio km/véhicule)
	<i>Infrastructures et autres comportements</i>	Hypothèses implicites sur la localisation des activités, l'accessibilité des destinations	Représentation de l'évolution de l'offre des systèmes de transport : offre en transports collectifs, en infrastructures favorisant les modes doux, etc. Représentation de l'activité du secteur automobile (et secteurs dépendants)	Simulation des dynamiques de renouvellement et de déploiement des différentes technologies dans le parc de véhicules particuliers et dans le reste des systèmes de transports (performance énergétique, types d'énergie utilisés, etc.)

Ainsi, si le cœur de chacun des trois modèles porte sur des composantes différentes, ils possèdent également des points de recouvrement (p. ex. simulation de la taille du parc de véhicules par les trois modèles). Par ailleurs, chaque modèle repose sur des principes différents et il convient de s'assurer de la compatibilité des hypothèses, implicites ou explicites, de chacun des modèles. L'examen de ces points de recouvrement et de la cohérence des hypothèses et principes de modélisation doit conduire à effectuer des choix quant aux modèles utilisés pour simuler les différentes composantes du système, ce qui revient à privilégier l'une ou l'autre des dynamiques représentées (p. ex. paradigme d'optimalité pour les choix technologiques). Par ailleurs, bien que portant chacun sur un périmètre d'investigation étendu, certaines dynamiques et certains processus ne sont pas représentés par la combinaison de modèles, ce qui rappelle les limites du recours même à la modélisation.

De premiers résultats de cette démarche prospective multi-modèle étant disponibles au moment de finaliser ce manuscrit, nous en présentons un extrait dans la partie suivante.

4.5.3 Résultats préliminaires

Dans une première étape, les résultats présentés dans la section 4.3 et les données de sortie du modèle MODESTE sont convertis en scénarios de demande d'énergie « théorique ». Ce produit intermédiaire de la démarche correspond à la consommation d'énergie qui permettrait de satisfaire les futurs usages énergétiques si le système énergétique demeurerait stable, c'est-à-dire sans que soient envisagés des gains d'efficacité énergétique supplémentaires (autres que ceux liés à un renouvellement des équipements et infrastructures), des mesures d'économie, les effets d'évolutions du prix de l'énergie, etc. Cet état de référence – décrit en suivant les spécifications du modèle TIMES – servira de base à la simulation du système technique. Il est représenté sous une forme agrégée à l'horizon 2072 par la Figure 70.

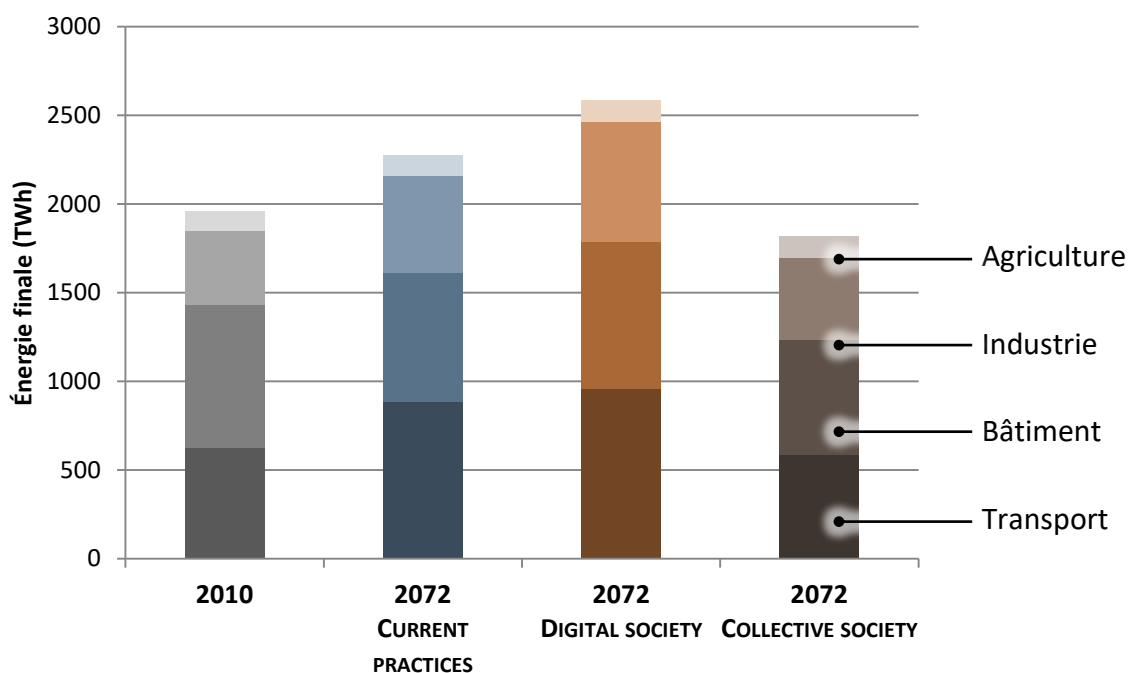


Figure 70 : Consommation d'énergie finale théorique en 2072 pour les trois scénarios d'évolution des modes de vie (données : Edi Assoumou).

Selon cet état, la demande d'énergie totale est respectivement supérieure de 16% pour le scénario « *current practices* », de 31% pour le scénario « *digital society* » et inférieure de 7% pour le scénario « *collective society* » par rapport à la situation actuelle. Les contrastes du secteur des transports sont ceux qui influencent le plus ces résultats : ils alourdissent la demande énergétique théorique des scénarios « *Current practices* » (+42%) et « *Digital society* » (+54%) et allègent en comparaison celle du troisième scénario (-6%). La demande liée au secteur résidentiel augmente très légèrement dans le scénario « *Digital society* » (+2%) et baisse dans les deux autres (-10% et -19%). L'effet de l'augmentation de la surface de logements est en effet atténué par le fait que les nouveaux logements construits sont plus performants. Pour le secteur industriel, une partie de la différence est expliquée par les différences de volumes d'achats de biens matériels issus des résultats de simulation mais ceux-ci ont été complétés par d'autres hypothèses spécifiques à l'appareil industriel et mises en œuvre à l'aide du modèle MODESTE.

Ces scénarios « théoriques » sont ceux qui illustrent le plus directement l'influence potentielle des modes de vie sur la future consommation d'énergie, sans tenir compte des réactions du système. Néanmoins, le système énergétique est régi par de nombreux processus et logiques que représente le modèle TIMES. Ce modèle permet notamment d'appliquer des contraintes au système énergétique afin d'observer comment il s'en accommode de manière « optimale ». Dans le cadre de l'étude présentée, les modélisateurs ont appliqué au système une contrainte d'atteinte d'une France zéro émission au cours de la seconde moitié du XXI^{ème} siècle.

Le système dispose d'un premier niveau d'adaptation des comportements à cette contrainte par la mobilisation des potentiels d'efficacité énergétique, en particulier dans les secteurs industriel, agricole et des transports. Ceux-ci interviennent sans réduction du niveau de « service » attendu, c'est-à-dire qu'aucune restriction de l'activité n'est simulée. Le coût global d'atteinte de l'objectif pour les scénarios « *collective society* » et « *digital society* » est représenté par la Figure 71 (deux premières barres). Si le contraste est net, le résultat ne peut en réalité pas être interprété directement. En effet, le scénario « *Digital society* », pousse le système dans un état dit « surcontraint ». Pour atteindre la neutralité carbone, des matériaux ou de l'énergie sont ainsi importés par le système à un coût très élevé. Cette réaction du modèle témoigne en fait de l'incapacité à parvenir à une solution à partir des procédés représentés dans le système. La simulation rend toutefois compte du fait que face à un objectif très ambitieux de réduction d'émissions de gaz à effet de serre, un écart significatif de la demande en usages peut être atténué ou amplifié par les contraintes propres au système technique.

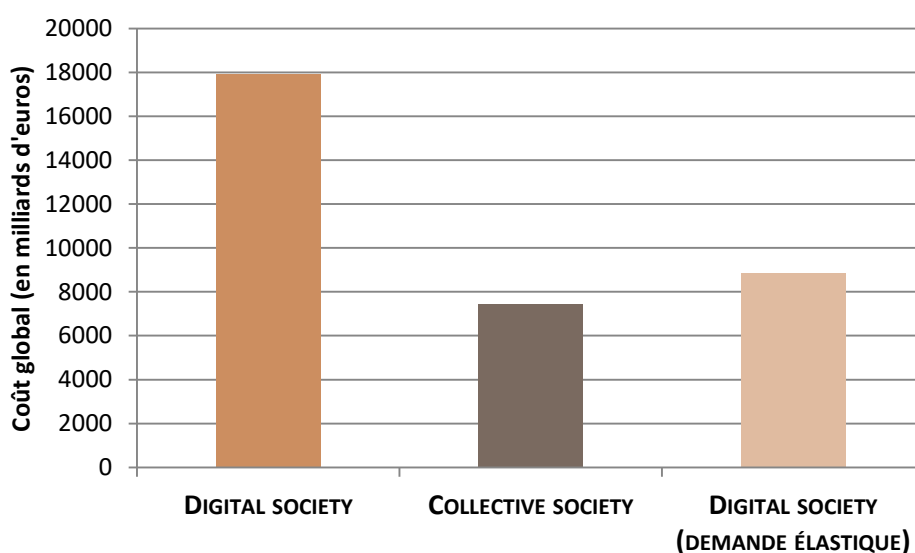


Figure 71 : Coût global de l'atteinte de l'objectif « zéro émission » pour les scénarios « *collective society* » et « *digital society* » (avec ou sans demande élastique) à l'horizon 2072 (données : Rémy Doudard, Ariane Millot, Edi Assoumou).

Le modèle TIMES comporte également un second niveau de représentation de comportements d'économie d'énergie où les acteurs, au-delà de choisir des technologies plus efficaces, peuvent décider de restreindre le niveau de service qu'ils demandent pour un même usage. Ces comportements, qui ne sont pas considérés comme propres aux modes de vie, consistent par exemple à revoir à la baisse la température de confort de son logement, ou à ne pas réaliser une partie des déplacements pour des raisons de coûts. Ces comportements sont représentés dans le modèle par des coefficients d'élasticité. L'introduction de cette possibilité dans le modèle conduit à des réductions de consommation d'énergie supplémentaires par rapport à la consommation théorique de chaque scénario et réduit ainsi le coût global du scénario (cf. troisième barre de la Figure 71).

Notons que la mobilisation de ces possibilités correspond *a priori* à un coût social supporté par les individus et les ménages.

Selon la trajectoire qu'emprunteront les futurs modes de vie, le coût global et les efforts (p. ex. investissements, ajustements des comportements) nécessaires à une transition énergétique ou à l'atteinte d'objectifs d'émissions de gaz à effet de serre ambitieux varient significativement. Notons également que les choix de modes de vie peuvent influencer la capacité de la société à supporter ces coûts (p. ex. capacité d'investissement des ménages, flexibilité des comportements), ce que nous n'avons pas cherché à appréhender dans cet exercice.

4.6 CONCLUSION DU CHAPITRE

Dans ce chapitre, nous avons souhaité illustrer l'usage du modèle issu de nos recherches pour l'élaboration de scénarios exploratoires d'évolution des modes de vie. Les scénarios portent à l'horizon 2072, un horizon suffisamment lointain pour envisager des changements relativement importants et donc pour confronter le modèle à des scénarios contrastés. Ces scénarios alimentent par ailleurs un exercice de prospective énergie-climat plus global qui vise à se confronter à l'objectif d'une France zéro émission de gaz à effet de serre au cours de la deuxième moitié du XXI^{ème} siècle, ce qui nous a permis d'aborder également les possibilités et limites de la combinaison de modèles.

Après avoir rappelé les motivations de l'exercice (4.1), nous avons décrit les principales étapes du processus de modélisation (4.2). Celui-ci a consisté dans un premier temps à esquisser trois scénarios contrastés d'évolution des modes de vie de manière littérale, puis à sélectionner les suites de variables qui définiront le modèle effectivement utilisé pour réaliser les simulations et enfin à proposer des transformations de matrices permettant de rendre compte des hypothèses formulées.

La simulation a alors permis de quantifier les volumes d'usages associés à chaque scénario (4.3). Les contrastes marqués entre scénarios pour chacun des trois postes (usages résidentiels, liés à la demande en biens et services et liés à la mobilité) ont constitué la base d'une discussion du rôle possible des changements de modes de vie sur l'atteinte d'un objectif de réduction d'émissions de gaz à effet de serre. Celui-ci peut être appréhendé de manière agrégée à travers la demande énergétique théorique de la population (4.5). Pour le scénario tendanciel (« *current practices* »), la hausse de la demande (+16%) suit la croissance démographique (+18%). Pour le second scénario où la société devient plus individualiste et plus orientée vers les technologies (« *digital society* »), la hausse est nettement supérieure (+31%), montrant que l'évolution des modes de vie peut rendre le défi d'une France zéro émission plus grand encore. Au contraire, elle peut également contribuer à rendre le défi *a priori* plus accessible comme le montre le scénario menant vers une société centrée sur le lien social et les formes d'organisation collective (« *collective society* »). La demande énergétique théorique diminue en effet de 7% par rapport à la situation actuelle, en dépit de la croissance démographique. L'interprétation à partir de la consommation d'énergie théorique est toutefois à considérer avec précaution tant d'autres paramètres peuvent influencer sur la capacité d'une société à adapter ses comportements ou à améliorer les systèmes techniques.

Ces résultats appellent plusieurs réflexions. Premièrement, les incertitudes sur les usages énergétiques liées à l'évolution des modes de vie sont fortes, ce que permet également de constater l'analyse des hypothèses formulées par d'autres exercices (4.4). Par conséquent, les réflexions globales sur notre avenir énergétique peuvent difficilement se contenter de considérer l'évolution des modes de vie comme une tendance lourde, c'est-à-dire un

paramètre prévisible. Deuxièmement, même dans le cas du scénario qui en génère le moins, le volume d'usages à satisfaire ne diminue que peu par rapport à la situation actuelle. Dans ces conditions, l'atteinte d'un objectif zéro carbone implique d'importants efforts d'évolution du système technique. Les simulations effectuées à l'aide du modèle MarkAl-TIMES dans le cadre de cet exercice laissent penser que les coûts potentiellement engendrés (en l'état actuel des connaissances) sont élevés même avec le scénario générant le moins d'usages, mais que ceux-ci peuvent l'être nettement plus avec d'autres scénarios (4.5). Troisièmement, la question de savoir s'il est possible de créer les conditions qui permettent d'orienter les modes de vie vers une baisse des usages énergétiques reste entière. En particulier, comment créer ces conditions sans avoir recours à la contrainte ? Tout en considérant qu'il s'agit surtout d'une perspective de recherche, nous aborderons ce point dans la discussion (section 5.3).

En guise de discussion finale et de conclusion, nous proposons dans le chapitre 5 d'adopter un regard réflexif sur l'approche proposée et les perspectives de recherche ouvertes par notre démarche.

À l'issue du chapitre 2, nous formulons un constat : les modes de vie n'ont jusqu'à présent fait l'objet que de peu d'initiatives de modélisation. Nous avons alors proposé dans le chapitre 3 une approche méthodologique dédiée, dont nous avons illustré la mise en œuvre dans le chapitre 4. Cet exercice de développement d'un modèle a naturellement ses limites à la fois conceptuelles et en matière d'implémentations. Il nous a semblé important de porter un regard réflexif sur cette démarche avant de clore ce manuscrit. Quels sont les apports et limites du formalisme et du principe de modélisation proposé ? Quelles sont les questions auxquelles ils peuvent apporter un éclairage ? Quelles pistes de recherche complémentaires ou alternatives pourraient être explorées ?

En guise de réponse, nous proposons dans ce chapitre quelques réflexions. Nous questionnerons ainsi dans un premier temps le principe de *mimétisme* sur lequel repose le modèle (section 5.1). Dans un second temps, nous nous interrogerons sur les conséquences que l'usage des enquêtes nationales induit sur les possibilités et limites du modèle (section 5.2). La troisième section sera dédiée à une réflexion sur la question des modes de vie dans les politiques publiques (section 5.3). Elle se nourrira des travaux conceptuels et méthodologiques menés au cours de notre démarche de recherche. Ceci nous permettra de conclure plus généralement sur notre démarche de recherche, les questions abordées et les réponses proposées dans cette thèse qui nous conduiront à proposer quelques perspectives de recherche (section 5.4).

5.1 REFLEXION SUR LE PRINCIPE DE "MIMETISME" SOUS-JACENT A LA MODELISATION

Le formalisme de modélisation adopté représente explicitement dans le modèle les comportements des individus et des ménages ainsi qu'une partie du contexte de réalisation de ces comportements (p. ex. attributs individuels, composition du ménage). Cette représentation repose sur l'identification de schèmes de comportements (p. ex. pratiques de mobilité caractéristiques des individus d'un âge donné occupant une situation donnée ; surface de logement caractéristique de ménages d'une taille et d'une localisation définies). En considérant ces schèmes comme la structure de comportements futurs, nous adoptons un principe de *mimétisme* des comportements¹⁰⁹. Celui-ci est sous-tendu par une hypothèse de reproduction de tout ou partie des structures sociales, des ressorts psychologiques, des logiques économiques, ou encore des systèmes de valeurs en vigueur. Nous proposons dans cette partie de discuter des conséquences de ce choix à partir du fil rouge suivant : quels sont les changements de modes de vie pour lesquels le modèle et le principe de mimétisme adopté apportent un éclairage ? Notons que si les changements de modes de vie peuvent être caractérisés par leur ampleur, leur radicalité ou encore les domaines qu'ils concernent, c'est un autre critère qui nous intéressera dans cette section. Nous commencerons par exposer les changements pour lesquels l'apport du modèle est limité (partie 5.1.1), puis nous discuterons des types de changements où son usage est porteur (partie 5.1.2). Par extension, nous discuterons de l'intérêt du modèle pour simuler différents types de scénarios (partie 5.1.3). Pour l'ensemble de la discussion menée dans cette section, nous prendrons appui sur des exemples de changements de modes de vie que nous avons simulés dans le chapitre 4.

5.1.1 Changements pour lesquels l'apport du modèle est limité

Certains changements sociétaux, pouvant résulter d'innovations sociales ou technologiques, ne sont pas précédés de prémisses ou de traces visibles avec une signification statistique dans la société actuelle ou passée, voire émergent *ex nihilo*. Face à de tels changements, le principe de mimétisme retenu atteint ses limites. Parmi les hypothèses que nous avons testées, celle du développement de la mobilité virtuelle du scénario « *digital society* » se rapproche de ce cas. Si certaines pratiques liées à l'essor des télécommunications sont ancrées depuis longtemps dans les usages (p. ex. conversation téléphonique, achat à distance), d'autres étaient émergentes au moment de la réalisation de l'enquête nationale transport et déplacement (2008) qui constituait le support de travail

¹⁰⁹ Nous ne parlerons pas ici de paradigme de par l'absence d'éléments épistémologiques et théoriques [d'après la définition utilisée, un paradigme est « un ensemble d'éléments épistémologiques, théoriques et conceptuels, cohérents, "qui servent de cadre de référence à la communauté des chercheurs de telle ou telle branche scientifique" (Kuhn, 1962) » (Mucchielli, 1995)].

principal sur ces questions. Ainsi en 2008, le télétravail est encore peu courant (bien que le travail à domicile ne soit pas rare) et la place de l'e-commerce, alors dans une phase de croissance forte, est encore loin de celle qu'il occupera quelques années plus tard. Les conséquences de ce type de pratiques sur la mobilité individuelle sont alors difficilement détectables dans l'enquête faute de l'existence, au sein de la population, d'un échantillon représentatif à analyser. Les conséquences systémiques de telles pratiques ne sont pas non plus identifiables et s'avèrent, elles aussi, particulièrement difficiles à représenter à partir du principe de modélisation retenu. Plusieurs options étaient toutefois envisageables pour simuler les conséquences de leur généralisation sur la mobilité. La première – et celle que nous avons retenue – consiste à intervenir directement sur les matrices de fréquence de déplacement pour les motifs répertoriés, en s'appuyant éventuellement sur d'autres sources d'information sur le sujet (p. ex. Aguilera et al., 2016; Misra et Stokols, 2012). Dans ce cas, la méthode est équivalente à une approche comptable où les paramètres sont définis « manuellement » (cf. modèles de comptabilité) et le principe de mimétisme n'apporte pas de réelle plus-value. Une seconde option (plus spécifiquement pour le télétravail) aurait consisté à analyser les pratiques de mobilité des individus travaillant à domicile ou à temps partiel et de s'en inspirer pour représenter d'éventuels reports de mobilité, ou une éventuelle influence sur la localisation telle qu'évoquée par la littérature (p. ex. Falch, 2012). Cette option, qui repose sur une approximation, s'appuie alors davantage sur les fondements du modèle proposé, à savoir son formalisme et les enquêtes.

La problématique est comparable pour deux autres hypothèses du scénario « *collective society* » : la contraction de l'espace de vie et la modification de l'attitude à l'égard du travail. Pour la première hypothèse, nous avons retenu une intervention directe sur les valeurs de la matrice (fréquence des déplacements par tranche de distance) qui s'apparente à une approche purement comptable. En valorisant davantage le formalisme du modèle et le principe de mimétisme, une autre option aurait consisté à s'inspirer pour chaque segment d'individu des pratiques de ceux qui ont aujourd'hui des trajets quotidiens plus courts. Toutefois, au regard des bouleversements systémiques que devraient induire cette hypothèse en termes d'organisation de l'espace, des activités, – éléments qui ne sont pas représentés explicitement dans le modèle – aucune de ces solutions ne peut être pleinement satisfaisante. Le même constat peut être effectué pour la réduction de la place du travail dans l'organisation du temps. Si l'observation de catégories de population à temps partiel peut servir à proposer une approximation de certains changements (p. ex. usage du temps libre, niveau de vie), les changements systémiques induits (p. ex. sur l'économie, sur l'organisation du temps social) sont plus difficiles à appréhender à l'aide du modèle proposé.

Nous le voyons, lorsque les pratiques futures envisagées n'ont que peu ou pas d'équivalent dans les pratiques actuelles et passées et lorsqu'elles ont des conséquences systémiques, la plus-value du principe sur lequel repose le modèle proposé est restreinte. Sans l'appui d'approches complémentaires, son apport pour simuler des scénarios d'émergence et la

généralisation de technologies transformatrices est donc *a priori* limité. Il en est ainsi d'hypothèses envisagées dans le scénario « individu augmenté » du projet PROMOV (Emelianoff et al., 2013) – où les robots sont omniprésents et où le recours à des prothèses pour améliorer les performances individuelles devient commun – ou de la perspective annoncée d'une diffusion massive des voitures autonomes par exemple. En réalité, face aux changements de nature systémique, il est commun que les modèles atteignent leurs limites, quand ce n'est pas le principe même d'une modélisation qui est mis en échec. Dans ce cas, le recours à une démarche prospective de type qualitative et à l'édification d'un récit pourra s'avérer plus éclairant.

5.1.2 Changements pour lesquels l'usage du modèle est porteur

Certains changements – qui peuvent être de nature disruptive ou de grande amplitude – ont au contraire des caractéristiques tout à fait observables dans la situation actuelle ou dans le passé. Le vieillissement de la population en constitue un exemple. Ce changement consiste, en première approximation, à modifier la structure des âges de la population, c'est-à-dire les effectifs d'hommes et de femmes de chaque âge. Or, sauf à envisager un allongement très important de la durée de vie¹¹⁰, des individus appartenant à chaque tranche d'âge vivent actuellement et nous avons accès aux caractéristiques de leurs comportements. Par exemple, un enfant de huit ans se rend généralement à l'école les jours de semaine, un individu de quatre-vingts ans doit composer avec des limites physiques, voire cognitives, qui contraignent ses activités. Ainsi dans l'exemple du vieillissement, le principe de mimétisme sous-jacent au modèle développé est *a priori* davantage porteur.

L'évolution des pratiques de cohabitation constitue un cas comparable. Que nous envisagions une hypothèse tendancielle (baisse du nombre de ménages liée au vieillissement de la population et à l'évolution des mœurs) ou non (p. ex. normalisation du mode de vie en solo ou au contraire des modes d'habitat partagé), la plupart des structures de ménages envisageables sont actuellement relativement courantes (taille, nombre d'adultes et d'enfants). Leurs pratiques caractéristiques peuvent donc être observées et, selon une hypothèse de reproduction des comportements, servir de base à la simulation de pratiques futures. C'est aussi sur ce principe que nous avons simulé deux autres hypothèses formulées dans les scénarios testés et présentés dans le chapitre 4 : l'évolution de la localisation des ménages et celle de la distribution des revenus. Bien que l'hypothèse de reproduction des comportements constitue à chaque fois une approximation, elle a le mérite d'offrir un support à la simulation allant au-delà de l'approche purement comptable.

Une version légèrement adaptée de ce principe a été appliquée pour deux autres hypothèses : les hypothèses d'équipement en appareils électriques et électroniques et de pratiques du voyage de loisir. Là encore, les pratiques que nous souhaitions simuler étaient

¹¹⁰ Ce qui est envisagé dans le scénario individu augmenté du projet PROMOV (Emelianoff et al., 2013).

présentes au sein de la population actuelle. Mais cette fois, plutôt que les effectifs des groupes, ce sont les pratiques de chaque groupe qui ont été modifiées en s'inspirant de celles du groupe le plus représentatif de la tendance que l'on souhaite simuler. Le principe de mimétisme est alors appliqué au sein de la population et sert le réalisme de l'hypothèse. L'approximation consiste à considérer que puisqu'une part significative de la population atteint ce niveau d'équipements ou cette fréquence de voyages de loisirs, d'autres peuvent s'en approcher, tout en étant partiellement « retenus » par leurs propres contraintes ou opportunités. La segmentation de la population adoptée dans le formalisme proposé facilite alors ce type de transcription d'hypothèse.

Dans ces différents cas, l'hypothèse de reproduction de tout ou partie des structures actuelles ou passées et le principe de mimétisme apportent une solution à la simulation de changements. Ce principe comporte toutefois des limites que nous pouvons illustrer par un exemple relatif au vieillissement de la population. Les projections de Cazenave-Lacroutz et Godet (2016) envisagent une poursuite de l'allongement de la durée de vie des individus sans incapacité sévère dans les décennies à venir (avant stabilisation). Dans ce cas, la proportion d'individus de plus de 75 ans dont les activités de sociabilité ou la mobilité ralentissent pourrait diminuer et il deviendrait moins pertinent de calquer les pratiques de cette catégorie de population sur ses pratiques actuelles ou passées. Il en est de même pour l'influence de l'effet génération sur les comportements. Cet effet peut conduire à des comportements différents à un même âge pour des générations différentes.

Face à ce type de dynamique, deux solutions peuvent être envisagées. La première est l'usage de *séries temporelles* de matrices permettant d'identifier des tendances à l'œuvre et d'utiliser les dynamiques passées pour construire les matrices futures (cf. transformation de matrice selon une approche forecasting, illustrée dans la partie 3.3.4, p.155). Plutôt qu'une hypothèse de reproduction des comportements, l'hypothèse sous-jacente porte sur la dynamique d'évolution des comportements (p. ex. hypothèse d'évolution linéaire). La seconde est de considérer un mimétisme avec une autre catégorie de population actuelle (dans ce cas, une catégorie de population équivalente mais plus jeune). Cette seconde option peut dans ce cas être étayée par la littérature (pour l'influence de l'effet génération sur la consommation, cf. p. ex. l'analyse rétrospective par génération des dépenses des ménages en France réalisée par Recours *et al.* (2008), ou l'étude de la possession de voiture en Allemagne par Büttner et Grübler (1995)). Nous avons appliqué cette solution dans un autre exercice de scénarisation réalisé afin de simuler une hypothèse de recul de l'âge légal de départ à la retraite de 60 à 70 ans (les pratiques de mobilité d'un individu de 65 ans s'apparentent alors à celles d'une personne de 55 ans actuellement)¹¹¹.

¹¹¹ Dans la pratique, cette méthode consiste à modifier la segmentation obtenue pour l'élaboration de matrices de corrélations relatives à l'attribution des situations (p. ex. retraité, étudiant, actif ayant un emploi). Dans l'exemple cité, les bornes d'âge des segments appropriés ont été modifiées.

5.1.3 Quels apports pour quels scénarios ?

À l'issue du chapitre 2, nous exprimons l'intention que notre contribution permette l'élaboration de scénarios exploratoires (« *que peut-il se passer ?* », voir typologie de Börjeson et al. (2006)). Nos choix méthodologiques ont donc été guidés par ce but. Au chapitre 4, nous avons présenté un exercice où étaient élaborés un scénario témoin (prolongement de tendances ou maintien de la situation actuelle) et deux scénarios exploratoires. L'aboutissement de cet exercice démontre que l'approche proposée permet effectivement de simuler des scénarios exploratoires, au sens où des changements relativement prononcés et contrastés ont pu être étudiés. Toutefois, comme nous l'avons vu dans les deux parties précédentes, l'apport du modèle développé pour étudier les différentes facettes de ces scénarios dépend des types de changements effectivement envisagés. La plus-value du principe de modélisation proposé semble particulièrement évidente pour explorer des contrastes sur des dimensions des modes de vie telles que les comportements démographiques, les pratiques de cohabitation ou de localisation des ménages. Sur ce dernier point en particulier, le modèle proposé offre la possibilité d'une approche quantitative à l'échelle nationale, quand les approches de cette question sont généralement locales ou non quantifiées dans les modèles énergétiques nationaux¹¹². Nous reparlerons toutefois de ses limites dans la partie 5.2.3.

Bien que ce n'était pas nécessairement l'objectif prioritaire, le paradigme sur lequel repose le modèle semble particulièrement adapté à l'élaboration de scénarios que Börjeson et al. (2006) nomment *prédictifs* (« *que va-t-il se passer ?* »), et qui correspondent à des projections tendanciennes souvent consacrées à des horizons moins lointains. Sans aller jusqu'à une ambition de prédiction, nous plaçons dans cette catégorie les scénarios qui étudient un prolongement des tendances actuelles sans discontinuité. L'usage du modèle proposé associé à une transformation des matrices de corrélations selon une approche de type *forecasting* est tout à fait approprié pour l'élaboration de ce type de scénarios. Dans ce cas, chaque matrice de la situation future peut être construite sur la base des tendances d'évolutions passées. L'interprétation des dynamiques observées (p. ex. dynamique de croissance, courbe de saturation) permet de proposer de nouvelles matrices pour les périodes suivant la période de référence. Sur ce principe, il est possible de définir un "cône" de scénarios résultant de la poursuite des tendances (dont les interprétations peuvent varier). Le formalisme de modélisation est également approprié à l'élaboration de scénarios « toutes choses égales par ailleurs », qui peuvent être utilisés comme scénarios *témoin*. Ce type de scénario permettra par exemple de simuler l'influence de paramètres relatifs aux modes de vie pris isolément (p. ex. vieillissement de la population, localisation des ménages).

¹¹² La structure de modélisation développée dans le cadre du projet ETHEL proposait également une solution mais celle-ci n'a, à notre connaissance, guère été utilisée dans l'élaboration de scénarios nationaux par la suite.

En revanche, l'apport du modèle est moins immédiat pour l'élaboration de scénarios normatifs (« *comment cette cible peut-elle être atteinte ?* »). Pour ce type de scénario, et comme le note Börjeson et al. (2006), les modèles d'optimisation sont particulièrement appropriés. Éventuellement, le modèle pourra être utilisé pour élaborer ce type de scénario par tâtonnement et simulations successives mais pas, par exemple, pour déterminer le chemin présentant le meilleur compromis coût-efficacité pour parvenir à la cible.

5.2 REFLEXION SUR L'USAGE DES ENQUETES COMME SUBSTRAT

Les enquêtes nationales de l'Insee constituent le matériau de base du formalisme de modélisation proposé. Dans cette section, nous proposons de discuter des conséquences de la mobilisation de ce matériau sur le modèle et son usage. Nous examinerons en particulier les dimensions des modes de vie que les enquêtes permettent d'étudier, et les conséquences sur la capacité de simulation du modèle. Cette analyse nous donnera alors l'occasion d'expliquer que certaines dimensions des modes de vie n'ont pas fait l'objet d'hypothèses d'évolution dans les trois scénarios présentés dans le chapitre 4 (cf. aussi Tableau 47 ci-après). En effet, au-delà du choix de ne pas surcharger l'exercice et de privilégier les dimensions les plus structurantes des modes de vie ou les plus influentes sur la consommation d'énergie, le contenu des enquêtes a également imposé certaines restrictions.

5.2.1 Limites liées aux informations disponibles sur les pratiques

La première limite potentielle liée à l'usage des enquêtes résulte de l'absence de variables représentatives de certaines pratiques dans les enquêtes étudiées. Comme l'illustre le Tableau 47, toutes les dimensions peuvent être étudiées par plusieurs variables caractéristiques. En particulier, les dimensions dont la portée temporelle est quotidienne à annuelle et qui n'ont que partiellement été traitées dans l'exercice peuvent être abordées par des variables relatives à la durée et à la fréquence de pratique (usage de la ressource « temps » selon notre cadre conceptuel), aux dépenses allouées (usage de la ressource « argent »), ou aux lieux de réalisation (proxy de l'usage de la ressource « mobilité »). Il est donc en principe possible de simuler l'évolution de ces pratiques selon le principe de modélisation développé. Dans la pratique, un examen plus précis de l'adéquation des informations apportées par les variables avec les informations requises dans le cadre d'un exercice de simulation des usages futurs met toutefois en évidence plusieurs limites.

Tableau 47 : Dimensions des modes de vie prises en compte dans l'exercice de prospective présenté au chapitre 4 (cases cochées) et exemples de variables issues des enquêtes nationales pour les quinze dimensions des modes de vie.

		DIMENSION DES MODES DE VIE PRISES EN COMPTE		EXEMPLES DE VARIABLES
Dimensions à caractère annuel à pluriannuel		Comportements démographiques	X	Âge, genre
		Pratiques de cohabitation	X	Taille du ménage, nombre d'adultes, nombre d'enfants, vie en couple de la personne de référence, mode de cohabitation, ...
		Choix des modalités d'habitation	X	Tranche de taille de l'unité urbaine, type de logement, statut d'occupation (p. ex. propriétaire), catégorie d'aire urbaine, ...
		Pratiques d'équipements et rapport aux technologies	X	Nombre de voitures du ménage, possession d'un réfrigérateur, d'un lave-linge, d'un lave-vaisselle, nombre d'ordinateurs possédés, ...
		Niveau de vie, revenus et distribution, comportements financiers	X	Revenus simulés par unité de consommation, décile de revenus simulés par unité de consommation, ...
		Attitude à l'égard du travail	X	Situation professionnelle, temps partiel, temps de travail, lieu de travail, ...
Dimensions à caractère quotidien à annuel	Transver-sales	Pratiques de mobilité et rapport à l'espace	X	Nombre de déplacements par motif (jour de semaine, samedi, dimanche), distance de déplacements (par motif, etc.), possibilité de travail à distance, moyen de transports utilisés, ...
		Pratiques de consommation	X*	Lieu d'achat (type de magasin), structure de consommation (part par poste), volumes de consommation, ...
	Non transver-sales	Pratiques alimentaires		Volumes d'achats par catégorie de produits, part de repas hors domicile (multiples variables), ...
		Pratiques de sociabilité		Temps ou fréquence des activités consacrées à la sociabilité, lieux de réalisation de l'activité (p. ex. hors domicile, télécommunications), ...
		Pratiques culturelles et loisirs		Temps ou fréquence des activités consacrées aux loisirs et à la culture par type, lieux de réalisation de l'activité, dépenses allouées, ...
		Pratiques relatives à la santé, attitudes à l'égard du corps		Temps des activités consacrées à ces pratiques, lieux de réalisation de l'activité, types de dépenses dédiées, ...
		Pratiques touristiques et du voyage de loisir	X	Fréquence et durée des séjours, destinations des séjours, types d'hébergements occupés, dépenses réalisées, disposition d'un logement secondaire, ...
		Participation(s) citoyenne(s), engagement politique		Type d'activités réalisées, temps des activités consacrés à ces activités, lieux de réalisation de l'activité, ...
		Pratiques d'éducation et de formation		Type d'activités réalisées, temps des activités consacrées à l'éducation et à la formation, diplôme obtenu, catégories socio-professionnelles, ...

*Cette dimension fait l'objet d'hypothèses sur les lieux d'achats (davantage d'e-commerce dans « digital society », achats de proximité dans « collective society ») mais pas sur la structure de consommation ni sur le rapport à la consommation.

Nous illustrerons ces limites par la problématique de la consommation de biens et services. Notre intention initiale était d'intégrer pleinement cette problématique dans notre approche étant donné la moindre attention qui lui est portée dans la littérature (par rapport aux postes « mobilité » et « habitat »). Finalement, nous l'avons abordée de manière partielle dans l'exercice à travers la demande en un ensemble de biens durables

emblématiques (sept catégories). Cette problématique correspond à la fois à la dimension transversale « pratiques de consommation » et à plusieurs dimensions à portée quotidienne à annuelle que nous n'avons pas traitées (en particulier « pratiques alimentaires », « pratiques culturelles et de loisirs », « pratiques relatives à la santé et attitudes à l'égard du corps »).

Ainsi, l'examen détaillé des variables disponibles dans l'enquête budget des ménages montre une absence d'informations pertinentes pour étudier certains changements, tels que ceux qui mènent à une consommation à faible impact environnemental dont le Tableau 48 expose certains principes. Le principe de réduction de l'impact environnemental des biens et services achetés en est un premier exemple. En effet, si des données de dépenses sont disponibles à un niveau relativement désagrégué en termes de type de biens et de services (p. ex. 71 types de biens durables distingués, nomenclature de plus de 300 catégories de produits), elle ne fournit aucune information relative à la qualité des produits ou à leurs modalités de fabrication et d'acheminement (p. ex. matériaux utilisés, éco-conception, origine du produit). Ainsi, un modèle élaboré à partir de l'enquête budget des ménages ne sera *a priori* pas sensible à une hypothèse de diffusion de pratiques de consommation responsable (p. ex. 30% des produits alimentaires issus de l'agriculture biologique, achat de biens artisanaux fabriqués à partir de matériaux locaux). Seules des hypothèses ayant pour conséquences des substitutions d'achats entre différentes catégories de produits peuvent être véritablement simulées, ce qui n'est toutefois pas nécessairement dénué d'intérêt (p. ex. hypothèse d'une baisse de l'alimentation carnée au profit d'autres types de produits alimentaires).

Tableau 48 : Quelques principes et mesures d'une consommation à faible impact environnemental (voir aussi [ADEME, 2014])

PRINCIPES DE CONSOMMATION RESPONSABLE	MESURES DE CONSOMMATION ASSOCIEES (NON EXHAUSTIF)
Réduire l'impact environnemental des biens et services achetés	Acheter des produits locaux, acheter des produits alimentaires de saison, préférer les produits écoconçus, rééquilibrer les régimes alimentaires
Augmenter la durée de vie des biens	Acheter des produits de qualité et non jetables, réparer les biens lorsque c'est possible, vendre/acheter ou échanger ses biens à d'autres particuliers
Augmenter l'intensité d'usage des biens	Acheter collectivement et mutualiser certains équipements, recourir à la location ou l'emprunt plutôt qu'à l'achat, proposer à la location ou au prêt ses équipements, choisir des appareils électroniques multi-usages plutôt que des appareils dédiés à chaque usage
Éviter le gaspillage alimentaire et non alimentaire	Veiller sur les dates de péremption, favoriser les activités valorisant les produits non calibrés pour la consommation

De même, les enquêtes n'apportent pas d'information précise relative à la durée de vie des biens durables. Si l'enquête budget des ménages permet de suivre la consommation de services de réparation (p. ex. véhicules, habillement), le lien ne peut être établi que très

indirectement et exploiter cette information nécessiterait des investigations supplémentaires (hors du champ de l'enquête)¹¹³.

Enfin le principe de l'intensité d'usage des biens et celui du gaspillage ne peuvent être que partiellement analysés à partir de l'enquête budget des ménages. Des variables permettent par exemple d'étudier le choix de biens électroniques multi-usage plutôt que plusieurs biens spécifiques (p. ex. tablette au lieu d'appareil photo, ordinateur et liseuse). L'enquête utilisée permet aussi de mesurer les effets de la mutualisation d'équipements à l'échelle des ménages, possibilité que nous avons exploitée dans nos scénarios. En revanche, les variables disponibles offrent une information généralement insuffisante pour aborder les pratiques de consommation collaborative (hors ménage) ou des comportements de limitation du gaspillage. De la même façon que pour la durée de vie, des coefficients relatifs pourraient être utilisés mais d'autres sources que les enquêtes que nous avons utilisées seraient nécessaires pour étayer une hypothèse.

Ces différentes limites de l'enquête budget des ménages constituent finalement l'une des principales raisons de l'étude restreinte de la problématique de la consommation de biens et services dans les scénarios proposés. Il s'agit, de notre point de vue, d'une limite notable de l'exploitation des enquêtes nationales, étant donnée l'importance de la problématique de la consommation de biens et services en termes de consommation d'énergie et de caractérisation des modes de vie¹¹⁴. Notons que deux raisons supplémentaires ont également joué sur le choix d'une étude restreinte. D'une part, les pratiques en question sont représentées par des variables qui apparaissent en « bout de chaîne » dans le processus de simulation, ce qui limite l'intérêt du principe de modélisation par rapport à une approche comptable. D'autre part et spécifiquement pour la problématique des pratiques alimentaires, la capacité de l'un des modèles utilisés en aval à tenir compte de modifications de la composition du régime alimentaire limitait l'intérêt d'explorer des hypothèses de changement que l'enquête permettait d'envisager. C'est en particulier le cas d'une hypothèse de substitution de protéines végétales par des protéines animales, alors que les émissions de gaz à effet de serre non énergétiques n'étaient pas considérées dans l'exercice (les émissions du secteur agricole, et en particulier de l'élevage sont en effet en grande partie non énergétiques).

5.2.2 Limites liées à la combinaison d'enquêtes

La seconde limite potentielle est liée à l'usage de plusieurs enquêtes indépendantes et aux possibilités offertes par leur combinaison. En effet, l'analyse des corrélations (et donc la

¹¹³ Signalons que la simulation d'hypothèses relatives à la durée de vie des produits peut aussi être réalisée, comme c'est le cas dans le modèle MODESTE (Briens, 2015), à partir de coefficients d'évolution relative des durées de vie (rapport de la durée de vie future d'un produit sur sa durée de vie actuelle).

¹¹⁴ Notons qu'il est possible que certaines modalités de consommation émergentes pourraient être davantage étudiées dans de prochaines éditions de l'enquête.

construction de matrices de corrélations) n'est possible qu'entre des variables d'une même enquête. Or, comme nous l'avons vu avec le Tableau 18 (partie 3.1.1, p. 121) que nous reprenons ci-dessous (Tableau 49, légèrement adapté), certaines informations (et donc variables) sont communes à toutes les enquêtes et d'autres non. Les variables relatives aux dimensions les plus structurantes en particulier font partie de la première catégorie. Nous en déduisons qu'il sera généralement possible d'établir un lien entre tout type de pratique et les pratiques de cohabitation ou le choix des modalités d'habitation par exemple. En revanche, il ne sera pas possible d'établir un lien direct entre les pratiques de consommation et les activités pratiquées¹¹⁵ par exemple.

Tableau 49 : Disponibilité de variables pour les différentes dimensions des modes de vie. NB : La police rouge dans la dernière colonne signale les dimensions les plus structurantes des modes de vie.

	Enquêtes					Dimensions correspondantes
	Enquête emploi du temps	Enquête logement	Enquête nationale transport et déplacements	Enquête budget de familles	Recensement de la population	
Qui sont-ils ?	+++	+++	+++	+++	+++	Comportements démographiques, niveau de vie et revenus, attitude à l'égard du travail
Où vivent-ils ?	+++	+++	+++	+++	+++	Choix des modalités d'habitation (1)
Avec qui vivent-ils ?	++	++	++	++	+++	Pratiques de cohabitation
Comment se logent-ils ?	+	+++	+	+	++	Choix des modalités d'habitation (1)
Que possèdent-ils ?	++	+	+	+++	+	Pratiques d'équipement et rapport aux technologies
Comment se déplacent-ils ?	+		+++	+	+	Pratiques de mobilité et rapport à l'espace (1)
Que font-ils ?	+++		++	+		Attitude à l'égard du travail (2), pratiques culturelles et loisirs, pratiques alimentaires, pratiques de sociabilité, pratiques relative à la santé, attitudes à l'égard du corps, pratiques d'éducation des enfants et de formation, implications citoyennes
Où le font-ils ?	+++		+++			Pratiques de mobilité et rapport à l'espace (2)
Comment voyagent-ils ?			+++	++		Pratiques touristiques et du voyage de loisir
Que consomment-ils ?				+++		Pratiques de consommation

¹¹⁵ L'information disponible sur les activités pratiquées dans l'enquête budget des ménages, accessible à travers des postes de consommation, est en effet incomplète et peu précise.

Cette observation a eu plusieurs conséquences concrètes sur l'élaboration des trois scénarios testés. En effet, la population peut être caractérisée par un socle de variables relatives aux dimensions structurantes des modes de vie dont la plupart sont communes à toutes les enquêtes. C'est ce socle qui assure la cohérence de la description du système, en constituant l'un des atouts. La plupart des variables d'intérêt (p. ex. nombre de trajets quotidiens par motif, volume d'équipements électroménagers achetés) arrivent en revanche « en bout de chaîne » et sont généralement disponibles au niveau de détail souhaité dans une seule enquête. Par construction, la formulation d'hypothèses relatives à ces dimensions n'a donc généralement pas d'influence sur les autres variables d'intérêts, sauf lorsque celles-ci font partie d'une même enquête (p. ex. surface de logement et indice de consommation d'électricité spécifique dans l'enquête logement).

C'est la raison principale qui nous a poussé dans l'exercice présenté dans le chapitre 4 à ne pas utiliser l'enquête emploi du temps puisqu'aucune de ses variables n'a été mobilisée pour construire des indicateurs d'usages énergétiques (*i.e.* utilisées en tant que variables d'intérêt¹¹⁶). En effet, alors que notre « vision du monde » nous aurait incité à placer les variables caractéristiques de l'usage du temps juste après la plupart des variables des dimensions structurantes et en amont des variables caractéristiques de la mobilité ou des pratiques d'équipements par exemple, le fait qu'elles ne pouvaient influencer directement les variables ultérieures ôtait l'intérêt de cette exploitation. Les conséquences de changements relatifs à l'usage du temps, au rapport au temps ou au rapport à l'espace ont finalement été abordées exclusivement à partir de l'enquête nationale transport et déplacements. Signalons que l'enquête *ad hoc* sur laquelle repose l'étude de Tabbone et al. (2016) permet de dépasser ce problème puisqu'une enquête unique comprenait à la fois des données d'usage du temps, des données relatives aux dimensions structurantes des modes de vie (y c. à l'habitat) et des données relatives à la mobilité des individus.

Mentionnons enfin que ces limites liées à l'usage des enquêtes restreignent finalement la capacité d'adaptation du modèle aux scénarios envisagés. En effet, nous évoquons dans la partie 2.3.2 portant sur les grandes orientations du modèle, le projet de proposer un principe et un dispositif de modélisation plutôt qu'un modèle figé. Dans ce cadre, un modèle correspond au choix d'une ou deux suites de variables adaptées à l'esquisse des scénarios d'un exercice donné. En ce sens, l'exercice présenté dans le chapitre 4 s'appuie sur un modèle. Toutefois, cet exercice et ce modèle exploitent finalement une grande partie de la capacité de simulation de dimensions du dispositif de modélisation proposé. La flexibilité recherchée est donc rendue possible par la richesse des enquêtes nationales mais rencontre également ses limites du fait de leurs périmètres d'investigation.

¹¹⁶ Signalons que cela aurait pu être le cas car certaines études (p. ex. (Santiago et al., 2013; Widén et al., 2009)) emploient effectivement ce type d'enquête pour étudier la durée d'usage de certains équipements électriques (p. ex. télévision) ou les temps d'occupation du logement. Nous avons choisi pour notre part d'aborder cette problématique partiellement et de manière agrégée à travers un indice de consommation d'électricité spécifique.

5.2.3 Limites conceptuelles du périmètre des enquêtes

Notre parti-pris a consisté à proposer une représentation de la population et de ses modes de vie à partir de leur trace visible : les pratiques et les attributs des individus et des ménages. L'analyse des corrélations entre les variables relatives à ces pratiques et ces attributs à l'aide des enquêtes nationales permet d'identifier des relations d'influence (p. ex. les pratiques de localisation ou l'âge influent sur les pratiques de mobilité). Toutefois, les décisions relatives aux pratiques sont également influencées par d'autres composantes, tels que le contexte ou les valeurs propres à chaque individu. Afin d'analyser la manière dont l'usage des enquêtes permet d'appréhender ces composantes, nous proposons d'étudier le processus de décisions relatives aux modes de vie (pour quelques exemples de décisions, voir Tableau 50).

Tableau 50 : Exemples de décisions relatives aux différentes dimensions des modes de vie à l'échelle individuelle.

DIMENSION	EXEMPLES DE DECISIONS (individu/ménage)
<i>Comportements démographiques</i>	Décision d'avoir un enfant
<i>Pratiques de cohabitation</i>	Décision d'emménagement avec le ou la conjoint(e)
<i>Choix des modalités d'habitation</i>	Décision de déménagement
<i>Pratiques d'équipements et rapport aux technologies</i>	Décision d'achat d'un véhicule
<i>Niveau de vie, revenus et distribution, comportements financiers</i>	Décision de démission pour un emploi mieux rémunéré
<i>Attitude à l'égard du travail</i>	Décision de travail à mi-temps
<i>Pratiques de mobilité et rapport à l'espace</i>	Décision de se rendre au travail à vélo plutôt qu'en bus
<i>Pratiques de consommation</i>	Décision de changer de magasin pour les achats alimentaires
<i>Pratiques alimentaires</i>	Décision de manger plus régulièrement hors domicile
<i>Pratiques de sociabilité</i>	Décision de se rendre tous les dimanches au thé dansant
<i>Pratiques culturelles et loisirs</i>	Décision de pratiquer le théâtre
<i>Pratiques relatives à la santé, attitudes à l'égard du corps</i>	Décision de fréquenter une salle de sport
<i>Pratiques touristiques et du voyage de loisir</i>	Décision du prochain lieu de vacances d'été
<i>Participation(s) citoyenne(s), engagement politique</i>	Décision de devenir bénévole dans une association de solidarité
<i>Pratiques d'éducation et de formation</i>	Décision de suivre une formation en cuisine

a) *Préambule : cadre conceptuel des décisions relatives aux modes de vie*

Les différents cadres d'analyse de la décision examinés au cours de nos travaux ainsi que les réflexions menées sur la notion de mode de vie nous conduisent à proposer le cadre conceptuel représenté par la Figure 72, mettant en relation de grands blocs entrant en jeu dans le processus de décision relative aux modes de vie.

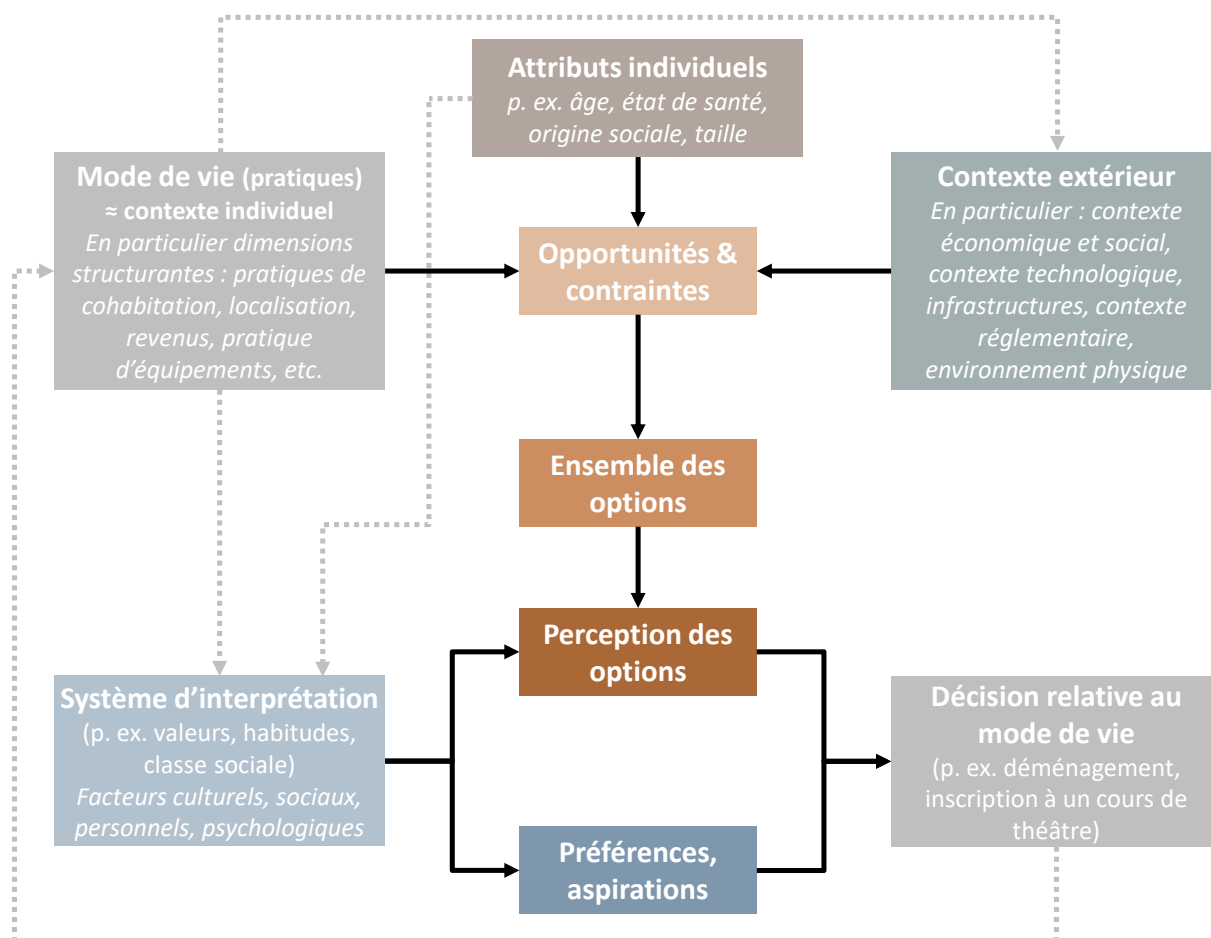


Figure 72 : Proposition de cadre conceptuel de décision relative aux modes de vie.

Le bloc des « modes de vie », que nous restreignons ici à leur dimension pratique en excluant les représentations (cf. définition du chapitre 1) décrit la situation de l'individu (ou du ménage) résultant de décisions antérieures relatives au mode de vie. Toutes les dimensions des modes de vie sont concernées bien que celles que nous avons qualifiées de structurantes soient *a priori* les plus influentes. Les choix antérieurs relatifs aux modes de vie génèrent alors des opportunités et contraintes qui seront déterminantes pour la décision. Ces opportunités et contraintes peuvent être exprimées en partie relativement aux ressources identifiées (temps, argent, mobilité), mais pas uniquement. Le Tableau 51 illustre de possibles opportunités et contraintes pour l'exemple du choix d'un logement par un couple, exemple qui servira d'illustration à la présentation du cadre conceptuel.

Tableau 51 : Exemples d’opportunités et contraintes associées à des dimensions des modes de vie dans le cadre d’une décision de choix d’un logement pour un couple.

	Opportunités	Contraintes
Niveau de vie, revenus et distribution, comportements financiers	Revenus du ménage définissant une fourchette de budget qui peut être consacré au logement	
Attitude à l'égard du travail	-	Travail quotidien dans le centre-ville pour les deux membres du ménage
Pratiques d'équipements et rapport aux technologies	-	Pas de voiture à disposition
Pratiques de mobilité et rapport à l'espace	Individus particulièrement mobiles	-

Le second bloc est celui des attributs individuels, que l’on distingue du précédent essentiellement par le fait que ces attributs ne résultent majoritairement pas de décisions immédiates. Les attributs tels que l’âge, l’état de santé ou l’origine sociale par exemple, sont également à l’origine d’opportunités et de contraintes. C’est par exemple le cas d’une bonne forme physique des deux membres du ménage permettant d’envisager d’habiter un immeuble sans ascenseur.

Le troisième bloc est celui du contexte extérieur (à l’individu ou au ménage). Il joue également sur l’ensemble des opportunités et des contraintes intervenant lors d’une décision relative aux modes de vie. Nous incluons dans ce bloc le contexte économique et social (p. ex. dynamisme économique local), le contexte technologique (p. ex. 85% des individus équipés de *smartphone*), les infrastructures existantes (p. ex. réseaux de transport, parc de logements), le contexte réglementaire (p. ex. loi relative aux 35 heures) et l’environnement physique (p. ex. relief, climat). Les politiques publiques constituent une composantes de ce bloc qui peut influencer les autres composantes et donc indirectement l’ensemble des opportunités et contraintes. Notons que le contexte relationnel (qui influe également le système d’interprétation) peut également être inclus ici. Le Tableau 52 donne des exemples d’opportunités et de contraintes associées à ce bloc.

Tableau 52 : Exemples d'opportunités et contraintes associées au contexte extérieur dans le cadre d'une décision de choix d'un logement pour un couple.

	Opportunités	Contraintes
Contexte économique et social	Offres disponibles sur le marché de l'immobilier	Embouteillages quotidiens entre le centre-ville et les territoires alentours
Contexte technologique	Existence <i>via</i> Internet de nombreux services de covoiturage	-
Infrastructures existantes	Réseau de pistes cyclables dense dans le centre-ville permettant une circulation rapide et sûre Réseaux de télécommunication permettant le travail à distance	Pas de réseau de transport en commun efficace depuis l'extérieur de la ville
Contexte réglementaire	Obligation pour l'employeur de fournir une aide au déménagement	-
Environnement physique	Ville sans relief favorable aux modes doux	-

Ces trois « blocs » définissent finalement l'ensemble des options possibles (cf. Figure 72), auquel appartiendra l'ensemble des options dont le ménage ou l'individu aura connaissance. Le Tableau 53 présente cet ensemble d'options pour notre exemple.

Tableau 53 : Liste des options repérées et retenues par le ménage compte tenu des contraintes et opportunités auxquels il a affaire.

	Description	Loyer
Statu quo	Studio de 25 m ² proche du centre-ville et bordé par une route circulante	400€/mois
Option 1	Appartement de 40 m ² dans le même quartier	600€/mois
Option 2	Appartement de 30 m ² dans un quartier calme du centre-ville, à deux pas du lieu de travail des deux membres du ménage	700€/mois
Option 3	Maison nouvelle de 75 m ² à 15 km du centre-ville	550€/mois

Le quatrième bloc est celui du système d'interprétation de l'individu ou du ménage. Ce bloc est composé à la fois de facteurs culturels (p. ex. culture, classe sociale), de facteurs sociaux (p. ex. groupe de référence, famille), de facteurs personnels (p. ex. âge, valeurs) ou encore de facteurs psychologiques (p. ex. affects, mémoires, perception). Il sera influencé par les attributs individuels. Ce bloc est d'une part celui qui guide la perception des options identifiées et d'autre part celui qui définit les préférences de l'individu ou du ménage. Le Tableau 54 fournit des exemples de perceptions et de préférences pour l'illustration proposée.

Tableau 54 : Exemples de perceptions des options et de préférences du ménage dans le cadre de la décision de choix de logement.

	Perceptions	Préférence, aspirations
Facteurs culturels	<i>Le statu quo</i> donne l'impression de conserver le statut d'étudiant alors que les individus sont actifs	Les deux membres souhaitent en priorité (dans l'ordre) : - un lieu de vie calme et sûr, - avoir un logement plus grand, - limiter le nombre de déménagements dans les années à venir, - habiter non loin des amis proches (actuels voisins), - apprendre à jardiner.
Facteurs sociaux	La famille d'un des membres du ménage est hostile à la ville et à l'environnement urbain	
Facteurs personnels	L'option 3 se situe dans un village associé aux valeurs de sécurité chères à l'un des membres du ménage	
Facteurs psychologiques	Bonne impression du quartier de l'option 2 lors de la visite (ensoleillé, calme) Mauvaise image du propriétaire de l'option 1 (personnage antipathique) mais permet de conserver des habitudes	

À l'issue du processus, la décision effectivement prise viendra modifier (ou non) une dimension structurante des modes de vie : le choix des modalités d'habitation du ménage, redéfinissant par la même occasion le système d'opportunités et de contraintes relatif à d'autres décisions (p. ex. pratiques de mobilité, de consommation, de sociabilité) (voir aussi l'exemple de l'Annexe 6) et transformant par conséquent les usages énergétiques. Signalons enfin qu'il existe d'autres interactions entre blocs (représentées partiellement) : la dimension pratique des modes de vie a potentiellement une influence sur le système d'interprétation d'une part (p. ex. engagement citoyen ou pratiques d'éducation qui peuvent modifier les valeurs, la culture) et le contexte extérieur d'autre part, lorsque l'on passe de la dimension individuelle à la dimension collective (p. ex. vote, démographie).

b) Positionnement du modèle par rapport à ce cadre conceptuel

La présentation de ce cadre conceptuel nous permet de situer les informations disponibles dans les enquêtes nationales et les conséquences sur la modélisation proposée. L'usage des enquêtes offre ainsi la possibilité d'une représentation explicite des deux premiers blocs et de leurs conséquences sur la décision, possibilité que nous avons largement exploitée à travers le formalisme adopté¹¹⁷. En revanche, les blocs de contexte extérieur et du système d'interprétation ne peuvent être représentés que par le biais de leurs conséquences sur la décision, sans que les mécanismes à l'œuvre puissent être explicités.

Concernant le contexte extérieur, les enquêtes informent par exemple sur la nature du parc de logements et sa répartition par type d'espace (p. ex. unité urbaine de Paris, commune

¹¹⁷ Notons que toutes les informations relatives à ces deux blocs ne sont pas nécessairement disponibles mais que cela ne constituait pas nécessairement une entrave aux analyses effectuées (p. ex. variable relative à l'état de santé disponible dans certaines enquêtes uniquement mais non utilisée).

rurale) mais n'apporte aucune information sur les mécanismes et dynamiques propres au parc de logements (p. ex. constructions, investissements, politiques d'urbanisation). Il en est de même pour les réseaux de transports dont les évolutions ne peuvent être perçues que par le biais des caractéristiques de la mobilité ou de l'accès à ces réseaux puisque les enquêtes n'apportent pas d'informations sur les spécificités de ces réseaux (p. ex. spatialisation, représentation de leur capacité).

De même, les individus enquêtés ne sont pas directement interrogés sur leur système d'interprétation : les valeurs qu'ils portent, les cultures auxquelles ils considèrent appartenir ou ce qui les meut. Ces éléments peuvent seulement être appréhendés ponctuellement et de manière incomplète. L'un des moyens pour cela est d'exploiter les questions cherchant à éclairer certaines pratiques, questions qui couvrent des champs bien précis. Les enquêtés sont par exemple interrogés sur les raisons de leurs choix de modes de transport, leurs aspirations à changer de logement (qui mettent au jour certaines préférences) ou encore sur ce qu'ils auraient souhaité faire de plus s'ils avaient eu plus de temps libre dans la journée. Un autre moyen possible est d'exploiter certaines variables considérées comme des proxys du système d'interprétation, telles que l'âge, la catégorie socioprofessionnelle ou le niveau de diplôme. Enfin, le dernier moyen est de considérer que le système d'interprétation transparaît dans les pratiques. Dans le modèle proposé, le système d'interprétation est appréhendé à travers ces deux dernières modalités, n'en permettant donc pas une représentation explicite. Signalons que l'enquête exploitée par Ravalet et al. (2016) pour l'élaboration de scénarios d'évolution des modes de vie comprenait des questions destinées à caractériser le système d'interprétation des individus.

Tous les éléments constituant de ces deux blocs ne sont donc pas totalement absents des enquêtes et du modèle mais leur représentation est implicite, puisqu'ils sont caractérisés à travers leurs conséquences sur les pratiques (p. ex. stratégies d'urbanisation représentées à travers l'évolution de la répartition par type d'espace). L'introduction d'hypothèses de changements relatives à ces deux blocs consiste donc à définir de manière exogène leurs conséquences. Nous pouvons citer plusieurs exemples d'hypothèses effectivement formulées ainsi dans l'exercice présenté dans le chapitre 4. Le premier exemple porte sur les hypothèses d'évolution de la valeur de l'individualisme, avec un scénario s'orientant vers un renforcement de cette valeur et un autre vers son déclin, conduisant à privilégier le lien social et les formes d'organisations collectives. Le deuxième exemple est l'évolution de la répartition du parc de logements sur le territoire par type d'espace urbain, fruit de la rencontre d'aspirations des ménages et de l'action des acteurs de la construction de la ville (p. ex. municipalités et regroupements de communes, promoteurs). Le troisième est l'évolution de l'urbanisation et de la répartition des activités sur le territoire dans le scénario « collective society », qui constitue une réponse des acteurs de la construction de la ville à l'aspiration des ménages à une contraction de l'espace de vie. Le quatrième est l'évolution du contexte économique : dans le scénario « digital society », celui-ci permet une hausse

significative des niveaux de vie¹¹⁸ des ménages (par rapport à la situation actuelle) ; dans le scénario « collective society » il conduit à un resserrement des niveaux de vie. Ces hypothèses sont donc formulées de manière exogène et le modèle ne permet pas d'en expliquer ou représenter les mécanismes mais seulement les conséquences.

En conséquence, le modèle ne peut être utilisé pour simuler directement les effets d'une politique publique sur les choix relatifs aux modes de vie. Des politiques d'investissements dans les infrastructures et réseaux de transport en commun (dans tous les territoires), d'instauration d'une taxe carbone, d'intervention sur le marché immobilier ou encore de sensibilisation ou d'éducation qui pourraient modifier le système d'interprétation ne peuvent donc être simulées directement. Leur influence sur les usages énergétiques ne peut être quantifiée qu'à partir d'une détermination exogène de leurs conséquences sur les modes de vie. Les politiques publiques constituent alors la toile de fond de la formulation des hypothèses. Malgré ces limites, le cadre conceptuel défini et les résultats de simulations peuvent alimenter la réflexion sur les politiques publiques et leur rôle sur l'évolution des modes de vie. Nous en proposons une première esquisse dans la section suivante.

¹¹⁸ Cette notion est relative dans notre contexte au coût de la vie, l'indicateur se rapprocherait donc de la notion de pouvoir d'achat.

5.3 REFLEXION SUR L'INFLUENCE DES POLITIQUES PUBLIQUES SUR NOS FUTURS MODES DE VIE

En préambule, rappelons que nous avons identifié dans les exercices de prospective existants trois modalités de considération des modes de vie, révélatrices de trois attitudes bien distinctes¹¹⁹. La première consiste à considérer les modes de vie comme une tendance lourde : ils évoluent dans une direction prédictible et les parties prenantes n'ont pas de prise sur leur devenir. La deuxième modalité consiste à les considérer comme une source d'incertitude majeure : leur évolution est difficilement prévisible et les parties prenantes n'ont pas de prise sur elle. La troisième consiste à considérer les modes de vie comme une composante dont on peut influencer l'évolution. La réflexion que nous proposons de mener implique de se situer dans cette dernière perspective.

Dans cette perspective, Goodall (2010) cible l'initiative individuelle en proposant un guide de recommandations pour des modes de vie bas carbone. Son intention est d'informer pour encourager à l'action en répondant à la question « *que faire à mon échelle pour contribuer à la lutte contre le changement climatique ?* ». Ainsi, il traite dans le détail des questions de choix d'équipements et de technologies appropriées dans le secteur résidentiel et des transports notamment, effectue une revue précise des comportements d'usage de ces équipements (y c. véhicule, logement) ou encore émet des recommandations pour une consommation éclairée de biens et services. Il aborde également plus brièvement la question des usages au sens où nous l'entendons (p. ex. distances parcourues en voiture, taille du logement), en soulignant leur importance mais sans véritablement mettre en avant de solutions autres que la volonté individuelle qui peut parfois entrer en contradiction à cette échelle avec des enjeux de qualité de vie¹²⁰. L'approche que nous avons proposée s'inscrit dans une perspective différente, puisque nous abordons la question à l'échelle de la population et nous penchons avant tout sur les usages à l'origine d'une demande énergétique. Nous pouvons alors nous interroger sur les mécanismes qui peuvent être mobilisés pour influencer les modes de vie à cette échelle, et en particulier sur les politiques publiques.

Il n'existe pas à proprement parler de politiques des modes de vie mais plusieurs champs de politiques sont susceptibles de les influencer. En les explorant brièvement, notre intention est de rappeler que l'atteinte d'objectifs ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre ou de transition énergétique peut aussi passer par des politiques considérées comme hors du champ habituel des politiques énergétiques. En reprenant le cadre conceptuel des décisions relatives aux modes de vie, nous pouvons « cartographier » les différents leviers d'intervention mobilisables (Figure 73). Les politiques publiques peuvent

¹¹⁹ Une quatrième modalité est envisageable mais n'a pas été relevée : les variables relatives aux modes de vie ont une influence négligeable sur les paramètres suivis (p. ex. usages énergétiques).

¹²⁰ Pour en donner un exemple, l'auteur écrit à propos de la recommandation de vivre dans une plus petite maison : "Although very few people would want to make this move, it would be an effective means of cutting personal emissions." (Goodall, 2010).

tout d'abord influencer le contexte extérieur (infrastructures, contexte réglementaire, contexte économiques et social, contexte technologique). Cela peut donc modifier l'ensemble des options d'une part, et leur perception d'autre part. Les politiques publiques peuvent également chercher à agir sur le système d'interprétation et donc indirectement sur les préférences et les aspirations à travers par exemple l'éducation ou des campagnes de sensibilisation. Sur ce sujet, Axon (2017) a proposé une analyse de différents moyens d'interventions en mobilisant des citoyens britanniques (réunis en *focus group*). Ces analyses cherchent à identifier les attentes des citoyens, les raisons qui conduisent à l'inefficacité de modes d'intervention et proposent des pistes de recherches complémentaires.

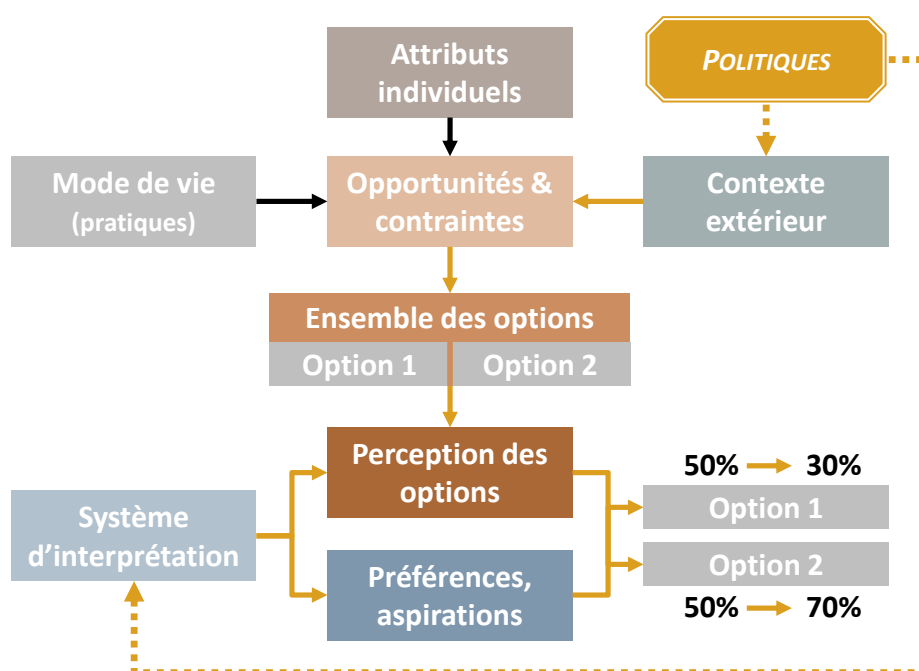


Figure 73 : Cartographie de l'influence possible de politiques publiques. Ici, l'objectif est d'encourager le choix de l'option 2.

Les mesures en question portent plutôt sur l'action individuelle et le secteur énergétique, à l'instar du guide proposé par Goodall (2010), bien que quelques mesures sortent de ce cadre. Dans le Tableau 55, nous proposons quelques exemples d'interventions non directement portées sur le secteur énergétique et relatives à quatre finalités de réduction des usages.

Tableau 55 : Exemples de mesures susceptibles d'influencer les modes de vie pour réduire ou diminuer les usages.

<i>Levier</i>	<i>Type de mesure</i>	<i>Mesure</i>
LIMITER LA SURFACE D'HABITAT PAR PERSONNE		
Mécanisme actif actuellement (qu'il serait souhaitable d'estomper ?)		Contraintes liées au marché immobilier, au niveau de vie
Promotion de l'habitat partagé	Faire connaître les différentes options disponibles	Promotion de l'habitat intergénérationnel
	Sensibiliser et éduquer	Renforcement de l'éducation au vivre ensemble et au faire ensemble
	Modifier la disponibilité des options	Développement des formes d'habitat partagé dans l'habitat social
Améliorer la qualité de vie dans les zones denses	Modifier les critères relatifs aux options	Politiques de réduction du bruit (p. ex. amélioration de l'isolation phonique des logements, résultante de politiques de réduction de la part modale de l'automobile)
	Modifier les critères relatifs aux options	Politiques d'amélioration de la qualité de l'air
	Modifier les critères relatifs aux options	Stimulation de la vie de quartier (petits commerces, espaces publics, animation, etc.)
Faciliter le changement d'habitat pour s'adapter aux différentes étapes du cycle de vie	Modifier les critères relatifs aux options	Mutualisation d'espaces d'accueil des visiteurs (amis, famille)
	Modifier les critères relatifs aux options	Maintien/instauration de taxe décourageant le sous-peuplement
	Modifier les critères relatifs aux options	Réduction des coûts liés aux transactions immobilières
	Modifier le nombre d'options	Développement de bourses aux logements <i>potentiellement</i> libres (annonce "sous condition d'identification d'un nouveau logement")
REDUIRE L'ÉTENDUE DE L'ESPACE DE VIE		
Mécanisme actif actuellement (qu'il serait souhaitable d'estomper ?)		Encombrement du trafic
Améliorer la qualité de vie dans les zones denses	Modifier les critères relatifs aux options	Cf. ci-dessus
Maintenir/renforcer l'accessibilité des services	Modifier la disponibilité des options	Politique du commerce et des services de proximité
	Modifier le nombre d'options	Facilitation du télétravail et développement d'espaces de travail collaboratifs de proximité

	Modifier le nombre d'options	Encouragement des services ambulants lorsque nécessaire (zones peu denses) : marchés, commerces ambulants, services administratifs
	Modifier les critères relatifs aux options	Développement, sécurisation et amélioration de la qualité des réseaux et espaces dédiés aux modes doux
LIMITER LE RECOURS AU TOURISME LOINTAIN		
Mécanisme actif actuellement <i>(qu'il serait souhaitable d'estomper ?)</i>		Coût des voyages les rendant inaccessibles aux plus modestes
Améliorer la qualité de vie dans les zones denses	Modifier les critères relatifs aux options	Cf. ci-dessus
Rendre les destinations proches plus attractives	Modifier les critères relatifs aux options	Investissement dans le secteur touristique en ciblant la clientèle locale
Responsabiliser les usagers	Sensibiliser et éduquer	Déploiement d'applis de type "bilan carbone personnel"
LIMITER L'INTENSITE MATERIELLE DE L'EQUIPEMENT INDIVIDUEL		
Mécanisme actif actuellement <i>(qu'il serait souhaitable d'estomper ?)</i>		Coût des équipements les rendant inégalement accessibles
Accroître l'intensité d'usage par équipement	Modifier le nombre d'options	Développement ou promotion des systèmes d'achat collectif d'équipements à usage occasionnel (p. ex. tondeuse, matériel de bricolage, équipements de cuisine spécifique, véhicule en ville)
Allonger la durée de vie des biens	Modifier le nombre d'options	Promotion des initiatives de réparation, recyclage, réemploi (y c. recycleries, fablab)
	Modifier les critères relatifs aux options	Développement d'agences participatives d'évaluation de la durée de vie des biens

S'agissant des modes de vie il n'existe pas de liste de mesures souhaitables, que l'on peut encourager sans discussion. Au contraire, au premier abord, les politiques publiques devraient refléter une certaine frilosité à l'idée d'influencer les modes de vie au motif du respect de la liberté individuelle et de l'espace privé. Il n'est ainsi pas question d'attribuer au champ politique une vocation prescriptive vis-à-vis des modes de vie. La légitimité de l'action publique dans ce domaine ne se mesurera pas à l'efficacité potentielle d'une mesure (p. ex. une taxe élevée ou une restriction du champ des possibles seront potentiellement très efficaces) mais plutôt à sa capacité à apporter une amélioration de la qualité de vie. Par exemple, plutôt que de contraindre à vivre dans des zones denses, il s'agirait de rendre la vie en ville plus attractive, par une amélioration de la qualité de l'air, par une politique du bruit ou par l'encouragement d'une vie de quartier dynamique, ce qui répond aussi à des aspirations des ménages. De même il ne s'agirait pas de réduire l'étendue de l'espace de vie par l'accroissement des coûts associés à la mobilité mais de faire de la vie de proximité une

opportunité pour améliorer la qualité de vie. Finalement une voie légitime consisterait non pas à restreindre les options ou accroître les contraintes sur certaines d'entre elles mais à faire converger des objectifs d'amélioration de la qualité de vie avec la réduction des usages énergétiques.

Ces considérations rappelleront les réflexions d'auteurs que nous avons cités en introduction et qui appellent à une transformation profonde des modes de vie, non pas par la voie de la restriction et de la contrainte, mais par une mutation des valeurs et des systèmes de satisfaction. Il en va ainsi des concepts de *prospérité sans croissance* (Jackson, 2009), auteur qui appelle notamment à une remise en cause du rôle social de la consommation dans les sociétés matérialistes ; de *sobriété heureuse* (Rabhi, 2010) dont l'un des slogans est « *plus avec moins, mieux avec tous* » ; ou encore du *convivialisme* dont l'un des principes-clé est énoncé en ces termes « *les êtres humains sont des êtres sociaux pour qui la plus grande richesse est la richesse de leurs rapports sociaux* » (Les convivialistes, 2013).

Le projet de société, ou projet politique, annoncé consiste ainsi à concilier désirabilité et durabilité des modes de vie. L'enjeu est d'autant plus grand, comme nous l'avons rappelé en introduction, que la part de la population mondiale ayant accès au mode de vie consumériste croît. Dans cette perspective, il est probable que les réflexions et recherches sur les modes de vie et les solutions permettant de les rendre plus « soutenables » continuent de constituer un champ de recherche riche dans les prochaines années (ou décennies). Dans cette optique, nous profiterons de la conclusion de ce manuscrit pour énoncer quelques perspectives de recherche.

5.4 CONCLUSION GENERALE

Le travail de recherche présenté dans ce manuscrit trouve sa source dans un diagnostic « de terrain » du paysage des politiques de l'énergie et du changement climatique. Selon ce diagnostic, les modes de vie sont unanimement considérés comme l'une des clés pour atteindre les objectifs ambitieux d'une transition vers un futur soutenable mais leur évocation dans les politiques publiques demeure à l'état incantatoire, ou au mieux à l'état fragmentaire. Or, les modes de vie peuvent aussi aller à l'encontre d'une telle transition et accroître l'ampleur du défi à relever. De ce diagnostic a émergé la question qui a guidé nos recherches : comment encourager l'intégration des modes de vie dans la réflexion et l'action pour une transition énergétique ou vers une société bas carbone ? Au cours de nos recherches qui se sont concentrées sur l'introduction de la question des modes de vie dans la prospective énergie-climat, nous avons conduit un travail conceptuel et théorique d'une part et un travail expérimental d'autre part. Dans cette conclusion, nous rappellerons dans un premier temps les grandes étapes de ce travail de recherche avant de proposer quelques perspectives de recherche.

5.4.1 Bilan de la recherche

Définir les modes de vie et clarifier leur rôle dans le contexte énergétique

La notion de mode de vie est à la fois commune et difficile à manipuler, ce qui nous a conduit à proposer dans le *chapitre 1*, à partir de la littérature, une définition et un cadre conceptuel pour l'appréhender. La notion porte à la fois sur les pratiques et les représentations relatives à différentes dimensions de la vie. Afin de préciser le contenu de la notion, nous avons identifié quinze dimensions en qualifiant leur caractère structurel selon leur portée temporelle. Nous avons par la suite utilisé ce cadre comme grille de lecture des transformations sociales passées et comme grille d'analyse à différentes étapes de notre travail. L'observation des mutations passées des modes de vie nous fournit alors un ordre de grandeur des transformations auxquelles nous pouvons nous attendre dans les décennies à venir.

Dans la suite de ce chapitre, nous nous sommes attachés à qualifier et "cartographier" à partir de la littérature le rôle des modes de vie dans le *système énergétique* au sens large. Leur influence porte à la fois sur la demande énergétique résidentielle, sur la demande liée à la mobilité et sur la demande qui résulte de la consommation de biens et services. Cette influence prend la forme d'une détermination des motifs originels de la demande énergétique, ce qui nous a conduit à considérer les modes de vie comme une véritable *matrice* des usages énergétiques.

Ces bases posées, nous avons focalisé notre attention sur l'un des outils d'aide à la décision régulièrement employé face aux enjeux de long terme qu'impliquent la transition énergétique et l'atténuation du changement climatique : la démarche prospective.

Comprendre leur prise en compte dans les exercices de prospective

Le *chapitre 2* a ainsi été consacré à l'analyse des exercices prospectifs existants à travers le prisme de la prise en considération des modes de vie. S'ils existent, les exercices qui abordent explicitement la question des futurs modes de vie font figure d'exception, que ce soit parmi les exercices menés à l'échelle de la France ou à d'autres échelles. Ce constat est plus prégnant encore lorsque l'élaboration de scénarios est guidée par l'usage d'un modèle dont le formalisme est généralement peu adapté à l'étude de mutations des modes de vie. Les exceptions montrent toutefois que des pistes de travail existent, mais que le champ reste largement inexploré.

Proposition d'une voie pour modéliser les modes de vie

Partant du double postulat que (1) penser nos futurs modes de vie dans le cadre d'exercices de prospective énergétique peut contribuer à l'intégration de cette question dans les actes ; (2) l'un des obstacles à une meilleure prise en compte des modes de vie dans la prospective est la difficulté que cela représente en termes de conceptualisation et d'adaptation du formalisme des modèles existants, nous avons fait le choix de faire de la modélisation l'objet de notre contribution. Afin de positionner nos travaux, nous avons décidé d'une part de nous concentrer sur le rôle des modes de vie en tant que matrice des usages énergétiques et d'autre part de les aborder à une échelle macroscopique, en l'occurrence à l'échelle de la population vivant en France.

Le formalisme de modélisation que nous avons proposé repose sur plusieurs principes exposés dans le *chapitre 3*. Le premier est l'usage combiné d'enquêtes nationales de l'Insee comme substrat. Le second est la proposition d'une représentation désagrégée de la population permettant de rendre explicite des variables relatives aux individus et à leurs modes de vie (p. ex. choix de localisation, pratiques de cohabitation) et de représenter leur diversité. Le troisième consiste en un processus de simulation qui valorise les corrélations entre ces variables, attribuant au modèle des fondements statistiques. Celui-ci autorise l'introduction de changements relatifs aux modes de vie et assure la propagation de leurs conséquences dans d'autres dimensions des modes de vie et jusqu'aux usages énergétiques. L'*endogénéisation* de schèmes de comportements dans le formalisme de modèle offre donc une certaine cohérence aux scénarios, au contraire de modélisation où des changements de modes de vie seraient introduits par des hypothèses portant sur le résultat de ces comportements et fixées de manière exogène. Ce formalisme de modélisation repose donc sur un principe de *mimétisme* des comportements, c'est-à-dire une hypothèse de reproduction partielle des structures sociales, des logiques économiques individuelles ou encore des grands principes infrastructurels. La simulation des comportements englobe

ainsi une part de rationalité sans que le principe de rationalité ne sous-tende la représentation des comportements, comme c'est le cas dans le formalisme de nombreux modèles utilisés en prospective énergie-climat.

Principaux enseignements de l'exercice de modélisation prospective

Au cours de notre démarche de recherche, nous avons expérimenté le modèle proposé dans le cadre de trois exercices de prospective à vocation expérimentale. Nous présentons dans le *chapitre 4* le dernier d'entre eux, ayant bénéficié des apports des précédents. Cet exercice porte à l'horizon 2072 et explore trois scénarios. Le premier envisage des modes de vie stables ou des changements dans la continuité des tendances récentes. Le second décrit une société plus individualiste dans laquelle les équipements technologiques prennent davantage d'importance que dans la société actuelle. Le troisième considère une société orientée vers les formes d'organisation collective (p. ex. habitat partagé) et le lien social. L'amplitude des écarts constatés entre les trois scénarios sur la demande en logement, la demande en mobilité et la demande en une sélection d'équipements (p. ex. véhicules, appareils électroménagers) illustre le caractère potentiellement critique de l'évolution des modes de vie. Le troisième scénario illustre le fait que certaines formes d'organisations (organisation collective, organisation spatiale) peuvent conduire à une réduction globale significative des usages énergétiques. Malgré tout, satisfaire les usages dans un tel scénario avec un objectif d'émissions nulles à l'horizon de la seconde moitié du siècle demeure un défi d'une ampleur considérable. Le second scénario illustre un cas de recomposition des usages où certains gains permis par de nouvelles pratiques (p. ex. la mobilité virtuelle remplace une partie des trajets quotidiens) sont plus que compensés par une demande accrue en d'autres usages (p. ex. surface de logement, voyages longue distance). Parmi les points les plus sensibles pour éviter une dérive des usages énergétiques figurent l'évolution des pratiques de cohabitation, l'évolution de la localisation des ménages, l'évolution de l'espace de vie des individus et l'évolution des pratiques de voyage de loisirs.

La simulation de ces trois scénarios était intégrée à une démarche prospective plus large visant à étudier les conditions d'atteinte d'une France zéro émission d'ici à la fin du XXI^{ème} siècle. Le modèle proposé n'ayant pas vocation à exprimer directement des résultats sous la forme de consommation d'énergie, nous avons montré comment combiner son usage avec celui d'autres modèles afin d'y parvenir. Les indicateurs de sortie du modèle des modes de vie constituent alors les données d'entrées des deux autres modèles. Ce choix de traiter la question en deux temps pourra rappeler par exemple la démarche du GIEC qui découple les scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (aboutissant à des concentrations dans l'atmosphère) de la simulation des conséquences de différents niveaux de concentrations de gaz à effet de serre. Les deux problématiques font en effet appel à des paradigmes de modélisation bien distincts. L'une des limites de cette démarche réside dans la difficulté de tenir compte des rétroactions du second système vers le premier. Les problématiques liées

à la cohérence des hypothèses et la compatibilité des approches ont été discutées à la fin du *chapitre 4*, identifiant de potentielles pistes d'amélioration sur ce point.

Dans le *chapitre 5* (sections 5.1 et 5.2), nous avons adopté un regard réflexif sur le formalisme de modélisation proposé et ses fondements, et en particulier le principe de mimétisme et l'usage des enquêtes nationales. L'expérimentation du modèle proposé et cette réflexion nous ont permis à la fois de relever ses apports pour simuler certains changements d'évolution des modes de vie tout en offrant une certaine cohérence aux scénarios, mais également ses limites. Celles-ci sont d'ordres opérationnel, thématique ou encore conceptuel et restreignent la capacité d'exploration du modèle proposé. Face à certains types de changements et à leurs conséquences systémiques, l'usage même de la modélisation peut être remise en cause et inciter à préférer d'autres approches, comme celle qui consiste à s'appuyer sur la force du récit. Certaines voies pourraient toutefois être explorées afin de poursuivre le développement des capacités de modélisation dans ce contexte. Pour cela nous proposons ci-après quelques perspectives de recherche.

5.4.2 Perspectives pour de futurs travaux

La *première perspective* porte sur des expérimentations de combinaisons de modèles plus poussées. Celle qui a été menée ne valorisait par exemple pas la description très fine de la population future. Une association avec des modèles centrés sur l'étude des comportements liés à l'évolution du système technique (p. ex. comportements de renouvellement d'équipements énergétiques, comportements de réalisation de travaux de rénovation) ou de mobilité pourrait par exemple être testée. Couplée à un formalisme d'optimisation technologique de type MarkAI-TIMES, l'association permettrait de définir des contraintes sur les technologies éligibles et les gisements techniques par exemple.

La *deuxième perspective* concerne l'approfondissement de la problématique de la consommation de biens et services qui n'a été abordée que sous certains angles dans l'exercice du chapitre 4. Si la littérature concernant les pratiques actuelles est abondante, les pistes permettant d'intégrer de nouvelles pratiques dans la modélisation prospective énergie-climat semblent assez peu abordées. Alors que les enquêtes permettent difficilement d'aller plus loin dans la simulation de pratiques futures de consommation, de nouvelles pistes de modélisation prospective pourront émerger de l'exploitation d'autres sources de données. Il est probable que le traitement de cette problématique conduise à envisager la combinaison de plusieurs sources, tant les pratiques de consommation font référence à de multiples dimensions. L'enquête menée auprès de 3000 ménages dans le cadre du projet GRECOD2 constitue un exemple de source complémentaire mobilisable. Ce projet visait à identifier des profils de consommation durable et à analyser le rôle des inégalités, notamment sociales et territoriales, dans ces pratiques (Belin et al., 2016).

La troisième perspective concerne l'exploration à l'aide de la modélisation de changements radicaux ayant des conséquences systémiques alors que ce type de changement pose un défi au principe même d'une modélisation. La généralisation de la voiture autonome constitue un cas d'application potentiellement très intéressant. Les recherches dont elle fait l'objet, l'engouement qu'elle suscite auprès de différentes firmes, les expérimentations et développements en cours actuellement laissent penser qu'il s'agit d'un horizon plausible. Pourtant la prospective énergétique ne s'en est encore pas, ou peu, emparée. Une première incertitude porte sur l'horizon temporel d'introduction puis de généralisation de ces systèmes. La seconde, dont les conséquences énergétiques sont majeures, porte sur les modalités d'application de ces systèmes. Remplaceront-ils « poste pour poste » les véhicules particuliers? Dans ce cas, les changements pourraient être relativement modestes, quoique certains analystes envisagent que cette évolution entraîne la fin des problèmes de congestion et de stationnement par des schémas qui pourraient avoir un coût énergétique supplémentaire (p. ex. stationnement du véhicule en dehors de la ville pendant une journée de travail). Ou au contraire, ce système sera-t-il celui qui donnera sa pleine mesure à la notion de service de mobilité en séparant le véhicule de l'utilisateur? Cette perspective fait alors émerger des potentiels de réduction des usages énergétiques (taille de la flotte de véhicules, optimisation des taux de remplissages des véhicules), mais ouvre également le champ à des effets induits tel qu'un allongement des durées de trajets quotidiens (du fait de la diminution de la pénibilité du trajet, de la possibilité d'autres activités pendant ce trajet), perspective qui pourrait par exemple mettre au défi la conjecture de Zahavi (Zahavi et Talvitie, 1980)¹²¹.

La *quatrième perspective* porte sur la question du changement individuel de modes de vie entre deux périodes. Les enquêtes nationales intègrent toutes un certain nombre de variables relatives à une période antérieure (p. ex. localisation quatre ans auparavant, situation professionnelle quatre ans auparavant). Dans nos travaux, nous ne les avons pas exploitées car nous avons privilégié le travail sur les corrélations entre attributs et pratiques des individus à un temps t . Un travail sur des corrélations entre attributs et pratiques entre deux périodes de temps serait envisageable à partir des enquêtes sur certaines variables. Toutefois, cela nous conduirait probablement à adapter le formalisme, d'une part pour gérer un plus grand nombre de variables, d'autre part pour représenter les logiques et mécanismes individuels. Pour cela, l'une des pistes de travail naturelles est la microsimulation dynamique que nous avons un temps envisagée avant d'opter pour un modèle matriciel afin, notamment, de travailler sur une population complète. Celle-ci consiste à représenter les individus individuellement, leurs attributs, leurs pratiques et à appliquer à chaque période de temps des règles de modification (ou non modification) des variables (Blanchet, 2014). Ces règles peuvent être déterministes (p. ex. l'âge dont on

¹²¹ Celle-ci a mis en évidence une relative stabilité du temps moyen consacré aux déplacements quotidiens depuis plusieurs décennies et sur de nombreux territoires urbanisés à travers le monde.

connait la variation entre deux périodes) ou probabilistes en se basant sur les comportements observés au cours des périodes actuelle et passées. Ce formalisme présente l'inconvénient d'être probabiliste, mais l'avantage d'offrir une description complète d'un individu ou d'un ménage (et de son mode de vie) dans le cadre d'un processus unifié (les individus peuvent être regroupés au sein d'un ménage). Il ne résout en revanche qu'en apparence le problème de la combinaison d'enquêtes. En effet, s'il est possible de décrire l'ensemble des pratiques pour un individu (p. ex. usage du temps et consommation de biens et services), cela n'est possible qu'à partir d'une hypothèse d'indépendance partielle des variables, qui constitue une approximation (p. ex. pour un individu de 48 ans ayant un emploi et habitant en milieu rural, les pratiques d'usage du temps et de consommation pourront être simulées mais sans que le lien entre les deux puisse être statistiquement établi). De tels modèles ont été développés en France et utilisés en prospective pour anticiper les besoins en services de santé (Dormont et al., 2006) ou les évolutions du système de retraite (Blanchet et al., 2016). Signalons qu'une modélisation de ce type pourrait s'appuyer sur des matrices de corrélations telles que nous les avons définies dans notre approche.

La *cinquième et dernière perspective* que nous proposons porte sur l'application des réflexions prospectives sur les modes de vie à d'autres territoires. Le formalisme proposé repose en effet sur des enquêtes nationales et limitent donc l'exploration à l'élaboration de scénarios pour la France. Il est possible d'envisager de transposer les mêmes principes à d'autres pays disposant d'enquêtes nationales comparables, cela nécessite au préalable un important travail d'examen des enquêtes et des variables disponibles. En revanche, travailler à des échelles locales ou internationales nécessiterait de changer de formalisme. À l'échelle internationale, les travaux de van Sluisveld et al. (2015) donnent une idée de méthode possible, reposant sur l'usage d'indicateurs et de paramètres globaux. Il est également possible que des analyses menées à l'échelle nationale puissent être valorisées à d'autres échelles sous la forme de paramètres et de valeurs repères mobilisables dans d'autres contextes formels.

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES REFERENCES

- ADEME, 2014. Alléger l'empreinte environnementale de la consommation des Français en 2030 - Vers une évolution profonde des modes de production et de consommation (Rapport de synthèse).
- ADEME, 2013. Vision 2030-2050 - L'exercice de prospective de l'ADEME (Rapport technique).
- Aguilera, A., Lethiais, V., Rallet, A., Proulhac, L., 2016. Le télétravail, un objet sans désir ? Rev. Déconomie Régionale Urbaine Février, 245–266.
- Allais, M., 1953. Le comportement de l'homme rationnel devant le risque. *Econometrica* 21, 503–546.
- Allibe, B., 2012. Modélisation des consommations d'énergie du secteur résidentiel français : amélioration du réalisme comportemental et scénarios volontaristes. Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales.
- Alpert, L., Gatty, R., 1969. Product Positioning by Behavioral Life-Styles. *J. Mark.* 33, 65. doi:10.2307/1249408
- Ambry, M., 1988. At home in the office. *Am Demogr.* 30–61.
- Antoni, J.-P., France, Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres (France) (Eds.), 2011. Modéliser la ville: formes urbaines et politiques de transport, Méthodes et approches. *Economica*, Paris.
- Apollinaire, G., 1918. "La petite auto", Etendards, in: *Calligrammes. Poèmes de la paix et de la guerre 1913-1916*.
- Armoogum, J., Hubert, J.-P., Roux, S., Le Jeannic, T., 2008. Plus de voyages, plus de kilomètres quotidiens : une tendance à l'homogénéisation des comportements de mobilité des Français, sauf entre ville et campagne, in: Ministère de l'écologie (Ed.), *La Mobilité Des Français - Panorama Issu de L'enquête Nationale Transports et Déplacements 2008*, La Revue Du CGDD. pp. 5–24.
- Arnsperger, C., 2009. Ethique de l'existence post-capitaliste: pour un militantisme existentiel, *La nuit surveillée*. Les Ed. du Cerf, Paris.
- Assadourian, E., 2010. State of the world 2010: transforming cultures from consumerism to sustainability ; a Worldwatch Institute on progress oward a sustainable society, 27th ed. ed. Earthscan, London.

- Assegond, C., Fairier, E., Le Conte, J., Rubens, L., Salvazet, R., 2016. CHEMIN : Contexte apprenant (BBC-BEPOS) et incitations de type nudge : des leviers pour favoriser des modes de vie durables ? (Rapport final).
- Association Négawatt, 2014. Scénario négaWatt 2011-2050 - Hypothèses et méthodes.
- Assoumou, E., 2006. Modélisation MarkAI pour la planification énergétique long terme dans le contexte français. Ecole des Mines de Paris.
- Axon, S., 2017. "Keeping the ball rolling": Addressing the enablers of, and barriers to, sustainable lifestyles. *J. Environ. Psychol.* 52, 11–25. doi:10.1016/j.jenvp.2017.05.002
- Backhaus, J., Breukers, S., Mont, O., Paukovic, M., Mourik, R., 2012. Sustainable lifestyles: today's facts & tomorrow's trends (Baseline report D1.1), Projet SPREAD - Sustainable Lifestyles.
- Baranzini, A., Carattini, S., 2014. Paying Enough Taxes Already? Testing the Acceptability of Carbon Taxes with Survey Data. *SSRN Electron. J.* doi:10.2139/ssrn.2461674
- Barbieri, R.H., 1982. Economics and changing lifestyles. *Energy Convers. Manag.*, Observations from the Third International Conference on Energy Use Management 22, 301–307. doi:10.1016/0196-8904(82)90015-2
- Barbieri, R.H., 1980. Energy transformation: Lifestyles, motivation, values. *Energy Convers. Manag.* 20, 244–252. doi:10.1016/0196-8904(80)90006-0
- Barré, A., 1997. Quelques données statistiques et spatiales sur la genèse du réseau autoroutier français. *Ann. Géographie* 106, 229–240.
- Battagliola, F., 2008. Histoire du travail des femmes. La Découverte, Paris.
- Belin, J., Lazaric, N., Berthe, A., Ferrari, S., Lavaud, S., 2016. Consommation durable et justice sociale : analyse du rôle des inégalités dans les pratiques de consommation durable et leurs changements. (Rapport final). GRECOD2 (groupe de recherche sur la consommation durable).
- Berger, G., 1958. L'attitude prospective. *Prospective* 1–10.
- Besse, P., Laurent, B., 2015. Apprentissage Statistique: modélisation, prévision et data mining (Rapport technique). Institut de Mathématiques de Toulouse - Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.
- Betsch, T., Brinkmann, B., Fiedler, K., Breining, K., 1998. When prior knowledge overrules new evidence: Adaptive use of decision strategies and role behavioral routines (Sonderforschungsbereich 504 Publications No. 98–16). Sonderforschungsbereich 504, Universität Mannheim.
- Bibas, R., Hourcade, J.C., 2013. Transitions énergétiques en France: Enseignements d'exercices de prospective.

- Bibas, R., Mathy, S., Fink, M., 2012. Élaboration d'un scénario bas carbone pour la France Une approche participative pour intégrer l'acceptabilité sociale et économique (report).
- Bin, S., Dowlatabadi, H., 2005. Consumer lifestyle approach to US energy use and the related CO₂ emissions. *Energy Policy* 33, 197–208. doi:10.1016/S0301-4215(03)00210-6
- Blanc, N., 2010. Science-fiction et modes de vie au futur, Rapports intermédiaires réalisés dans le cadre du projet PROMOV.
- Blanchet, D., 2014. La microsimulation dynamique : principes généraux et exemples en langage R.
- Blanchet, D., Bozio, A., Rabaté, S., 2016. Quelles options pour réduire la dépendance à la croissance du système de retraite français? *Rev. Économique* 67, 879. doi:10.3917/reco.674.0879
- Blanpain, N., Chardon, O., 2010. Projections de population à l'horizon 2060 : un tiers de la population âgé de plus de 60 ans. Insee Prem.
- Bonnel, P., 2002. Prévion de la demande de transport (thesis). Université Lumière - Lyon II.
- Bonvalet, C. (Ed.), 2001. La ville aux champs: colloque du 7 mars 2000. ADEF, Paris.
- Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K.-H., Ekvall, T., Finnveden, G., 2006. Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures* 38, 723–739. doi:10.1016/j.futures.2005.12.002
- Boudon, R., 2010. La rationalité ordinaire : colonne vertébrale des sciences sociales. *Année Sociol.* 60, 19. doi:10.3917/anso.101.0019
- Boudon, R., 2002. Théorie du choix rationnel ou individualisme méthodologique ? *Sociol. Sociétés* 34, 9. doi:10.7202/009743ar
- Bourdieu, P., 1979. La distinction: critique sociale du jugement, Repr. ed, Le sens commun. Les Éd. de Minuit, Paris.
- Bouver, É. de, 2016. Jeunes alteractivistes: d'autres manières de faire de la politique ? : perspectives internationales. les Presses de Sciences Po, Paris.
- Breiman, L., Friedman, J., Stone, C.J., Olshen, R.A., 1984. Classification and Regression Trees. Taylor & Francis.
- Bressoux, P., 2010. Chapitre 1. Esquisse d'une épistémologie de la modélisation statistique en sciences sociales - Cairn.info, in: *Modélisation Statistique Appliquée Aux Sciences Sociales, «Méthodes En Sciences Humaines»*. Bruxelles, p. 464.
- Bressoux, P., 2008. Modélisation statistique appliquée aux sciences sociales, *Méthodes en sciences humaines*. De Boeck, Bruxelles.

- Briens, F., 2015. La Décroissance au prisme de la modélisation prospective - Exploration macroéconomique d'une alternative paradigmatique. Ecole nationale supérieure des Mines de Paris.
- Brundtland, G., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S., Chidzero, B., Fadika, L., Hauff, V., Lang, I., Shijun, M., Morino de Botero, M., Singh, M., Okita, S., And Others, 1987. Our Common Future ('Brundtland report').
- Bureau, D., 2013. Des scénarios énergétiques, aux impacts sociaux économiques et à l'évaluation des choix, L'évaluation économique des scénarios énergétiques. Conseil économique pour le développement durable.
- Büttner, T., Grübler, A., 1995. The birth of a "Green" generation? Technol. Forecast. Soc. Change 50, 113–134. doi:10.1016/0040-1625(95)00052-C
- Castel, J.-C., 2006. Les liens entre l'organisation urbaine et les déplacements. Groupe d'institution urbaine, CERTU.
- Cayla, J.-M., 2011. Les ménages sous la contrainte carbone : exercice de modélisation prospective des secteurs résidentiel et transports avec TIMES. Ecole nationale supérieure des Mines de Paris.
- Cazenave-Lacroutz, A., Godet, F., 2016. L'espérance de vie en retraite sans incapacité sévère devrait être stable pour les générations nées entre 1960 et 1990–France, portrait social | Insee (Dossier), Insee Références. Insee.
- Cazes, B., 1986. Histoire des futurs: les figures de l'avenir de saint Augustin au XXIe siècle, Les Visages de l'avenir. Seghers, Paris.
- CEREN, 2015. Données statistiques du CEREN - Année 2013.
- CEREN, 2011. Analyse rétrospective du parc et des flux de logements de 1973 à 2009 (No. 0102). CEREN.
- Cleveland, M., Laroche, M., 2007. Acculturation to the global consumer culture: Scale development and research paradigm. J. Bus. Res. 60, 249–259. doi:10.1016/j.jbusres.2006.11.006
- Commissariat général du plan, 1998. Énergie 2010-2020. Trois scénarios énergétiques pour la France, Annexe 1 - les scénarios énergétiques de la France 2010-2020 (par Olivier Godard).
- Conseil d'Analyse Stratégique, 2008. Les perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050, Rapport du groupe de travail 5. Paris.
- Crassous, R., 2008. Modéliser le long terme dans un monde de second rang : application aux politiques climatiques. Agro Paris Tech.
- Croutte, P., Lautié, S., Hoibian, S., 2016. Baromètre du Numérique (Edition 2016) (No. R333), Collection des rapports du CREDOC. CREDOC.

- David, B., de Lattre-Gasquet, M., Mathy, S., Moncomble, J.-E., Rozenberg, J., 2014. Prospective énergétique : le possible, le souhaitable et l'acceptable. Futuribles.
- Dennis, K., Urry, J., 2009. After the car. Polity, Cambridge ; Malden, MA.
- Destatte, P., Durance, P. (Eds.), 2009. Les mots-clés de la prospective territoriale, La Documentation française. ed, Travaux. DATAR.
- DGEC, 2011. Scénarios prospectifs Énergie – Climat – Air à horizon 2030 (Synthèse).
- DGEC, 2008. Du scénario tendanciel aux scénarios « Grenelle » (Etude réalisée par Enerdata).
- DGEMP, 2008. Scénario énergétique tendanciel à 2030 pour la France (Etude réalisée par Enerdata), Rapport de synthèse.
- DGEMP, 2005. Étude pour une prospective énergétique concernant la France (Etude réalisée par Enerdata et le LEPII).
- DGEMP, 2000. Un scénario énergétique tendanciel pour la France à l'horizon 2020 (Etude réalisée par Pierre-Noël Giraud (CERNA) en collaboration avec Enerdata).
- Dillman, D.A., Rosa, E.A., Dillman, J.J., 1983. Lifestyle and home energy conservation in the United States: the poor accept lifestyle cutbacks while the wealthy invest in conservation. J. Econ. Psychol. 3, 299–315. doi:10.1016/0167-4870(83)90008-9
- Dobré, M., Haesler, A., Onno, J., Hossard, N., 2014. Modes de vie innovants et tactiques de résistance à l'accélération du rythme quotidien (Rapport final du projet MODERATO).
- Dormont, B., Grignon, M., Huber, H., 2006. Health expenditure growth: reassessing the threat of ageing. Health Econ. 15, 947–963. doi:10.1002/hec.1165
- Druckman, A., Jackson, T., 2010. The bare necessities: How much household carbon do we really need? Ecol. Econ. 69, 1794–1804. doi:10.1016/j.ecolecon.2010.04.018
- Dubois, G., Céron, J.-P., 2015. Consommation et modes de vie : une autre perspective sur les politiques d'atténuation du changement climatique. Nat. Sci. Sociétés 23, S76–S90. doi:10.1051/nss/2015020
- Emelianoff, C., 2010. Signaux faibles ou nouveaux mouvement sociaux ?, Rapports intermédiaires réalisés dans le cadre du projet PROMOV.
- Emelianoff, C., Mor, E., Dobré, M., Cordellier, M., Barbier, C., Blanc, N., Sander, A., Cstelaïin Meunier, C., Joliton, D., Leroy, N., Pourouchottamin, P., Radanne, P., 2013. Modes de vie et empreinte carbone (No. 21), Les cahiers du CLIP. IDDRI.
- Enaux, C., 2009. Processus de décision et Espace d'activités/déplacements. Une approche articulant routine cognitive et adaptation événementielle. Cybergeog. Eur. J. Geogr. En Ligne, Espace, Société, Territoire. doi:DOI : 10.4000/cybergeog.22221

- Eyre, N., Anable, J., Brand, C., Layberry, R., Strachan, N., 2011. The way we live from now on: lifestyle and energy consumption (Working paper), In: Skea, J., Ekins, P., Winskel, M. (Eds.), *Energy 2050: Making the Transition to a Secure Low Carbon Energy System*. Earthcan, London.
- Falch, M., 2012. Environmental Impact of ICT on the Transport Sector, in: Hadjiantonis, A.M., Stiller, B. (Eds.), *Telecommunication Economics*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 126–137. doi:10.1007/978-3-642-30382-1_17
- Ferrand, M., 2004. L'émancipation des femmes : repères chronologiques, in: *Féminin, Masculin, Collection Repères Sociologie*. Éd. La Découverte, Paris, pp. 120–122.
- Fishbone, L.G., Abilock, H., 1981. Markal, a linear-programming model for energy systems analysis: Technical description of the bnl version. *Int. J. Energy Res.* 5, 353–375. doi:10.1002/er.4440050406
- Fournier, M., 2002. Le corps, emblème de soi. *Sci. Hum.* 23.
- Galland, O., Lemel, Y., 2007. *Valeurs et cultures en Europe*. La Découverte, Paris.
- Gauchet, M., 1985. *Le désenchantement du monde: une histoire politique de la religion*, Bibliothèque des sciences humaines. Gallimard, Paris.
- Gershuny, J., 2000. *Changing Times: Work and Leisure in Postindustrial Society*. Oxford University Press.
- Gershuny, J., Jones, S., European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions., 1986. *Time use in seven countries, 1961 to 1984*, Working paper / European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions ;no. EF/WP/87/147/EN. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, Shankill, Co. Dublin, Ireland.
- Gheraouti, S., Dufour, A., 2012. *Internet*. Presses universitaires de France, Paris.
- Girard, S., Huber, A., Thomas, Y., 2011. *Prospective des modes de vie dans les villes post-carbone, Étude réalisée pour le compte de l'ADEME en collaboration avec Sociovision*.
- Gladhart, P.M., Morrison, B.M., Zuiches, J.J., Project, M.S.U.F.E., 1987. *Energy and families: lifestyles and energy consumption in Lansing*. Michigan State University Press.
- Gonod, P.-F., Gurtler, J.-L., 2002. Évolution de la prospective. *Rev. OCL* 9.
- Goodall, C., 2010. *How to live a low-carbon life: the individual's guide to stopping climate change*, 2. ed., fully updated. ed. Earthscan, London.
- Gorz, A., 1977. *Écologie et liberté*, R.C. Éditions Galilée, Paris.
- Guivarch, C., Rozenberg, J., 2014. *Produire des scénarios par centaines. Comment les démarches statistiques renouvellent les approches prospectives*. Futuribles.

- Güth, W., Schmittberger, R., Schwarze, B., 1982. An experimental analysis of ultimatum bargaining. *J. Econ. Behav. Organ.* 3, 367–388. doi:10.1016/0167-2681(82)90011-7
- Hérault, B., 2013. Tendances et mutations sociales en France à l’horizon 2025 - Rapports aux autres, au temps et à l’espace.
- Herpin, N., Verger, D., 2008. Consommation et modes de vie en France: une approche économique et sociologique sur un demi-siècle, Grands repères Manuels. La Découverte, Paris.
- Hicks, C., Groezinger, R., Thorne, S., 2012. SPREAD - Sustainable Lifestyles : final report.
- Hirtzel, J., 2015. Exploration prospective des mobilités résidentielles dans une agglomération urbaine au moyen d’un modèle de simulation multi-agents (MOBISIM). Besançon.
- Hoffman, E., Spitzer, M.L., 1985. Entitlements, Rights, and Fairness: An Experimental Examination of Subjects’ Concepts of Distributive Justice. *J. Leg. Stud.* 14, 259–297. doi:10.1086/467773
- Hourcade, J.-C., 1998. Analyse économique, modélisation prospective et développement durable ou comment faire remonter des informations du futur ? *Économies Sociétés* 36, 175–192.
- Huber, A., Girard, S., Le Marre, P., 2013. Vers des modes de vie durables : une variété des modes de vie pour une ambition unique, la société post-carbone. *Rev. Futur.* 392, 43–60.
- Huet, M., 1977. Emploi et activité entre 1968 et 1975. *Econ. Stat.* 94, 59–76. doi:10.3406/estat.1977.6266
- Illich, I., 1975. Energie et équité. Éditions du Seuil, Paris.
- Insee, 2014. Tableau de l’économie française, Insee Références. Insee.
- Insee - Définitions, méthodes et qualité - Unité urbaine [WWW Document], n.d. URL <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/unite-urbaine.htm> (accessed 8.31.16).
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. Climate change 2014: mitigation of climate change ; Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge Univ. Press, New York, NY.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Climate change 2007 - Mitigation of climate change: contribution of Working Group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds.)], Cambridge Univ. Pr, Cambridge, Mass.

- Ion, J., 2001. L'engagement au pluriel. Publications de l'Université de Saint-Étienne, Saint-Étienne, [France].
- Jackson, T., 2009. Prosperity without growth: economics for a finite planet. Earthscan, London ; Sterling, VA.
- Jacquot, A., 2003. De plus en plus de maison individuelles (No. 885), Insee Première.
- Jalas, M., 2005. The Everyday Life Context of Increasing Energy Demands: Time Use Survey Data in a Decomposition Analysis. *J. Ind. Ecol.* 9, 129–145. doi:10.1162/1088198054084644
- Jalas, M., 2002. A time use perspective on the materials intensity of consumption. *Ecol. Econ.* 41, 109–123. doi:10.1016/S0921-8009(02)00018-6
- Jalas, M., Juntunen, J.K., 2015. Energy intensive lifestyles: Time use, the activity patterns of consumers, and related energy demands in Finland. *Ecol. Econ.* 113, 51–59. doi:10.1016/j.ecolecon.2015.02.016
- Jodelet, D., 2003. Les représentations sociales. Presses Universitaires de France.
- Jones, P., 1979. New approaches to understanding travel behavior: The human activity approach, in: Hensher, D.A., Stopher, P.R. (Eds.), *Behavioural Travel Modelling*. Croom Helm, London.
- Jouvenel, H. de, Lamblin, V., Theys, J., 2003. Radioscopie de la France en mutation, 1950-2030. L'évolution socio-économique, les modes de vie, les territoires, les villes, la mobilité et l'environnement en 40 dimensions. Paris: Association Futuribles International.
- Julien, P.-A., Lamonde, P., Latouche, D., 1975. La méthode des scénarios en prospective. *Actual. Économique* 51, 253. doi:10.7202/800621ar
- Kahneman, D., Tversky, A., 1979. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica* 47, 263. doi:10.2307/1914185
- Kaufmann, V., Ravalet, E., 2016. From Weak Signals to Mobility Scenarios: A Prospective Study of France in 2050. *Transp. Res. Procedia, Transforming Urban Mobility*. mobil.TUM 2016. International Scientific Conference on Mobility and Transport. Conference Proceedings 19, 18–32. doi:10.1016/j.trpro.2016.12.064
- Kende, P., 1976. La prospective de la consommation et des modes de vie. L'état des travaux français. *Rev. D'études Comp. Est-Ouest* 7, 203–227. doi:10.3406/receo.1976.2041
- Kende, P., 1973. Vers une description du mode de vie au moyen d'indicateurs. *Consommation* 118–122.
- Knudsen, M.A., 2011. Elasticity of Long Distance Travelling. Presented at the Young Researchers Seminar ECTRI–FEHRL–FERSI.
- Kuhn, T.S., 1972. La structure des révolutions scientifiques. Flammarion, Paris.

- Kuhn, T.S., 1962. The structure of scientific revolutions, First edition. ed. The University of Chicago Press, Chicago ; London.
- Laisney, C., 2013. Les comportements alimentaires, miroir de l'évolution des modes de vie et des valeurs.
- Lambert, Y., 1993. Ages, générations et christianisme en France et en Europe. *Rev. Fr. Sociol.* 34, 525–555. doi:10.2307/3321929
- Lapillonne, B., 1978. MEDEE 2: A Model for Long-Term Energy Demand Evaluation (Monograph).
- Latouche, S., 2006. Le pari de la décroissance. Fayard, Paris.
- Lazer, W., 1963. Lifestyle concepts and marketing. Towards scientific marketing, in: *Proceedings of the American Marketing Association*. pp. 130–139.
- Le Gallic, T., Assoumou, E., Maïzi, N., Strosser, P., 2015. Les exercices de prospective énergétique à l'épreuve des mutations des modes de vie. *VertigoO - Rev. Électronique En Sci. Environ.* doi:10.4000/vertigo.15635
- Lebart, L., Morineau, A., Piron, M., 2000. Statistique exploratoire multidimensionnelle. Dunod.
- Lemel, Y., 1994. Présentation du dossier - Aspects des modes de vie. *Sociétés Contemp.* 17, 7–10.
- Leonard-Barton, D., 1981. Voluntary Simplicity Lifestyles and Energy Conservation. *J. Consum. Res.* 8, 243. doi:10.1086/208861
- Leridon, H., Bajos, N., Oustry, P., et al., 2002. La médicalisation croissante de la contraception en France. Ined - Inst. Natl. D'études Démographiques, Population et Sociétés.
- Les convivialistes, 2013. Manifeste convivialiste: déclaration d'interdépendance. Le Bord de l'eau, Lormont.
- Lettenmeier, M., Hirvilammi, T., Laakso, S., Lähteenoja, S., Aalto, K., 2012. Material Footprint of Low-Income Households in Finland—Consequences for the Sustainability Debate. *Sustainability* 4, 1426–1447. doi:10.3390/su4071426
- Lipovetsky, G., 1983. L'ère du vide: essais sur l'individualisme contemporain. Gallimard, Paris.
- Löwy, M., Sayre, R., 1992. Révolte et mélancolie: le romantisme à contre-courant de la modernité, Critique de la politique Payot. Payot, Paris.
- Lüdtke, H., 1996. Methodenprobleme der Lebensstilforschung. Probleme des Vergleichs empirischer Lebensstiltypologien und der Identifikation von Stilpionieren, in: *Lebensstil Zwischen Sozialstrukturanalyse Und Kulturwissenschaft*. pp. 139–163.

- Lundström, E., 1986. Occupant Influence on Energy Consumption in Single Family Dwelling. Stockholm: Swedish Conc. Building Res.
- MacFadden, D., 1974. Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behaviour. *Frontriers Econom.*, Academic Press 1, 105–142.
- Maïzi, N., 2012. De la dimension infinie à la dimension prospective : variations autour du paradigme d’optimalité (Habilitation à diriger des recherches). Université de Nice Sophia-Antipolis.
- Malinvaud, E., 1995. Sur l’hypothèse de rationalité en théorie macro-économique. *Rev. Économique* 46, 523–536. doi:10.3406/reco.1995.409658
- Maréchal, P., 1977. Crise de l’énergie et évolution des modes de vie. CREDOC.
- Maresca, B., Dujin, A., 2014. La transition énergétique à l’épreuve du mode de vie. *Flux* N° 96, 10–23.
- Martin, D., 1978. A general theory of secularization. Basil Blackwell, Oxford.
- Matarasso, P., 2010. 2. La construction historique des paradigmes de modélisation intégrée : William Nordhaus, Alan Manne et l’apport de la Cowles Commission. *La Découverte*.
- Mauger, G., n.d. MODE DE VIE. *Encycl. Universalis En Ligne*.
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens III, W.W., 1972. The Limits to growth; a report for the Club of Rome’s project on the predicament of mankind. Universe Books, New York.
- Mermet, L., 2004. Prospective: un objet d’étude pour les SIC. *Sci. Inf. Commun. Savoirs Pouvoirs*, Hermès, La Revue 38, 207–214.
- Misra, S., Stokols, D., 2012. A typology of people–environment relationships in the Digital Age. *Technol. Soc.* 34, 311–325. doi:10.1016/j.techsoc.2012.10.003
- Modigliani, F., Brumberg, R., 1954. Utility analysis and the consumption function: an interpretation of cross-section data. *Post-Keynes. Econ.* 383–436.
- Mongin, P., 2014. Le paradoxe d’Allais: Comment lui rendre sa signification perdue ? *Rev. Économique* 65, 743. doi:10.3917/reco.655.0743
- Mongin, P., 1988. Simon et la théorie néoclassique de la rationalité limitée. *Cah. CREA* 269–310.
- Mongin, P., 1986. Simon, Stigler et les théories de la rationalité limitée. *Soc. Sci. Inf.* 25, 555–606. doi:10.1177/053901886025003002
- Monnoyer-Smith, L., 2016. Introduction : La recherche au service d’une transition des modes de vie, in: Bourg, D., Dartiguepeyrou, C., Gervais, C., Perrin, O. (Eds.), *Les Nouveaux Modes de Vie Durables. S’engager Autrement*.

- Mont, O., Neuvonen, A., Lähteenoja, S., 2014. Sustainable lifestyles 2050: stakeholder visions, emerging practices and future research. *J. Clean. Prod.*, Special Volume: Sustainable Production, Consumption and Livelihoods: Global and Regional Research Perspectives 63, 24–32. doi:10.1016/j.jclepro.2013.09.007
- Mor, E., 2010a. État de l'art : rétrospective des modes de vie 1960-1970 / 2000-2010, Rapports intermédiaires réalisés dans le cadre du projet PROMOV.
- Mor, E., 2010b. Essor des info-nano-bio-technologies et leurs possibles convergences vers l'avènement d'une posthumanité ?, Rapports intermédiaires réalisés dans le cadre du projet PROMOV.
- Morgan, J.N., Sonquist, J.A., 1963. Problems in the Analysis of Survey Data, and a Proposal. *J. Am. Stat. Assoc.* 58, 415–434.
- Moriarty, P., Wang, S.J., 2014. Low-carbon Cities: Lifestyle Changes are Necessary. *Energy Procedia*, International Conference on Applied Energy, ICAE2014 61, 2289–2292. doi:10.1016/j.egypro.2014.12.439
- Morin, E., 2011. *La voie: pour l'avenir de l'humanité*, Essais. Fayard, Paris.
- Mucchielli, A., 1995. *Psychologie de la communication*, 1re éd. ed, Le Psychologue. Presses universitaires de France, Paris.
- Mundaca, L., Neij, L., Worrell, E., McNeil, M., 2010. Evaluating Energy Efficiency Policies with Energy-Economy Models. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 35, 305–344. doi:10.1146/annurev-environ-052810-164840
- Neuvonen, A., Kaskinen, T., Leppänen, J., Lähteenoja, S., Mokka, R., Ritola, M., 2014. Low-carbon futures and sustainable lifestyles: A backcasting scenario approach. *Futures*, SI: Low Carbon Futures 58, 66–76. doi:10.1016/j.futures.2014.01.004
- Nordhaus, W., 1993. Optimal Greenhouse-Gas Reductions and Tax Policy in the "DICE" Model. *Am. Econ. Rev.* 83, 313–317.
- Nurmela, J., 1993. *Kotitalouksien energian kokonaiskulutus 1990*. Helsinki : Tilastokeskus, 1993.
- Pasquier, J.-L., 2012. *L'empreinte carbone de la consommation des Français : évolution de 1990 à 2007* (Etude et rapport internes No. 114), Le point sur. CGDD/SOeS.
- Perriault, J., 1989. *La logique de l'usage : Essai sur les machines à communiquer*. Editions L'Harmattan, Paris.
- Pourouchottamin, P., Barbier, C., Chancel, L., Colombier, M., 2013. *Nouvelles représentations des consommations d'énergie* (No. 22), Les cahiers du CLIP. IDDRI.
- Pow, C.-P., 2011. Living it up: Super-rich enclave and transnational elite urbanism in Singapore. *Geoforum* 42, 382–393. doi:10.1016/j.geoforum.2011.01.009
- Quinet, C., 1994. Herbert Simon et la rationalité. *Rev. Fr. Déconomie* 9, 133–181. doi:10.3406/rfeco.1994.948

- Quinlan, J.R., 1993. C4.5: programs for machine learning, The Morgan Kaufmann series in machine learning. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, Calif.
- Rabhi, P., 2010. Vers la sobriété heureuse. Actes Sud, Arles.
- Radanne, P., 2013. Pour un débat citoyen sur les modes de vie, in: Modes de Vie et Empreinte Carbone, Cahier Du Clip. IDDRI, pp. 119–123.
- Rakotomalala, R., 2005. Arbres de décision. Modulat 163–187.
- Raux, C., Traisnel, J.-P., 2007. Un outil pour répondre à la problématique transport-habitat. Lett. Tech. Ing. - Energ. 3–4.
- Raux, C., Traisnel, J.-P., Pochet, P., Maïzia, M., Croissant, Y., Bagard, V., Péguy, P.-Y., 2006. Analyse et modélisation des comportements transports-habitat-localisations. ETHEL. Rapport R3 (report).
- Ravalet, E., Munafò, S., Tabbone, L., Lahou, A., Kaufmann, V., Durand-Daubin, M., 2016. Prospective des modes de vie et évolutions des consommations énergétiques (Rapport intermédiaire (non publié) No. Livrable 7). EDF, EPFL (Lasur).
- Réau, B., Cousin, S., 2009. Sociologie du tourisme, Repères. La Découverte.
- Recker, W.W., McNally, M.G., Root, G.S., 1986. A model of complex travel behavior: part ii. An operational model. Transp. Res. 20A, 319–330.
- Recours F., Hebel P., Berger R., 2008. Effets de générations, d'âge et de revenus sur les arbitrages de consommation (No. 258). Centre de Recherche pour l'Étude et l'Observation des Conditions de Vie.
- Ricœur, P., 1983. Temps et récit., Points essais. Éditions du Seuil, Paris.
- Roudaut, H., Lefrancq, É., 2008. Alimentation théorique. CRDP Centre Régional de Documentation Pédagogique d'Aquitaine, Bordeaux.
- RTE, 2016. Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France.
- Sanquist, T.F., Orr, H., Shui, B., Bittner, A.C., 2012. Lifestyle factors in U.S. residential electricity consumption. Energy Policy 42, 354–364. doi:10.1016/j.enpol.2011.11.092
- Santiago, I., López-Rodríguez, M.A., Gil-de-Castro, A., Moreno-Munoz, A., Luna-Rodríguez, J.J., 2013. Energy consumption of audiovisual devices in the residential sector: Economic impact of harmonic losses. Energy 60, 292–301. doi:10.1016/j.energy.2013.08.018
- Scardigli, V., 1987. L'Europe des modes de vie. Editions du Centre national de la recherche scientifique, Paris.
- Schipper, L., Bartlett, S., Hawk, D., Vine, E., 1989. Linking Life-Styles and Energy Use: A Matter of Time? Annu. Rev. Energy 14, 273–320. doi:10.1146/annurev.eg.14.110189.001421

- Simon, H.A., 1976. From substantive to procedural rationality, in: Kastelein, T.J., Kuipers, S.K., Nijenhuis, W.A., Wagenaar, G.R. (Eds.), 25 Years of Economic Theory. Springer US, Boston, MA, pp. 65–86. doi:10.1007/978-1-4613-4367-7_6
- Simon, H.A., 1957. Models of man: social and rational; mathematical essays on rational human behavior in society setting. Wiley.
- Singer, N., 2017. The Silicon Valley Billionaires Remaking America's Schools. N. Y. Times.
- Sociovision, 2011. Scénarios de nouveaux Milieux de Vie et bilan carbone des groupes sociaux à l'horizon 2025 (Rapport intermédiaire du projet Milieux Urbains Durables).
- Sonderegger, R.C., 1978. Movers and stayers: The resident's contribution to variation across houses in energy consumption for space heating. Energy Build. 1, 313–324. doi:10.1016/0378-7788(78)90011-7
- Soriano, P., 2011. Le smartphone. Médium 256–265.
- Stehfest, E., van Vuuren, D., Kram, T., Bouwman, L., Alkemade, R., Bakkenes, M., Biemans, H., den Elzen, M., Janse, J., Lucas, P., van Minnen, J., Müller, C., Prins, A., 2014. Integrated assessment of global environmental change with IMAGE 3.0: model description and policy applications. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.
- Tabbone, L., Ravalet, E., Kaufmann, V., Cayla, J.-M., Durand-Daubin, M., 2016. Spatial location of activities and energy consumption of households in France (Working paper).
- Theys, J., Vidalenc, É., 2013. Repenser les villes dans la société post-carbone (Rapport du programme de recherche). Ministère de l'écologie et ADEME.
- Thisse, J.-F., Billot, A., 1995. Modèles de choix individuels discrets : théorie et applications à la micro-économie. Rev. Économique 46, 921–931. doi:10.3406/reco.1995.409707
- Torrens-Ibern, J., 1956. Qu'est-ce que la statistique ? J. Société Fr. Stat. Tome 97, 6.
- Trainer, T., 2007. Renewable energy cannot sustain a consumer society. Springer, Dordrecht.
- Traisnel, J.-P., Joliton, D., Laurent, M.-H., Caffiaux, S., Mazzenga, A., 2010. Habitat Facteur 4 (No. 20), Les cahiers du CLIP. IDDRI.
- Travaillot, Y., 2002. Les Français à la conquête de leur corps. Sci. Hum. 24.
- Tukker, A. (Ed.), 2008. Perspectives on radical changes to sustainable consumption and production, System innovation for sustainability. Greenleaf, Sheffield.
- Tversky, A., Kahneman, D., 1974. Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. Science 185, 1124–1131. doi:10.1126/science.185.4157.1124
- Valette-Florence, P., 1994. Les styles de vie: bilan critique et perspectives ; du mythe à la réalité, Connaître et pratiquer la gestion. Nathan, Paris.

- van Sluisveld, M.A.E., Martínez, S.H., Daioglou, V., van Vuuren, D.P., 2015. Exploring the implications of lifestyle change in 2 °C mitigation scenarios using the IMAGE integrated assessment model. *Technol. Forecast. Soc. Change*. doi:10.1016/j.techfore.2015.08.013
- Vavàková, B., 1984. La différenciation des modes de vie dans les sociétés de type soviétique (Hongrie, Pologne, Tchécoslovaquie). *Rev. D'études Comp. Est-Ouest* 15, 33–59. doi:10.3406/receo.1984.2478
- Vivien, F.-D., Damian, M., 2017. Oublier Trump et le climat. *Nat. Sci. Sociétés* 25, 109–110. doi:10.1051/nss/2017042
- Von Neumann, J., Morgenstern, O., 1944. *Theory of games and economic behavior*, First edition. ed. Princeton Univ. Press, Princeton.
- Weber, C., Perrels, A., 2000. Modelling lifestyle effects on energy demand and related emissions. *Energy Policy* 28, 549–566. doi:10.1016/S0301-4215(00)00040-9
- Weil, E., n.d. PRATIQUE ET PRAXIS. *Encycl. Universalis En Ligne*.
- Widén, J., Lundh, M., Vassileva, I., Dahlquist, E., Ellegård, K., Wäckelgård, E., 2009. Constructing load profiles for household electricity and hot water from time-use data—Modelling approach and validation. *Energy Build.* 41, 753–768. doi:10.1016/j.enbuild.2009.02.013
- Wolvén, L.-E., 1991. Life-styles and energy consumption. *Energy* 16, 959–963. doi:10.1016/0360-5442(91)90047-P
- Zahavi, Y., Talvitie, A., 1980. Regularities in travel time and money expenditures, in: National Research Council (U.S.) (Ed.), *Household Activities, Budget Constraints, and Stability of Travel*, Transportation Research Record. National Academy of Sciences, Washington, D.C, pp. 13–19.

BASES DE DONNEES

Enquête Budget de famille, 2011, INSEE (producteur), ADISP-CMH (diffuseur).

Enquête Emploi du temps 2010, INSEE (producteur), ADISP-CMH (diffuseur).

Enquête Logement, 1984, INSEE (producteur), ADISP-CMH (diffuseur).

Enquête Logement, 1988, INSEE (producteur), ADISP-CMH (diffuseur).

Enquête Logement, 1992, INSEE (producteur), ADISP-CMH (diffuseur).

Enquête Logement, 1996, INSEE (producteur), ADISP-CMH (diffuseur).

Enquête Logement, 2002, INSEE (producteur), ADISP-CMH (diffuseur).

Enquête Logement, 2006, INSEE (producteur), ADISP-CMH (diffuseur).

Enquête Logement, 2013, INSEE (producteur), ADISP-CMH (diffuseur).

Recensement de la population, 2009, INSEE (producteur), ADISP-CMH (diffuseur), fichier détail – Logements.

Recensement de la population, 2012, INSEE (producteur), ADISP-CMH (diffuseur), fichier détail – Logements.

Enquête Nationale Transports et déplacements SOeS, 2008. Ministère des Transports (producteur), ADISP-CMH (diffuseur).

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1 : Dimensions prises en compte dans sept publications utilisant les modes de vie analysées	25
Tableau 2 : Proposition et définition de quinze dimensions des modes de vie en vue de la manipulation de la notion dans le cadre de nos travaux	26
Tableau 3 : Panorama des modes de vie passés, actuels et futurs pour les dimensions les plus structurantes.....	39
Tableau 4 : Panorama des modes de vie passés, actuels et futurs pour les dimensions à portée quotidienne à annuelle	40
Tableau 5 : Intensité énergétique de quelques activités. Extrait et traduit de (Jalas, 2002) ..	50
Tableau 6 : Consommation d'énergie et émissions de CO ₂ par activité pour l'année 1997 aux États-Unis (extrait de [Bin et Dowlatabadi, 2005])	51
Tableau 7 : Cartographie des usages par dimension des modes de vie et par poste de l'emprise énergétique	53
Tableau 8 : Décomposition des usages en deux composantes : exemple d'analyse dimensionnelle.....	56
Tableau 9 : Les exercices de prospective énergie-climat analysés.....	67
Tableau 10 : Brève description des cinq scénarios du projet PROMOV (d'après [Emelianoff et al, 2012])	78
Tableau 11 : Traduction formelle des hypothèses des quatre scénarios (extrait de [Weber et Perrels, 2000]).....	87
Tableau 12 : Exemple de justification d'hypothèses du scénario de transformation des modes de vie	90
Tableau 13 : Buts des exercices de prospectives, nombre et types de scénarios d'évolution des modes de vie élaborés.	96
Tableau 14 : Composantes du système énergétique représentées dans les approches formelles des modes de vie recensées	99

Tableau 15 : Les six postulats de la théorie du choix rationnel selon Boudon (2002)	102
Tableau 16 : Exemples d'indicateurs caractéristiques des usages directs et indirects de l'énergie	116
Tableau 17. Description des cinq enquêtes utilisées.	122
Tableau 18. Type de variables utilisées pour construire une représentation quantitative de « la population et ses modes de vie » et leur disponibilité dans chaque enquête.....	123
Tableau 19 : Exemple de matrice représentant une population (trois individus, trois variables).....	125
Tableau 20 : Restitution des résultats des arbres de décisions construits pour la variable à expliquer et les six variables explicatives.....	139
Tableau 21 : Exemples d'hypothèses contrastées pour deux variables relatives aux modes de vie (variables à l'échelle de la population)	144
Tableau 22 : Récapitulatif de quatre stratégies de documentation de la transformation de matrices	149
Tableau 23 : Extraction des hypothèses de localisation des ménages dans les cinq scénarios du projet PROMOV	151
Tableau 24 : Modalités de la variable "tranche de taille de l'unité urbaine"	152
Tableau 25 : Évolution des parts relatives de la population dans chaque tranche de taille d'unité urbaine entre 1975 et 2013. Source : recensements de la population 1975,1982, 1990, 1999 et 2013.....	155
Tableau 26 : Évolution du nombre d'habitants par tranche de taille d'unité urbaine entre 1975 et 2013. Source: recensements de la population 1975,1982, 1990, 1999 et 2013.	155
Tableau 27 : Détail de la composition des segments. <i>PR = personne de référence</i>	156
Tableau 28 : Matrice des vitesses de transition quinquennale pour le scénario de dé-densification.	160
Tableau 29 : Matrice des vitesses de transition quinquennale pour le scénario de densification.	161
Tableau 30 : Distribution de la population par tranche de taille d'unité urbaine pour les trois micro-scénarios. <i>Résultats de simulation</i>	162
Tableau 31 : Description des six principales étapes du processus de modélisation.	165
Tableau 32 : Légende des variables de la Figure 40.	169

Tableau 33 : Résumé des hypothèses des deux scénarios alternatifs.....	176
Tableau 34 : Résumé des hypothèses du scénario de référence.	178
Tableau 35 : Récapitulatif des indicateurs des usages énergétiques résidentiels retenus dans le cadre de l'exercice "France 2072".....	182
Tableau 36 : Composition des indices d'équipements et d'achats	183
Tableau 37 : Récapitulatif des indicateurs des usages énergétiques indirects liés à la demande en biens retenus dans le cadre de l'exercice "France 2072".....	184
Tableau 38 : Récapitulatif des indicateurs des usages énergétiques liés à la mobilité retenus dans le cadre de l'exercice "France 2072"	187
Tableau 39 : Suite de variables du processus « ménages » pour l'exercice « Dessiner une France zéro émission à l'horizon 2072 ».	188
Tableau 40 : Suite de variables du processus « individu » pour l'exercice « Dessiner une France zéro émission à l'horizon 2072 »	190
Tableau 41 : Tableau récapitulatif des variables représentatives des dimensions des modes de vie dans les deux processus de simulation	192
Tableau 42 : Extrait de la matrice de la distance des déplacements locale pour le motif "achats" (4 segments sur 71).....	203
Tableau 43 : Extrait de la matrice transformée pour le scénario « collective society à l'horizon 2072 (les deux autres scénarios utilisant la matrice initiale).....	204
Tableau 44 : Format type d'une matrice population à partir d'un extrait de matrice issue du processus "ménage".....	208
Tableau 45 : Synthèse des comportements et infrastructures représentées par les trois modèles sur les trois grands postes de la demande énergétique.....	230
Tableau 46 : Choix de modélisation effectivement réalisés dans l'exercice	233
Tableau 47 : Dimensions des modes de vie prises en compte dans l'exercice de prospective présenté au chapitre 4 (cases cochées) et exemples de variables issues des enquêtes nationales pour les quinze dimensions des modes de vie.....	248
Tableau 48 : Quelques principes et mesures d'une consommation à faible impact environnemental (voir aussi [ADEME, 2014])	249
Tableau 49 : Disponibilité de variables pour les différentes dimensions des modes de vie.	251

Tableau 50 : Exemples de décisions relatives aux différentes dimensions des modes de vie à l'échelle individuelle.....	253
Tableau 51 : Exemples d'opportunités et contraintes associées à des dimensions des modes de vie dans le cadre d'une décision de choix d'un logement pour un couple.....	255
Tableau 52 : Exemples d'opportunités et contraintes associées au contexte extérieur dans le cadre d'une décision de choix d'un logement pour un couple.	256
Tableau 53 : Liste des options repérées et retenues par le ménage compte tenu des contraintes et opportunités auxquels il a affaire.	256
Tableau 54 : Exemples de perceptions des options et de préférences du ménage dans le cadre de la décision de choix de logement.	257
Tableau 55 : Exemples de mesures susceptibles d'influencer les modes de vie pour réduire ou diminuer les usages.	262
Tableau 56 : Tableau de correspondances entre les indicateurs d'analyse et les dimensions des modes de vie définies dans la section 1.	299
Tableau 57 : Equivalence entre qualificatifs des variables.....	302
Tableau 58 : Résumé du changement de mode de vie du couple considéré	304
Tableau 59 : Catégories socioprofessionnelles et types de composition des ménages distingués.....	306
Tableau 60 : Modalités de la variable "tranche de taille de l'unité urbaine"	312
Tableau 61 : Modalités de la variable "tranche de taille de l'unité urbaine"	313
Tableau 62 : Hypothèses menant à la surface totale de logement pour les trois scénarios.	314
Tableau 63 : Hypothèses menant à la distance totale parcourue par la population pour les trois scénarios	314

FIGURES

Figure 1 : Reproduction et traduction de l'auteur du cadre conceptuel proposé par Schipper et al (1989)	33
Figure 2 : Représentation des dimensions des modes de vie les plus structurantes (portée annuelle à pluriannuelle)	34
Figure 3 : Représentation des dimensions des modes de vie à portée quotidienne à annuelle	35

Figure 4 : Consommation d'énergie et revenus par habitant dans six pays industrialisés entre 1960 et 2011 (données : Banque mondiale).....	45
Figure 5 : Les facteurs explicatifs de la facture énergétique des ménages selon la grille de lecture des modes de vie proposée (figure extraite de [Maresca et Dujin, 2014]).....	47
Figure 6 : Usage du temps et de l'énergie aux Etats-Unis en 1985-1986 (extrait de [Schipper et al., 1989])	49
Figure 7 : Structure de l'emprise énergétique des ménages français en 2005, figure extraite de (Pourouchottamin et al., 2013)	52
Figure 8 : Représentation de la position des modes de vie dans la chaîne énergétique.	56
Figure 9 : Les étapes de la méthode des scénarios (à partir de [Julien et al., 1975]).....	63
Figure 10 : Représentation graphique de l'analyse des exercices de prospective.....	72
Figure 11 : Typologie de scénarios proposée par Börjeson et al. (2006) (figure extraite de la publication)	77
Figure 12 : Représentation des neuf milieux actuels et des trois milieux émergents selon le niveau socioéconomique et la dynamique du changement socioculturel (système de valeurs). Source : Sociovision (2011).....	82
Figure 13 : Exemple de trajectoire d'évolution de l'empreinte matérielle pour Inke, citoyenne Finlandaise ayant participé au projet. Source : Hicks et al. (2012).	84
Figure 14 : Représentation du modèle énergétique (et des émissions) orienté "modes de vie" (extrait de [Weber et Perrels, 2000]).	86
Figure 15. Projections issues du projet ETHEL (extrait de [Raux et Traisnel, 2007]).....	88
Figure 16 : Représentation du processus de modélisation mis en œuvre par Eyre et al. (2011) (extrait de cette publication).	89
Figure 17 : Représentation de l'articulation des modules du modèle IMAGE (source : <i>PBL Netherlands Environmental Assessment Agency</i> , extrait de [Stehfest et al., 2014]).	91
Figure 18 : Cas des modèles proposant une représentation explicite des modes de vie.	98
Figure 19 : Cas d'une représentation des modes de vie à partir d'indicateurs relatifs aux usages.	98
Figure 20. Nombre de trajets par âge.....	124
Figure 21. Surface de logement par personne selon la taille du ménage.	124

Figure 22. Deux représentations (quasi-)équivalentes d'une population et de ses pratiques	126
Figure 23 : Illustration de l'ajout d'une variable à une matrice population simple.	129
Figure 24 : Représentation du processus en série d'enrichissement d'une matrice population	129
Figure 25. Format-type d'une matrice de corrélations	131
Figure 26 : Exemple de l'ajout d'une variable z à une matrice population à deux variables (x et y).	132
Figure 27. Arbre de régression relatif à la surface de logement par personne en France et contenu de la matrice de corrélations associée. Source des données : enquête logement 2006 de l'Insee.	136
Figure 28 : Suite de variables retenue pour l'exemple présenté.	140
Figure 29 : Représentation synthétique du principe de base de la simulation.	141
Figure 30 : Représentation de l'introduction d'un changement des modes de vie portant sur la variable v dans le processus en série aboutissant à une représentation détaillée de la population et de ses modes de vie.	143
Figure 31 : Représentation des modalités de formulation des hypothèses selon l'approche retenue pour la démarche prospective.....	146
Figure 32 : Evolution de la répartition de la population de France métropolitaine urbaine et rurale entre 1936 et 1990. Source : Insee, Ined.	150
Figure 33 : Valeurs cibles de distribution de la population après transformation de la matrice pour 2050 d'après l'interprétation de l'hypothèse de la vision « société individu augmenté » du projet PROMOV.	153
Figure 34 : État de la matrice initiale et de la matrice après transformation pour la variable "tranche de taille de l'unité urbaine". Source des données pour la matrice initiale : Enquête logement 2006.....	154
Figure 35: Profils de localisation des ménages en 2013 pour les 20 segments de la population. Source : enquête logement 2013.....	157
Figure 36: Dynamiques de changements des profils de localisation des ménages entre 1984 et 2014. L'axe des ordonnées couvre l'intervalle $[-7,5\%; +7,5\%]$. Source : enquêtes logements 1984 et 2013.	158

Figure 37: Principe de définition des hypothèses de dynamiques de changement de localisation annuelles pour un segment de population à partir des dynamiques de périodes passées.	159
Figure 38 : Représentation des étapes de la modélisation de scénarios d'évolution des modes de vie.	166
Figure 39 : Exemple de l'évolution du volume du fichier représentant la matrice population avec le nombre de lignes (exemple issu de l'exercice présenté dans le chapitre 4)	168
Figure 40 : Suivi de la taille de la matrice population et du temps de calcul au cours de l'ajout de 7 variables à une matrice initiale. Légende du nom des variables : voir Tableau 32.	169
Figure 41 : Volume quotidien d'eau chaude à 60°C puisé par personne en fonction de la taille du ménage. Source : EDF R&D Guillaume BINET © Copyright EDF ; graphique extrait de Allibe (2012).	181
Figure 42 : Parts modales par tranche de distance pour la mobilité des personnes. Source des données : enquête nationale transports et déplacements 2008.	186
Figure 43 : Représentation du processus "ménage" jusqu'aux variables-résultats	189
Figure 44 : Représentation du processus "individus" jusqu'aux variables-résultats (les retraits de variables ne sont pas représentés)	191
Figure 45: Structure des âges en 2072 pour les trois scénarios et comparaison à la population actuelle	194
Figure 46 : Hypothèses de distribution des ménages par taille pour les trois scénarios (et situation actuelle)	195
Figure 47. Proportions cibles de la population dans chaque tranche de taille d'unité urbaine en 2072 selon les scénarios.....	196
Figure 48. Proportions cibles de la population dans chaque catégorie d'aire urbaine en 2072 selon les scénarios.....	196
Figure 49. Hypothèses de distribution de revenus en 2072 pour les trois scénarios.....	197
Figure 50 : Transformation des indices d'équipements dans le scénario "digital society" : l'exemple des équipements électroménagers (à gauche) et informatiques (à droite)	199
Figure 51 : Représentation graphique de la transformation de la matrice du nombre de voyages longue distance par an pour les trois scénarios à l'horizon 2072	200

Figure 52 : Représentation graphique de la transformation de la matrice de la part des déplacements longue distance par tranche de distance pour les trois scénarios à l'horizon 2072	201
Figure 53 : Représentation partielle des matrices initiale (I) et transformée (T ; pour le scénario "collective society") relatives à la variable « situation de l'individu », parts en 2072 (5 segments sur 36)	202
Figure 54 : Représentation des matrices du nombre de déplacements quotidiens pour le motif "achats" à l'horizon 2072 pour les trois scénarios (la matrice transformée est celle du scénario « <i>digital society</i> »)	205
Figure 55 : Quelques trajectoires d'évolution possibles d'un indice fictif entre 2010 (valeur 1) et 2072 (valeur 2).....	207
Figure 56 : Principe de fonctionnement du module de dynamique du parc de logements, illustration pour un type de logement (p. ex. appartements) pour la période t à $t + 1$	209
Figure 57 : Surface totale de logement entre 2010 et 2072 pour les trois scénarios	212
Figure 58 : Nombre de logements (à gauche) et surfaces moyennes par individu et par logement (à droite) à l'horizon 2072 pour les trois scénarios	212
Figure 59 : Indices d'évolution de la demande en eau chaude sanitaire et en électricité spécifique pour les trois scénarios à l'horizon 2072.	213
Figure 60 : Taille du parc de véhicules automobiles en 2072 selon les trois scénarios.....	214
Figure 61 : Consommation de six types de biens durables pour les trois scénarios et la situation actuelle (indices d'évolution des achats annuels).	215
Figure 62 : Demande en mobilité locale en milliards de km.passager pour les trois scénarios à l'horizon 2072.	216
Figure 63 : Indices d'évolution des composantes de la mobilité à longue distance en 2072 selon les trois scénarios.....	217
Figure 64 : Comparaison des hypothèses de trois scénarios énergétiques à l'échelle de la France avec les résultats de simulation pour la demande en logements	221
Figure 65 : Comparaison des hypothèses de trois scénarios énergétiques à l'échelle de la France avec les résultats de simulation pour la demande en mobilité courte et longue distance (indice d'évolution)	223
Figure 66 : Comparaison des hypothèses de deux scénarios énergétiques à l'échelle de la France avec les résultats de simulation pour la demande en mobilité individuelle courte (à gauche) et longue distance (à droite)	224

Figure 67 : Schéma de la combinaison des trois modèles dans l'exercice "Dessiner une France zéro carbone à l'horizon 2072"	228
Figure 68 : Représentation du rôle de chacun des trois modèles le long de la "chaîne énergétique".	229
Figure 69 : Hypothèses de parts modales par tranche de distance (graphique de gauche obtenu à partir des données de l'enquête nationale transports et déplacements 2008)	232
Figure 70 : Consommation d'énergie finale théorique en 2072 pour les trois scénarios d'évolution des modes de vie (données : Edi Assoumou).	235
Figure 71 : Coût global de l'atteinte de l'objectif « zéro émission » pour les scénarios « <i>collective society</i> » et « <i>digital society</i> » (avec ou sans demande élastique) à l'horizon 2072 (données : Rémy Doudard, Ariane Millot, Edi Assoumou).....	236
Figure 72 : Proposition de cadre conceptuel de décision relative aux modes de vie	254
Figure 73 : Cartographie de l'influence possible de politiques publiques	261
Figure 74 : Cadre conceptuel de l'approche proposée "consumer lifestyle approach" par Bin et Dowlatabadi (2005) (figure extraite de la publication)	297
Figure 75 : Représentation du cadre conceptuel proposé par Weber et Perrels (2000). Extrait de ladite publication.....	298
Figure 76 : Représentation de la mise en œuvre d'un scénario par la modification de paramètres (extrait de [Stehfest et al., 2014]).....	300
Figure 77 : Représentation des effets d'un changement de mode de vie sur les indicateurs des usages énergétiques directs et indirects	305
Figure 78 : Copie d'écran du fichier de pilotage de la génération de matrices de corrélations.	308
Figure 79 : Copie d'écran du fichier de pilotage de la fonction de reconstruction de la population.....	309

Nota bene : La reproduction dans cette version en ligne du manuscrit des figures extraites de publications a été explicitement autorisée par les éditeurs et/ou auteurs (selon les cas).

ANNEXES

Annexe 1. Deux exemples de cadres conceptuels

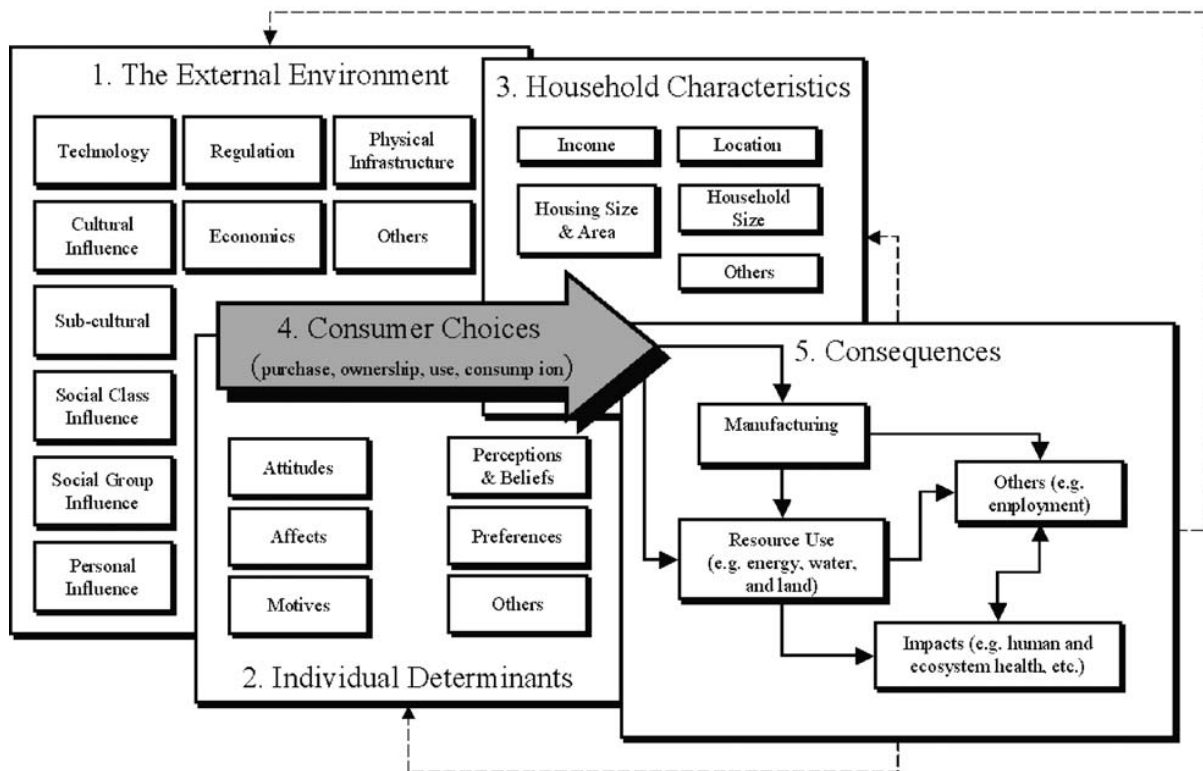


Figure 74 : Cadre conceptuel de l'approche "consumer lifestyle approach" proposée par Bin et Dowlatabadi (2005) (figure extraite de la publication). Les auteurs ajoutent les remarques suivantes : "The "1. External Environment" is partly from Fig. 1-1. A simplified decision process framework for studying Consumer Behavior (Loudon et Bitta, 1993, p. 22). The "2. Individual Determinants" is partly from Fig. 1 Rationality for Economists (McFadden, 1999). The dashed line indicates feedback from "Consequences" to other CLA components."

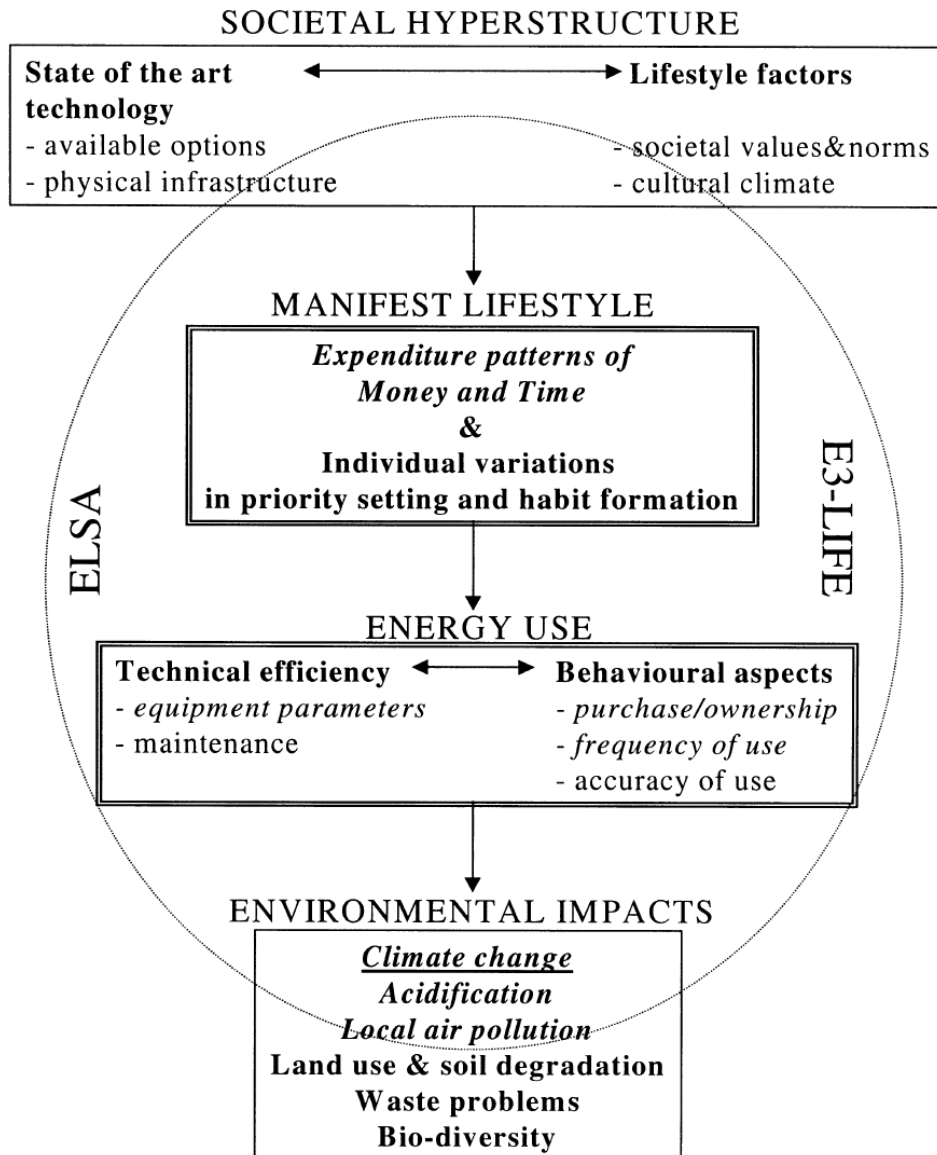


Figure 75 : Représentation du cadre conceptuel proposé par Weber et Perrels (2000). Extrait de ladite publication.

Annexe 2. Correspondance des indicateurs d'analyse de l'étude des exercices de prospective français et des dimensions des modes de vie

Le Tableau 56 met en correspondance les indicateurs de l'analyse présentée dans la partie 1.3.2 avec les quinze dimensions des modes de vie définies dans la section 1.1. Notons que si toutes les dimensions ne sont pas représentées, les deux dimensions « transversales » (Pratiques de mobilité et rapport à l'espace et pratiques de consommation) à sept dimensions sont couvertes par des indicateurs. Finalement, 12 des 15 dimensions sont ainsi couvertes directement ou indirectement par les neuf indicateurs d'analyse.

Tableau 56 : Tableau de correspondances entre les indicateurs d'analyse et les dimensions des modes de vie définies dans la section 1.

Dimensions	Indicateur	Couverture
Comportements démographiques		
Niveau de vie, revenus et distribution		
Pratiques de cohabitation	Taille du ménage	Directe
Choix des modalités d'habitation	Surface de logement, type d'habitat, choix de localisation	Directe
Pratiques d'équipement et rapport aux technologies	(Structure de consommation)	Partielle
Attitude à l'égard du travail		
Pratiques culturelles et loisirs		Indirecte
Pratiques alimentaires	Régime alimentaire	Directe
Pratiques de sociabilité		Indirecte
Pratiques relatives à la santé, attitudes à l'égard du corps		Indirecte
Pratiques d'éducation des enfants et de formation		Indirecte
Implications citoyennes		Indirecte
Pratiques de mobilité et rapport à l'espace	Conception de la mobilité	Directe
Pratiques de consommation	Organisation de la production de biens et services, structure de consommation	Directe
Pratiques touristiques et du voyage de loisir	Pratique du voyage de loisirs	Directe

Annexe 3. Complément relatif au modèle IMAGE

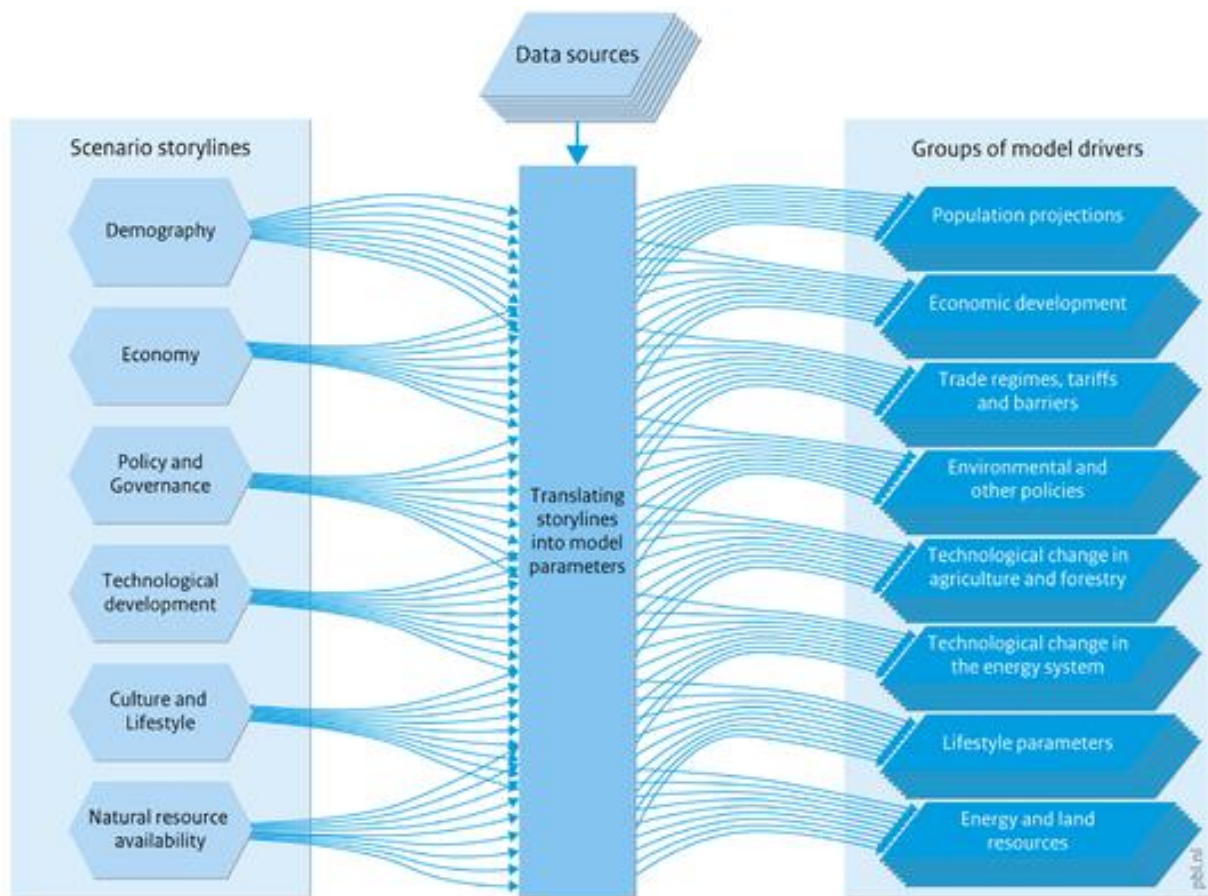


Figure 76 : Représentation de la mise en œuvre d'un scénario par la modification de paramètres (extrait de [Stehfest et al., 2014]).

Annexe 4. La notion de variable et ses qualificatifs

Le glossaire international des mots-clés de la prospective territoriale définit une *variable* comme un « *élément du système qui exerce ou est susceptible d'exercer une influence sur le problème étudié* » ajoutant ce commentaire : « *Une variable n'est pas la réalité mais un moyen de l'observer, une représentation.* » (Destatte et Durance, 2009).

Dans un système (en prospective), le pendant de la variable est l'*invariant*, désignant « *un élément qui demeure constant durant une durée donnée. (...) Selon l'échelle de temps (horizon) ou d'espace utilisée, l'invariant peut changer d'état et devenir variant. La qualité d'invariant dépend du « point de vue » de l'observateur et de ses connaissances à un moment donné.* » (Destatte et Durance, 2009). Dans (Le Gallic et al., 2015), nous soulignons l'importance que revêt le choix d'attribuer la qualité de variable ou d'invariant à certains éléments du système en vue de rendre compte d'évolution des modes de vie.

Que ce soit dans la démarche prospective ou dans les analyses statistiques, plusieurs qualificatifs sont utilisés pour distinguer les variables tantôt d'après leur fonction dans l'analyse à laquelle elles prennent part, tantôt d'après les échelles de mesures des données, c'est-à-dire des valeurs que peut prendre la variable.

Cette seconde classification est notamment importante car elle détermine les modalités d'analyse statistique de la variable. On distingue des variables nominales, des variables ordinales, des variables discrètes et des variables continues. L'échelle d'une variable nominale « *permet simplement de classer les individus dans des catégories mutuellement exclusives, d'établir une nomenclature* » (Bressoux, 2008), alors que celle d'une variable ordinale permet en plus « *d'ordonner les individus les uns par rapport aux autres* » (Bressoux, 2008). Les catégories dans lesquelles sont classées les individus sont aussi appelées *modalités*. Une variable quantitative repose sur une échelle d'intervalle qui « *réalise une relation métrique entre les individus* » (Bressoux, 2008). Les variables quantitatives peuvent être discrètes ou continues. « *Une variable est dite discrète si, entre deux valeurs potentiellement observables, il existe une valeur qui n'est pas potentiellement observable* (Kleinbaum, Kupper, Muller & Nizam, 1998). (...) *Dans le cas continu, l'ensemble des valeurs de la variable n'est pas dénombrable. La variable peut prendre des valeurs entières, mais aussi n'importe quelle valeur intermédiaire.* » (Bressoux, 2008). Plusieurs termes sont employés pour qualifier ces différents types de variables (cf. Tableau 57 pour les équivalences).

Tableau 57 : Equivalence entre qualificatifs des variables

Nomenclatures et équivalences			Remarque 1	Remarque 2
Nominale	Qualitative	Catégorielle	Les modalités peuvent en pratique être exprimées en chiffres (sans que la variable soit numérique)	Si la variable a seulement deux modalités, elle peut alors être <i>binaire</i>
Ordinale				
Discrète	Quantitative		Numériques (nécessairement)	-
Continue				

Les variables sont également qualifiées selon leur rôle dans l'analyse : elles peuvent ainsi être la *variable à expliquer*, pour celle qui fait l'objet de l'analyse statistique, ou une *variable explicative*, qui est potentiellement influente. D'autres termes sont également utilisés pour ces qualificatifs. La variable à expliquer est aussi appelée variable cible, variable réponse, variable d'intérêt, variable dépendante ou variable à prédire. Les variables explicatives peuvent aussi être nommées prédicteurs, variables indépendantes ou descripteurs.

Annexe 5. Dimensions des modes de vie : intitulés et questions

DIMENSIONS	QUESTIONS
Comportements démographiques	Qui sont-ils ?
Niveau de vie, revenus et distribution	
Pratiques de cohabitation	Avec qui vivent-ils ?
Choix des modalités d'habitation	Comment se logent-ils ?
	Où vivent-ils ?
Pratiques d'équipement et rapport aux technologies	Que possèdent-ils ?
Attitude à l'égard du travail	Que font-ils ?
Pratiques culturelles et loisirs	
Pratiques alimentaires	
Pratiques de sociabilité	
Pratiques relatives à la santé, attitude à l'égard du corps	
Pratiques d'éducation des enfants et de formation	
Implications citoyennes	
Pratiques de mobilité et rapport à l'espace	Où le font-ils ?
	Comment se déplacent-ils ?
Pratiques de consommation	Que consomment-ils ?
Pratiques touristiques et du voyage de loisir	Comment voyagent-ils ?

Annexe 6. Illustration des conséquences d'un changement de mode de vie à l'échelle individuelle

La situation étudiée est celle du déménagement d'un couple de jeunes actifs du centre d'une grande ville vers sa périphérie¹²². Ce déménagement est motivé par les aspirations combinées du couple à habiter une maison plutôt qu'un appartement et à cultiver un potager. A loyer équivalent et tout en conservant leurs emplois actuels, ce déménagement constituait la solution la plus acceptable. Ce changement d'habitat est accompagné d'un changement de mode de vie plus global (cf. Tableau 58), du fait d'une modification des opportunités et contraintes d'accès à différents services et activités. Par exemple, le jardinage devient une activité régulière du couple alors que les sorties en cafés et restaurants se raréfient du fait de l'accès restreints à ces services (p. ex. temps d'accès allongé, difficulté de stationnement, peu d'amis pour le partager à proximité). De même, un accès plus délicat à la gare et – dans une moindre mesure – à l'aéroport conduit le couple à réduire la fréquence de ses voyages le week-end, qui par ailleurs se font plus fréquemment en voiture. Les déplacements domicile-travail et domicile-commerces s'étant nettement allongés et en l'absence de facilités d'accès à des lignes de transports en commun adaptées, les deux jeunes actifs utilisent désormais systématiquement l'automobile pour ces déplacements, alors qu'ils pouvaient s'y rendre à pied ou en transport en commun auparavant. Pour cette raison, le couple fait l'acquisition d'un second véhicule. Le fait de disposer d'un logement plus grand et de ne plus disposer d'une laverie commune les conduit également à s'équiper d'une machine à laver et de meubles supplémentaires. Ils s'équipent également en matériel de jardinage. La Figure 77 propose une représentation des différents effets du changement envisagé dans cet exemple sur les indicateurs des usages énergétiques. Les effets portent sur la mobilité des individus, le logement, la consommation de biens et de services¹²³.

Tableau 58 : Résumé du changement de mode de vie du couple considéré

	Situation 1	Situation 2
<i>Qui ?</i>	Deux individus âgés entre 25 et 30 ans, en couple	
<i>Statut d'activité</i>	Salariés	Salariés (situation inchangée)
<i>Localisation</i>	Centre-ville d'une ville de plus de 200 000 habitants	Périphérie d'une ville de plus de 200 000 habitants (15 km du centre de cette ville)

¹²² Signalons que d'autres types de changements entraînant une modification des modes de vie auraient pu être envisagés ici, tels que : le passage à la retraite, l'arrivée d'un enfant, le choix de travailler à mi-temps pour se consacrer à d'autres activités, etc.

¹²³ Notons que nous nous restreignons ici aux effets principaux. D'autres effets pourraient être mentionnés, comme ceux portant sur l'usage d'électricité spécifique (p. ex. augmentation de la surface à éclairer, hausse du temps passé à la maison).

Type d'habitat	Appartement (50 m ²)	Maison (80 m ²) avec jardin
Activités régulières prédominantes	Course à pied, sorties au cinéma, en cafés et restaurants	Course à pied, sorties chez des amis, réceptions d'amis, jardinage, télévision
Activités exceptionnelles	Week-end réguliers en France (en train) et parfois en Europe	Week-end moins fréquents

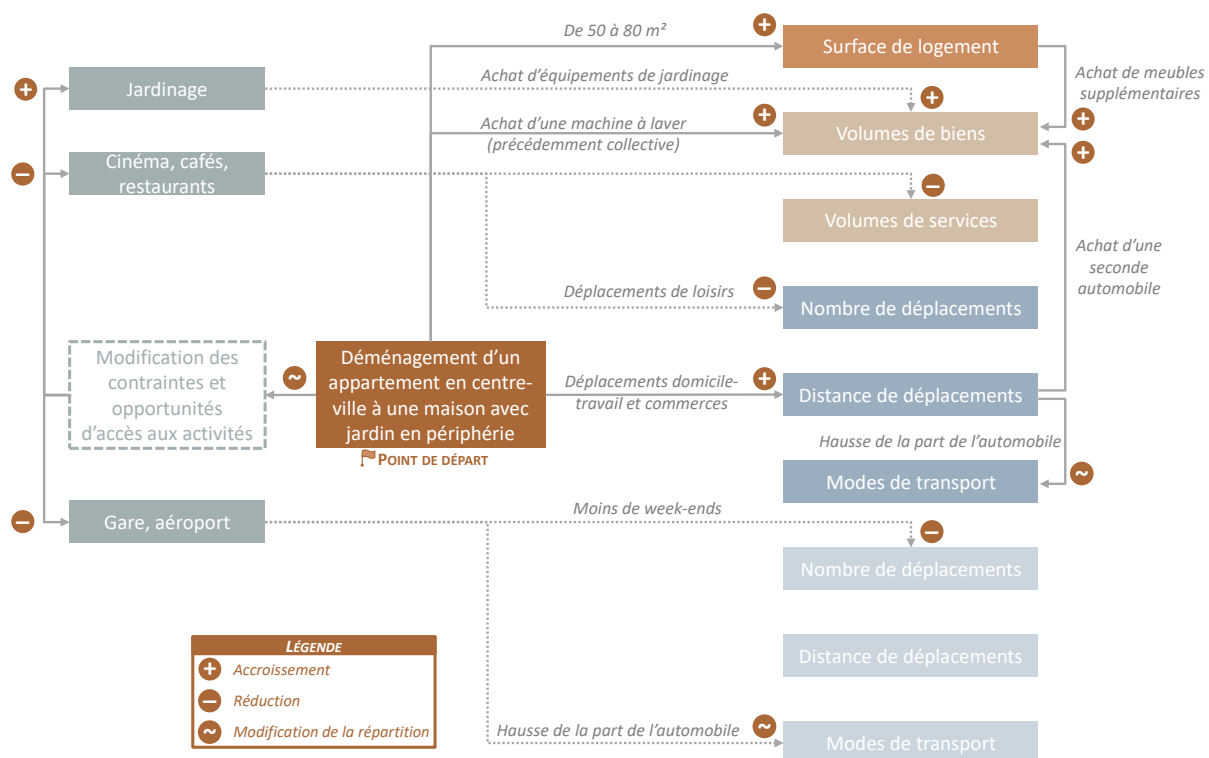


Figure 77 : Représentation des effets d'un changement de mode de vie sur les indicateurs des usages énergétiques directs et indirects

Annexe 7. Segmentation de la population

Tableau 59 : Catégories socioprofessionnelles et types de composition des ménages distingués

Code	Catégories socioprofessionnelles
1	Agriculteurs exploitants
2	Artisans, commerçants et chefs d'entreprise
3	Cadres et professions intellectuelles supérieures
4	Professions intermédiaires
5	Employés
6	Ouvriers
7	Retraités
8	Autres personnes sans activité professionnelle

Code	Composition des ménages
1	Personne seule
2	Couple sans enfant
3	Famille monoparentale
4	Couple avec enfant
0	Autre situation

Annexe 8. Matériel utilisé et outils développés

L'ensemble du processus de simulation repose sur l'utilisation du logiciel d'analyse statistique *R*. L'outillage est composé :

- Des différents fichiers stockant les résultats des enquêtes de l'Insee exploitées ;
- D'une arborescence préétablie des fichiers stockés et à stocker ;
- De cinq scripts d'exploitation des enquêtes (un par enquête) : ceux-ci permettent d'harmoniser les variables entre enquêtes pour rendre leur combinaison possible, de sélectionner (très largement) les variables qui sont incluses dans les analyses, de créer de nouvelles variables par combinaison d'autres variables lorsque cela est jugé nécessaire. A noter que chaque nouvelle édition d'une des enquêtes exploitée requiert l'écriture d'un script. De ce fait, d'autres scripts ont également été préparés ultérieurement ;
- D'une fonction permettant de générer les matrices de corrélations : celle-ci utilise l'algorithme *RPART* de *R* comme précisé précédemment et comprend des scripts de post-traitement afin de consigner l'information souhaitée dans des matrices au format défini ;
- D'une fonction exécutant une séquence d'ajout de variables à une matrice population en exploitant les matrices de corrélations à partir d'une matrice population de départ. Les matrices population de départ sont construites spécifiquement pour chaque processus, généralement à partir de données démographiques ;
- D'un fichier de pilotage de l'ensemble du processus (présenté sous la forme d'un tableur). Celui-ci contient une partie destinée à piloter la génération des matrices de corrélations : paramétrage de l'élagage des arbres (taille maximale ou paramètre d'optimisation), des variables à prendre en compte, du type de résultats à consigner dans la matrice (moyenne ou distribution de valeurs), nom de la variable de pondération à prendre en compte. L'autre partie est destinée aux modalités de reconstruction de la matrice population, et essentiellement à la définition de l'ordre d'ajout des variables ;
- De plusieurs petits scripts d'analyse des matrices population finales pour la production de tableaux de résultats synthétiques.

Annexe 9. Aperçu du fichier de pilotage du processus

Le processus de modélisation fait intervenir un fichier de pilotage de l'exécution des deux fonctions assurant respectivement la génération de matrices et l'enrichissement de la matrice population.

Pour la génération des matrices, le fichier de pilotage permet de déterminer par exemple les modalités d'élagage des arbres, la taille minimale des groupes et surtout les variables à utiliser pour les arbres de décisions. Ces variables ne peuvent être que celles qui seront déjà disponibles dans la matrice population au moment de l'ajout d'une variable, c'est-à-dire les variables de la matrice initiale (âge, sexe) et celles qui sont situées en amont dans la suite de variables définie dans l'étape précédente. La Figure 78 est une copie d'écran du fichier de pilotage utilisé. Chaque ligne correspond à une variable dont on souhaite obtenir une matrice. Les colonnes désignent, dans l'ordre : une commande d'exécution ou non de la ligne, le nom de la variable à expliquer, le nom de l'enquête concernée, le nom du jeu de données à utiliser (issu du traitement des jeux de données des enquêtes), la méthode d'analyse statistique (p. ex. « 0 » : fréquences de distribution de chaque modalité ; « 1 » : moyenne), la méthode d'analyse RPART, un paramètre de complexité de l'arbre (0 signifie l'arbre maximal, paramètre généralement utilisé), un paramètre de limite à l'extension des arbres (taille minimale des segments), un paramètre d'élagage de l'arbre (une valeur entière différente de 1 indique le nombre de segments que l'on souhaite obtenir ; le 1 signifie l'emploi d'une méthode d'optimisation de l'élagage de l'arbre – sélection de l'arbre le plus pertinent), la listes des variables explicatives candidates et – si nécessaire – la variable de pondération à prendre en compte.

Yor N	variable. name	survey. name	database. name	method. (analysis)	method. (rpart)	cp. (rpart)	minseg. (rpart)	elag. (rpart)	listofvariables	weights
N	situam	rg2009	INDR	0	anova	0	100	44	ageq+sexe	
N	ageprq	rg2009	INDR	0	anova	0	100	1	ageq+sexe+situam	
N	cs8pr	rg2009	INDR	0	anova	0	100	1	ageq+sexe+situam+ageprq	
N	sdnump	bdf2010	DPM	1	anova	0	50	1	ageprq+cs8pr+couplepr+tu99+inl4+nperm	pondmen

Figure 78 : Copie d'écran du fichier de pilotage de la génération de matrices de corrélations.

Pour l'étape d'enrichissement de la matrice population, le fichier de pilotage permet de préciser les modalités d'exécution du processus. La Figure 79 est une copie d'écran du fichier de pilotage utilisé. Chaque ligne correspond à l'ajout d'une variable. Les variables sont ajoutées une à une du haut en bas. Les colonnes désignent, dans l'ordre : le nom de la suite de variables considérée, le type d'opération à effectuer sur la matrice population (ajout ou retrait d'une variable), le nom de la variable concernée, un paramètre de troncature de la population (pour réduire le volume du fichier, les segments les plus petits peuvent être supprimés), le code de l'enquête concernée, un paramètre indiquant si le fichier matrice

population est à stocker ou non, le nom du sous-répertoire où récupérer la matrice avant l'opération, le nom du sous-répertoire où la stocker en sortie (si elle est à stocker), la localisation des matrices transformées à récupérer si nécessaire, et le nom du répertoire dans lequel stocker l'ensemble des sous-répertoires.

scenario.id	operation	variable	del.small.limits	survey	create.csv	directory.inputs	directory.outputs	matrix.inputs	file.name
M.R.2010	a	ageprq	1	rg2009	Y	0.initial	2.ageprq		upto2072
M.R.2010	a	couplepr	1	rg2009	Y	2.ageprq	3.couplepr		upto2072
M.R.2010	a	cs8pr	1	rg2009	Y	3.couplepr	7.cs8pr		upto2072
M.R.2010	a	tu99	1	rg2009	Y	7.cs8pr	9.tu99	/M.A.2072	upto2072
M.R.2010	a	numcom_AUCat	1	rg2009	Y	9.tu99	9.numcom_AUCat	/M.A.2072	upto2072
M.R.2010	a	inl4	1	rg2009	Y	9.numcom_AUCat	10.inl4		upto2072
M.R.2010	a	spp	1	el2006	Y	10.inl4	15.spp		upto2072

Figure 79 : Copie d'écran du fichier de pilotage de la fonction de reconstruction de la population. Les variables sont, dans l'ordre : l'âge de la personne de référence du ménage, une variable relative à l'existence d'un conjoint à la personne de référence, la catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence, la taille de l'unité urbaine d'habitation (8 classes), la catégorie d'aire urbaine de l'habitation (4 classes), le type d'habitat (maison individuelle ou appartement) et la surface de logement par personne. Cette dernière est l'indicateur des usages énergétiques souhaité.

Annexe 10. Stratégies de gestion de la taille de la matrice population

Plusieurs stratégies ont donc été mise en place pour contenir le nombre de lignes de la matrice population :

- La suppression systématique des lignes sans individu représentés ;
- Le regroupement de modalités : les variables contenant de nombreuses modalités (ex. âge, catégorie socioprofessionnelle à 24 ou 42 classes) accroissent très rapidement la taille de la matrice population. Des variables à codes regroupés sont donc utilisées ou créées (ex. âge quinquennal, catégorie socioprofessionnelle à 8 classes) ;
- La division des processus de simulation : cette stratégie consiste à préférer à une unique suite de variables menant à plusieurs indicateurs de la demande en services énergétique la réalisation de plusieurs suites courtes menant chacun à un seul indicateur ;
- La suppression de variables intermédiaires : certaines variables peuvent être importante pour l'ajout d'une variable et n'avoir plus d'influence significative sur l'ajout des suivantes. Dans ce cas, nous pouvons choisir de la retirer de la matrice population, réduisant ainsi sa taille ;
- La troncature : la taille des groupes représentés par chaque ligne est très variable. A certains moments du processus, un quart des lignes peut représenter 99% de la population. Nous avons donc parfois eu recours à une troncature des lignes aux plus faibles effectifs. Cette opération est contrôlable en définissant la part de la population que l'on souhaite conserver (ex. 99%) pour éviter d'influencer le résultat. Dans les derniers exercices réalisés, nous avons néanmoins abandonné peu à peu l'usage de cette stratégie ;
- La limitation du nombre de variables utilisées pour chaque indicateur : c'est le levier à la fois le plus déterminant (car intervenant en amont des autres) et le plus critique. Il s'agit ici d'être plus sélectif dans la sélection des variables tout en limitant l'influence de cette sélectivité sur le résultat. Cet arbitrage poussera par exemple à éviter d'utiliser deux variables aux effets proches sur la variable finale (et qui peuvent donc être représentés par une seule de ces deux variables) ou encore à hiérarchiser les variables intégrées à la suite pour ôter les moins importantes.

Notons que l'ordre dans lequel nous les avons présentées ci-dessus n'est pas anodin : les premières sont les moins critiques, les moins influentes sur le résultat et sont donc mises en œuvre sans ou avec peu de retenue. Les deux dernières en revanche peuvent être potentiellement très influentes. Ces deux dernières pouvant être considérées comme concurrentes, nous avons – au fil des exercices – de plus en plus travaillé sur la sélection des variables plutôt que sur la troncature. Cette dernière nous a en effet semblé avoir des effets plus significatifs sur la stabilité des résultats.

Annexe 11. Deux variables pour caractériser les choix de localisation des ménages

Les organismes de recherche et les institutions publiques¹²⁴ souhaitant suivre les évolutions du territoire national, de territoires particuliers, ou encore étudier certaines formes de déterminismes géographiques distinguent plusieurs types d'espaces géographiques (p. ex. espace urbain, espace rural ; banlieue, ville centre). L'étude de ces espaces et leur suivi nécessitent d'avoir recours à une multitude d'indicateurs et de variables qui ont été déployés dans les statistiques publiques. Les différentes classifications ont chacune leurs domaines d'intérêt. Dans le cadre de nos travaux, nous avons sélectionné deux d'entre elles pour caractériser l'espace dans lequel résident les ménages : la tranche de taille de l'unité urbaine et la catégorie d'aire urbaine. Ces deux variables, en partie liées, ont des influences spécifiques sur les différentes variables d'intérêt de notre étude qui rendent leur combinaison pertinente. Nous en proposons ci-dessous une définition ainsi que le détail des modalités qui leur sont associées.

La notion d'unité urbaine est une catégorie statistique dans laquelle sont classés des territoires répondant à des critères de continuité du bâti et le nombre d'habitants ("Insee - Définitions, méthodes et qualité - Unité urbaine," n.d.). C'est notamment cette notion qui permet de classer la population comme rurale ou urbaine. La tranche de taille de l'unité urbaine constitue également un indicateur permettant d'approcher la structure physique, démographique et géographique d'un territoire. Elle comporte neuf classes dans les enquêtes de l'Insee (Tableau 6o).

Tableau 6o : Modalités de la variable "tranche de taille de l'unité urbaine"

Code	Libellé
0	Commune rurale
1	Unité urbaine de moins de 5.000 habitants
2	Unité urbaine de 5.000 à 9.999 habitants
3	Unité urbaine de 10.000 à 19.999 habitants
4	Unité urbaine de 20.000 à 49.999 habitants
5	Unité urbaine de 50.000 à 99.999 habitants
6	Unité urbaine de 100.000 à 199.999 habitants
7	Unité urbaine de 200.000 à 1.999.999 habitants
8	Unité urbaine de Paris

Une aire urbaine est « *un ensemble de communes, d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain (unité urbaine) de plus de 10 000 emplois, et par des communes rurales ou unités urbaines (couronne périurbaine) dont au moins 40 % de la population résidente ayant un*

¹²⁴ Citons ici le Commissariat général à l'égalité des territoires, ex-DATAR, organisme de référence sur ces questions.

emploi travaille dans le pôle ou dans des communes attirées par celui-ci. »¹²⁵. Cette notion mêle ainsi des critères morphologiques, démographiques et fonctionnels des espaces pour décrire l'organisation spatiale et urbaine du territoire français. Elle permet notamment d'appréhender le phénomène de périurbanisation. Dans les enquêtes consultées, quatre catégories sont distinguées (Tableau 61).

Tableau 61 : Modalités de la variable "tranche de taille de l'unité urbaine"

Code et libellé
Commune de l'espace à dominante rurale
Communes multipolarisées
Communes monopolarisées
Pôle urbain

¹²⁵ D'après la définition de l'Insee, <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c2070> consulté le 12 janvier 2017.

Annexe 12. Détail des hypothèses de trois scénarios pour la France

Tableau 62 : Hypothèses menant à la surface totale de logement pour les trois scénarios. Les cellules colorées indiquent les valeurs qui ont effectivement fait l'objet d'hypothèse (les autres sont calculées).

	2010	2050 scénario "CAS"	2050 scenario "ADEME"	2050 scenario "Négawatt "
Taille de la population (par rapport à 2010)	1	1,13	1,18	1,15
Taille moyenne des ménages	2,25	-	2,05	2,20
Surfaces moyennes des nouveaux logements	131 m ² (maisons) 73 m ² (appartements)	-	Stables par type	Stables par type
Part de maisons individuelles dans les nouveaux logements	60%	-	Décroît jusqu'à 40% en 2050	Décroît jusqu'à 20% en 2050
Surface par personne (en m ²)	39,4	43,4	-	40,9 (à partir d'autres hypothèses)
Surface totale de logement (par rapport à 2010)	1	1,24	1,37	1,19

Tableau 63 : Hypothèses menant à la distance totale parcourue par la population pour les trois scénarios. Les cellules colorées indiquent les valeurs qui ont effectivement fait l'objet d'hypothèses (les autres sont calculées).

		2010	2050		
			scénario "CAS"	scénario "ADEME"	scénario "Négawatt"
Taille de la population (par rapport à 2010)		1	1,13	1,18	1,15
Mobilité individuelle km.passager par habitant, par rapport à 2010	Courte distance	1	1,02	-	0,80
	Longue distance	1	1,65	-	0,75
	Total	1	1,35	0,80	0,79
Distance totale par an (ensemble de la population), par rapport à 2010		1	1,51	0,94	0,91

Résumé

Le mode de vie des pays industrialisés, basé sur le consumérisme, est considéré comme l'un des principaux moteurs de l'usage de ressources et de la dégradation de l'environnement global. Sa substitution par d'autres modes de vie constitue l'une des clés pour bâtir un futur soutenable, d'autant qu'il tend à être imité dans les pays émergents et en développement. Pourtant, la question de la transition des modes de vie a été jusqu'à présent relativement peu investie par les politiques publiques, y compris par celles qui visent à répondre aux enjeux de la transition énergétique et de l'atténuation du changement climatique. C'est dans le but d'encourager les parties prenantes de ces enjeux à se saisir de cette question que nos recherches ont été initiées. Pour cela, nous avons choisi de nous concentrer sur la démarche prospective, qui est l'un des outils d'aide à la décision privilégiés pour éclairer les politiques de l'énergie et du changement climatique dont les enjeux portent sur les moyen et long termes. Nous avons constaté que la question était jusqu'à présent très partiellement abordée dans la plupart des exercices de prospective énergie-climat. Ce constat tient en partie au fait que, alors que la pratique actuelle accorde une place importante à la modélisation, le formalisme des modèles utilisés n'a bien souvent pas été pensé pour traiter de cette notion multidimensionnelle. Dans ce contexte, notre contribution porte sur les plans conceptuel et méthodologique. Nous avons dans un premier temps défini un cadre conceptuel pour aborder la notion de mode de vie et clarifier son rôle dans le système énergétique. Dans un second temps, nous avons proposé une approche par la modélisation destinée à simuler des scénarios d'évolution des modes de vie à l'échelle de la France. Cette approche formelle, dont le développement a constitué le cœur de nos recherches, permet de quantifier la demande en logements, la demande en mobilité et la demande en biens et services qui résultent de ces scénarios et définissent la structure des usages de l'énergie. La mise en œuvre de cette approche est illustrée dans ce manuscrit par la simulation de trois scénarios d'évolution des modes de vie.

Mots Clés

Prospective, modélisation, modes de vie, système énergétique, société bas carbone

Abstract

Consumerist lifestyles in industrialized countries are considered one of the main drivers of global resource use and environment degradation. Changes in these lifestyles are therefore one of the keys to achieving a sustainable future, especially as these lifestyles also tend to be pursued by some economic classes in developing countries. Yet the lifestyles issue has only marginally been considered in public policies until now, including the ones that aimed to address the challenges of energy transition and climate change mitigation. Our research was initiated in order to encourage all parties engaging with these challenges to take into account our future lifestyles in this context. To this aim, we focused on the prospective approach. It is indeed one of the tools and processes that is most commonly used to support decision-makers on the long-term challenges raised by energy transition and tackling climate change. We found that most foresight studies did not go in depth while addressing the issue of lifestyles, especially the model-based studies. Indeed, the models generally used in these studies are not thought out to allow for proper consideration of this multidimensional issue. To answer for this, we propose a conceptual framework that allows proper understanding of the lifestyle concept and clarifies its role in the energy system. As a core contribution, we developed a modelling approach to simulate lifestyle-change scenarios for France. This formal approach allows us to quantify the demands for housing, mobility, goods and services that arises in these scenarios and defines the structure of energy uses. Three scenarios for lifestyle changes are considered in this manuscript to demonstrate implementations of the proposed approach.

Keywords

Foresight, modelling, lifestyles, energy system, low carbon society