



HAL
open science

Les ménages sous la contrainte carbone : exercice de modélisation prospective des secteurs résidentiel et transports avec TIMES

Jean-Michel Cayla

► **To cite this version:**

Jean-Michel Cayla. Les ménages sous la contrainte carbone : exercice de modélisation prospective des secteurs résidentiel et transports avec TIMES. Economies et finances. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2011. Français. NNT : 2011ENMP0011 . pastel-00608619

HAL Id: pastel-00608619

<https://pastel.hal.science/pastel-00608619>

Submitted on 13 Jul 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

École doctorale n° 396 : Economie, Organisations, Société

Doctorat ParisTech

THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École nationale supérieure des mines de Paris

Spécialité “ Economie et Finance ”

présentée et soutenue publiquement par

Jean-Michel CAYLA

le 03 mars 2011

Les ménages sous la contrainte carbone

Exercice de modélisation prospective des secteurs résidentiel et transports avec

TIMES

Directeur de thèse : **Nadia MAIZI**

Jury

M. Carlo C. JAEGER, Professeur, Transdisciplinary concepts and methods, PIK-Postdam.....Président
M. Charles RAUX, Ingénieur de recherche CNRS, Laboratoire d'Economie des Transports.....Rapporteur
M. Mindjid MAIZIA, Enseignant-chercheur, GSU, Université de Technologie de Compiègne.....Rapporteur
M. Pierre MATARASSO, Ingénieur de recherche CNRS, CIRED.....Examinateur
Mme Nadia MAIZI, Professeur, Centre de Mathématiques Appliquées, Mines ParisTech.....Examinateur
M. Christophe MARCHAND, Chef de groupe Prospective et appui stratégique, EDF R&D.....Examinateur

T
H
È
S
E

MINES ParisTech

Centre de Mathématiques Appliquées

1 rue Claude Daunesse BP 207 06904 Sophia-Antipolis cedex

Remerciements

Je tiens en premier lieu à remercier Charles Raux et Mindjid Maïzia qui ont accepté de prendre de leur temps pour rapporter ce travail de thèse. Je remercie également Carlo Jaeger et Pierre Matarasso pour l'intérêt qu'ils portent à mes travaux et leur présence dans le jury.

Je remercie bien entendu Nadia Maïzi, ma directrice de thèse, et Christophe Marchand, mon responsable au sein d'EDF R&D, pour les discussions riches que nous avons eu et l'encadrement plein de recul dont j'ai bénéficié pendant ces trois ans. Mais je tiens surtout à les remercier pour la liberté de travail et la pleine confiance qu'ils m'ont accordée.

Au cours de ces 3 ans j'ai eu la chance d'être très sympathiquement accueilli par deux équipes de recherche. Je remercie donc toute l'équipe du Centre de Mathématiques Appliquées de l'Ecole des Mines et en particulier : Edi Assoumou, dont le travail antérieur m'a servi de fil conducteur tout au long de cette thèse, Gilles Guérassimoff, Valérie Roy, Marc Bordier, Johann Thomas, Sandrine Selosse, Nicklas Forsell, ainsi que Mathilde Drouineau et Gondia Seck qui ont réalisé leur thèse en même temps que moi et je souhaite bon courage aux nouvelles : Stéphanie Bouckaert et Aurélie Dubreuil. Je remercie également l'équipe Prospective et appui stratégique d'EDF R&D : Prabodh Pourouchottamin, Patrice Nogues, François Cattier, Jean-Luc Sellier et Laurent Grignon-Masse avec qui j'ai la chance de continuer à travailler à la suite de cette thèse, ainsi que Jean-Christophe Gault et Marie-Marguerite Quéméré qui ont fait partie de cette équipe durant une grande partie de ma thèse.

Enfin, au sein d'EDF R&D, de nombreuses personnes m'ont aidé et ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce travail de thèse : Marie-Hélène Laurent, Dominique Osso, Guillaume Binet et Magali Pierre, pour ne citer que les principaux. Qu'ils soient ici tous remerciés pour le temps qu'ils ont passé pour répondre à mes questions. Je souhaite également bon courage aux autres doctorants à EDF: Elie Ghanassia, Arnaud Grandjean, Charlotte Fourcroy, Mathieu Bordigoni, Maxime Raynaud et bien sûr Benoît Allibe à qui je dois beaucoup pour les échanges que nous avons eu et pour le travail réalisé en commun.

TABLE DES MATIERES

Introduction	6
Chapitre I. La consommation d'énergie dans le secteur résidentiel et le secteur des transports de passagers.....	10
1.1 – Quelles sont les avancées nécessaires dans la façon d'aborder la consommation d'énergie des ménages dans les modèles ?.....	10
<i>1.1.1 – L'importance de l'aspect comportemental dans la consommation.....</i>	<i>10</i>
<i>1.1.2 – Faire le lien entre résidentiel et transports.....</i>	<i>11</i>
1.2 – La consommation d'énergie dans le logement	12
<i>1.2.1 – La demande de chauffage est conditionnée par l'état du parc de logements.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.2 – Les autres usages énergétiques du logement.....</i>	<i>18</i>
1.3 – La consommation d'énergie dans les transports	20
<i>1.3.1 – L'efficacité du parc de voitures augmente mais leur usage également.....</i>	<i>22</i>
<i>1.3.2 – Le report modal est bien souvent limité</i>	<i>25</i>
Chapitre II. Le rôle du comportement des ménages dans la consommation d'énergie	28
2.1 – La consommation d'énergie au quotidien, du concept d'optimalité à une gestion imparfaite.....	29
<i>2.1.1 – L'importance sociale de la consommation d'énergie.....</i>	<i>32</i>
<i>2.1.2 – La gestion quotidienne : un jeu de routines ancrées</i>	<i>36</i>
2.2 – L'achat d'équipements.....	42
<i>2.2.1 – Des défaillances et barrières de marché nombreuses</i>	<i>43</i>
<i>2.2.2 – Des ménages hétérogènes et des critères de choix multiples</i>	<i>46</i>
2.3 – Achat et pratiques de consommation ne sont pas indépendants	51
<i>2.3.1 – La notion d'élasticités croisées</i>	<i>51</i>
<i>2.3.2 – L'effet rebond</i>	<i>52</i>
2.4 – Des modèles comportementaux réalistes mais complexes.....	57
2.5 – L'approche par les modes de vie : un compromis pragmatique dans la description du comportement des ménages.....	65
<i>2.5.1 – Quel lien entre mode de vie et consommation domestique ?.....</i>	<i>65</i>
<i>2.5.1.1 – L'exemple des familles de classe moyenne propriétaires</i>	<i>65</i>
<i>2.5.1.2 - Une caractérisation de la mobilité par les modes de vie</i>	<i>68</i>

2.5.2 – Les variables socio-démographiques sont explicatives des ressources et des contraintes en matière de comportement	72
---	----

Chapitre III. Quantification de l'impact du comportement : La contrainte énergétique liée au revenu 76

3.1 – Présentation de la méthodologie de l'enquête EDF R&D.....	76
3.2 – Reconstitution de la consommation d'énergie par usage.....	79
3.2.1 - Extraction des consommations d'énergie par usage final en résidentiel.....	79
3.2.2 – Reconstitution des consommations d'énergie pour le secteur des transports.....	84
3.3 – Le budget-énergie des ménages présente de fortes inégalités.....	91
3.3.1 – Des postes budgétaires qui pèsent lourd sur les plus démunis.....	91
3.3.2 - Un facteur de service de chauffage fortement guidé par le revenu.....	94
3.4 – Quelle impact du comportement dans la consommation de chauffage ?	97
3.5 - Les pratiques domestiques: entre intensité de service et gestion de l'énergie	103
3.6 – L'importance du revenu dans l'achat d'équipements.....	107

Chapitre IV. Elaboration d'un modèle TIMES-Ménages pour la France 116

4.1 – Présentation des modèles utilisés en prospective énergétique	116
4.1.1 – Bref aperçu historique des modèles et de leur logique de fonctionnement	116
4.1.2 – Le modèle TIMES/MARKAL.....	119
4.2 – Une description des ménages commune aux secteurs résidentiel et transports.....	122
4.3 – Modélisation du secteur résidentiel avec TIMES	126
4.3.1 – Segmentation de la demande résidentielle	126
4.3.2 – Niveaux de demandes utiles.....	128
4.3.3 – Achat d'équipements domestiques.....	134
4.4 – Modélisation du secteur transports avec TIMES	137
4.4.1 – Segmentation de la demande de transports.....	137
4.4.2 – Niveaux de demandes utiles.....	139
4.4.3 – Achat de véhicules	140
4.4.4 – Report vers les autres modes de transport.....	142
4.4.4.1 – Potentiel de report modal	143
4.4.4.2 – Prix et consommations des transports en commun	144

Chapitre V. Résultats des scénarios « Référence » et « Contrainte facteur 4 » : Quels efforts à fournir ? 149

5.1 – Hypothèses du scénario de référence Résidentiel-Transports.....	149
5.1.1 – Evolution des demandes unitaires en services énergétiques	149

5.1.2 – Evolution de la structure des ménages.....	151
5.1.3 – Evolution du prix des énergies.....	152
5.1.4 – Hypothèses complémentaires.....	153
5.2 – Résultats du scénario de référence.....	155
5.2.1 – Les parcs de technologies.....	155
5.2.2 – Consommation d'énergie.....	159
5.2.3 – Un modèle robuste à des scénarios de prix contrastés.....	161
5.2.4 – Des émissions de CO ₂ en forte baisse tendancielle.....	164
5.2.5 – Impact sur le budget des ménages.....	165
5.3 – Résultats du scénario « contrainte facteur 4 ».....	168
5.3.1 – Quels parcs de technologies optimaux pour atteindre le facteur 4 ?.....	170
5.3.2 – Répartition des efforts de réduction entre les deux secteurs.....	174
Chapitre VI. Quels outils politiques pour atteindre le facteur 4 ? Et quel impact sur le budget des ménages ?.....	177
6.1 – Effet comparé d'une taxe carbone seule et d'une taxe couplée à des subventions.....	177
6.1.1 – Quel profil de taxe adopter pour atteindre le facteur 4 ?.....	177
6.1.2 – Impact des outils politiques sur le plan des équipements et des consommations.....	179
6.2 – Les subventions sont un bon moyen de recycler une taxe distorsive.....	184
6.3 – Discussion des résultats obtenus.....	188
Conclusion.....	191
Bibliographie.....	194
Liste des sigles utilisés.....	205
Index des illustrations.....	206
Index des figures.....	206
Index des tableaux.....	209
Annexes.....	210
Annexe 3.1 : Eléments de discussion sur le choix des variables de calage.....	210
Annexe 3.2 : Prix des énergies domestiques.....	213
Annexe 3.3 : Contenu du questionnaire papier envoyé aux ménages.....	215
Annexe 3.4 : Calcul des consommations de chauffage avec la méthode DPE-3CL.....	230
Annexe 3.5 : Consommations de carburant des véhicules particuliers.....	235
Annexe 3.6 : Traitement des variables de l'enquête.....	238
Annexe 3.7 : Résultats des régressions sur les pratiques de consommation.....	240
Annexe 3.8 : Définition des parts budgétaires.....	241
Annexe 4.1 : Quantification du potentiel de report modal.....	243

Introduction

La problématique mondiale du réchauffement climatique

L'activité humaine liée à l'agriculture, à la déforestation et surtout à l'extraction et la combustion d'énergies fossiles est à l'origine de fortes émissions de gaz à effet de serre (GES) – principalement du dioxyde de carbone CO₂, du dioxyde d'azote NO₂ et du méthane CH₄ – dont la croissance depuis la révolution industrielle du XIX^{ème} siècle est exponentielle. La communauté scientifique, représentée par le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC)¹, estime que les émissions anthropiques de gaz à effet de serre sont « très probablement » à l'origine d'un réchauffement climatique de la planète [IPCC 2007]. Ce réchauffement se fait d'ores et déjà sentir, puisqu'une « hausse des températures moyennes de l'atmosphère et de l'océan, une fonte massive de la neige et de la glace et une élévation du niveau de la mer » sont constatées dès à présent [IPCC 2007]. Prévoir l'impact des émissions de GES et de l'élévation de la température sur le climat est complexe et les modèles climatiques utilisés ne sont pas tous en accord sur l'ampleur des dommages. Aussi les conséquences climatiques attendues, en terme d'élévation du niveau de la mer, de maintien des courants marins, d'impact sur la biodiversité et l'agriculture ou encore d'état sur la santé, en fonction d'un scénario d'émissions donné ne sont que probabilistes. Etablir un seuil de dangerosité pour la planète ou pour l'humanité en terme d'élévation maximale de température acceptable à l'horizon du siècle prochain est donc une question éminemment philosophique et politique. Consentons-nous à réduire le nombre d'espèces animales existantes pour continuer à nous déplacer comme avant ? Ou encore, acceptons-nous de voir certaines îles disparaître de la planète afin de continuer à produire ? Ce « nous » renvoie d'une part à l'ensemble des pays, dont le niveau de responsabilité et le niveau de priorités diffère d'un état à l'autre, mais il renvoie également aux générations futures qui hériteront des conséquences des choix effectués aujourd'hui.

Il semble pourtant que la limite d'une élévation de température de +2°C en moyenne² à ne pas dépasser fasse consensus auprès des décideurs. Cette valeur chiffrée a notamment été actée par la 15^{ème} conférence des parties qui s'est tenue à Copenhague en décembre 2009

¹ Le GIEC (IPCC en anglais) a notamment reçu le prix nobel de la paix en 2007

² Les impacts en terme de T°C sont très disparates en fonction des régions du globe et des périodes de l'année

[UNFCC 2010]. Cela implique donc une stabilisation de la concentration dans l'atmosphère des GES autour de 450 ppm équivalent-CO₂³ en 2100, ce qui est cohérent avec une diminution de 50% des émissions mondiales de GES en 2050 par rapport à leur niveau de 1990⁴. Cette réduction globale des émissions implique une division par quatre ou cinq des émissions des pays industrialisés. Ainsi les engagements votés par l'union européenne dans le paquet énergie-climat en 2008 prévoient une réduction des émissions des 27 états membres de 20% en 2020 par rapport à leur niveau de 1990 qui sont cohérents avec une telle réduction. Et la France a adopté dans sa loi de programmation fixant les orientations de la politique énergétique (POPE) en juillet 2005 l'objectif d'une réduction des de ses émissions d'un facteur 4 en 2050.

Les apports des modèles de prospective énergétique

La prise de conscience par les gouvernements de l'importance d'agir pour enrayer le réchauffement climatique et la proposition de mise en œuvre de moyens pour parvenir à un objectif de réduction chiffré constituent un premier pas nécessaire. Mais on peut maintenant se poser la question de la faisabilité et du coût de ces réductions : Quels types d'instruments politiques doit on mettre en oeuvre ? Dans quels secteurs et avec quel échéancier ? Voilà le type de questions auxquelles est alors confronté le législateur.

Un tel questionnement relatif à un système complexe, sur un horizon de temps lointain et qui envisage des ruptures fortes avec le passé se doit de s'appuyer sur un travail de prospective. De plus, l'accélération du changement technique, économique et social conjuguée à l'inertie des structures et des comportements imposent cette réflexion prospective en amont de la prise de décisions [Godet 1993]. Plus précisément ce travail de prospective se base sur des modèles capables d'intégrer, de par leur représentation systémique, une large gamme de variables et d'interactions d'origines diverses. L'utilisation de scénarios de long-terme constitués de jeux d'hypothèses, cohérentes entre elles, dans les modèles de prospective permet alors d'apporter un éclairage sur les futurs possibles, étant données un ensemble de ressources et de contraintes sur le système énergétique, et ainsi d'avoir une idée plus précise de l'impact des décisions politiques.

³ Les différents GES n'ayant pas tous le même forçage radiatif ni la même durée de vie dans l'atmosphère, ils sont comparés au CO₂ sur la base de leur pouvoir de réchauffement global.

⁴ La concentration des GES ne dépend pas d'un niveau d'émissions à un instant donné mais des émissions cumulées. La réduction de 50% doit donc s'inscrire dans un processus de réduction cohérent avec le niveau de concentration cible.

Les exercices de prospective déjà menés en France sur le sujet parviennent notamment à la conclusion que les secteurs de l'industrie et des transports de marchandises ne peuvent réduire leurs émissions d'un facteur 4 sans engendrer une réduction rédhibitoire de l'activité économique, ce qui implique donc une participation accrue du secteur résidentiel et du secteur des transports de passagers à la réduction des émissions [Syrota et alii 2007, Marchand et alii 2008]. Le travail réalisé dans le cadre cette thèse porte sur le développement d'un modèle dédié à la consommation d'énergie directe des ménages en France dans le cadre prospectif d'une contrainte forte sur les émissions de GES telle que celle du facteur 4 envisagé par le gouvernement français. Ce modèle s'appuie sur l'architecture TIMES, outil développé par l'AIE et largement utilisé à travers le monde, et permet de répondre à moindre coût à une demande en services finaux à travers une représentation technologique fine du système énergétique⁵.

Ce modèle permet d'apporter des éléments de réflexion sur la question du devenir des ménages dans un contexte contraint en carbone. D'une part il apporte des éclairages sur les choix technologiques à effectuer dans les secteurs résidentiel et transports pour atteindre le facteur 4, tout en essayant d'incorporer un certain réalisme comportemental des ménages. D'autre part il permet d'apporter des éléments de débat sur les outils politiques à mettre en œuvre pour atteindre cet objectif de réduction et aborde la question de l'équité des ces outils par le biais du budget des ménages.

Organisation du travail de thèse

Tout d'abord une description de la consommation d'énergie associée aux besoins du secteur résidentiel et du secteur du transport de passagers constitue le chapitre 1 et permet une mise en lumière des changements possibles et des tendances historiques à l'œuvre. Le chapitre 2 est consacré à l'étude du comportement des ménages en matière de consommation d'énergie et détaille les différentes logiques à l'œuvre dans la consommation. Ce second chapitre vient souligner l'absence de base de données croisant des données relatives à la chaîne technologique et au comportement des ménages. Afin de mieux appréhender ce lien une enquête a été réalisée sur les secteurs résidentiel et transports conjointement. Le chapitre 3 détaille les résultats de cette enquête effectuée auprès de 2000 ménages français et permet une quantification de l'impact du comportement sur la consommation d'énergie. Le chapitre 4

⁵ La présentation du modèle est abordée de manière plus détaillée dans le chapitre 4

présente le modèle TIMES réalisé et décrit la segmentation de la demande en énergie par usage final et par catégorie de ménages. Il décrit également la façon dont les résultats des chapitres précédents sont incorporés dans la logique de modélisation. Le chapitre 5 expose les principaux résultats d'un scénario de référence pour la France à horizon 2050 ainsi que les résultats d'un scénario de forte réduction des émissions de type « facteur 4 ». Enfin, le chapitre 6 se consacre à l'étude d'outils politiques en terme d'efficacité de réduction des émissions, mais se penche également sur leur impact sur le budget des ménages et sur d'éventuels effets d'iniquité entre les ménages.

CHAPITRE 1

La consommation d'énergie dans le secteur résidentiel et le secteur des transports de passagers

Ce premier chapitre introductif présente tout d'abord deux points faibles régulièrement pointés dans les modèles de prospective auxquels ce travail de thèse tente d'apporter une solution dans la suite. Il livre ensuite une première approche descriptive sur le plan historique et technologique de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel et dans le secteur des transports de passagers. Et il s'attache en particulier à mettre en lumière les marges de manœuvre et les inerties dans la perspective d'une forte réduction des émissions de CO₂.

1.1 – Quelles sont les avancées nécessaires dans la façon d'aborder la consommation d'énergie des ménages dans les modèles ?

Il est régulièrement fait état que l'essentiel des enjeux liés à la réduction des émissions de CO₂ sont liés à la consommation de chauffage du parc de logements et à la consommation du parc de véhicules particuliers. Cela explique certainement pourquoi de nombreux travaux de modélisation prospective s'attachent uniquement à décrire l'évolution future des caractéristiques techniques de ces parcs et déduisent les consommations d'énergie futures à partir de besoins moyens en chauffage par m² ou en distance annuelle par véhicule.

Pourtant ce type d'approche par le parc présente deux faiblesses majeures. D'une part elle ne permet pas de faire le lien entre les deux secteurs de consommation : résidentiel et transports. D'autre part, en prenant comme angle d'étude l'aspect technique lié à la production de service énergétique, ce type d'approche exclut l'aspect comportemental lié aux utilisateurs et ne peut rendre compte ni de l'hétérogénéité de la demande d'énergie, ni du mécanisme d'adoption des nouvelles technologies.

1.1.1 - L'importance de l'aspect comportemental dans la consommation

Une grande partie des études prospectives relatives à la consommation d'énergie des ménages se basent sur une approche par le parc automobile et par le parc de bâtiments et

celles-ci font le plus souvent appel à des déterminants techniques afin d'expliquer et de prévoir la consommation d'énergie. Ainsi dans le cas du résidentiel par exemple, les résidences sont classées en fonction de critères comme le caractère individuel de l'habitation, la surface, la période de construction ou encore la zone climatique. A partir de notions comme le besoin moyen en eau chaude sanitaire ou en chauffage par mètre carré, il est alors possible de remonter aux consommations du bâtiment. De la même manière, à partir de la gamme de véhicule et du type de voirie empruntée (urbain, route, autoroute), il est possible de remonter aux consommations d'énergie du parc automobile en considérant une demande moyenne de kilomètres annuels à effectuer. Les caractéristiques techniques du logement ou du véhicule ne sont pourtant en réalité que des contraintes qui pèsent sur le consommateur au moment où celui-ci doit faire ses choix de consommation, mais c'est bien du ménage que part l'impulsion d'acheter un nouveau véhicule ou de consommer du chauffage. En effet, les caractéristiques techniques du parc vont influencer le volume d'énergie nécessaire pour produire une quantité de service énergétique donnée. Mais les caractéristiques des occupants vont influencer cette quantité de service énergétique consommé, puisque par exemple le fait qu'une personne soit active ou retraitée va fortement impacter sa demande de mobilité. Or ce type d'études, articulé autour de la notion de besoins moyens, ne permet pas de prendre en compte le comportement des ménages et leur très grande hétérogénéité.

L'aspect comportemental lié aux occupants du logement ou aux utilisateurs des moyens de transport peut en effet faire fortement diverger la consommation d'énergie effective de la consommation moyenne initialement prévue. En ce qui concerne les choix d'investissement dans des technologies efficaces, une approche par le parc, si elle permet d'identifier les gisements techniques d'économie d'énergie, explique difficilement les choix d'adoption effectivement réalisés par les ménages. Et le constat est encore plus net lorsqu'il s'agit d'étudier les pratiques de consommation d'énergie du quotidien puisque la consommation de chauffage pour un même logement peut par exemple varier d'un facteur 3 en fonction des personnes qui l'occupent [Moussaoui 2006, Allibe 2009].

1.1.2 – Faire le lien entre résidentiel et transports

Les études de parc classiquement menées ne s'intéressent pas en outre au lien entre la consommation résidentielle et celle de transports : les deux parcs sont traités de manière distincte. Et il n'est pas possible de déceler des corrélations entre la consommation issue des transports et la consommation domestique dans la mesure où l'on se préoccupe de besoins

moyens. Or on peut se poser la question de savoir si les ménages fortement consommateurs d'énergie pour leur logement sont les mêmes que ceux qui consomment beaucoup pour les transports.

Il est possible d'établir un premier lien en s'intéressant aux localisations. En effet, celles-ci apportent des éléments sur le type de logement ainsi que sur l'offre de transports en commun ou la distance aux bassins d'emploi par exemple. C'est l'approche retenue dans le cadre du projet ETHEL [Raux, Traisnel et alii 2005]. Au moyen d'un modèle d'évolution de densité de population, les auteurs prévoient les évolutions démographiques futures pour chaque commune. Celles-ci fournissent alors la connaissance du type d'habitation et des caractéristiques socio-démographiques moyennes des ménages de la commune. Il est ensuite possible de remonter aux consommations d'énergie pour le transport et le résidentiel et de dresser une typologie des besoins énergétiques conjoints en fonction du lieu de résidence. Cette approche par les localisations permet de rendre de compte du caractère conjoint des contraintes extérieures qui pèsent sur les ménages. Par exemple le fait d'être en maison individuelle et d'habiter à la campagne impose des contraintes sur le niveau de besoin de chauffage et de mobilité pour faire ses achats.

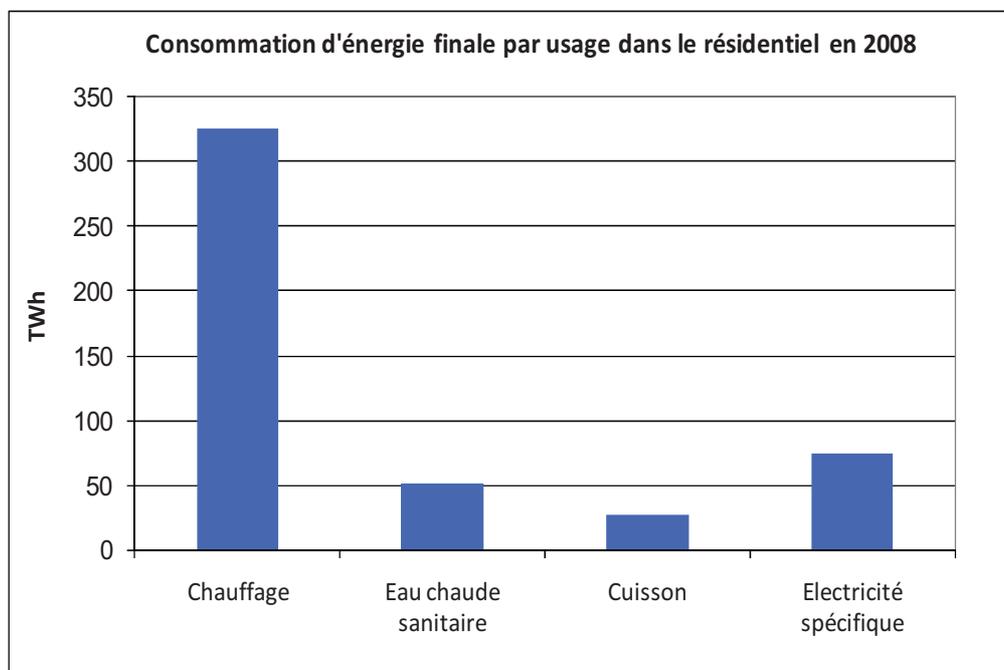
Cependant elle n'explique pas le comportement en lui-même puisque certains ménages dans la même situation de localisation adopteront des systèmes efficaces et d'autres non. Il semble donc nécessaire d'aller encore plus loin en prenant le ménage comme objet d'étude puisqu'en somme, en ne faisant pas le lien par les ménages eux-mêmes il n'est pas possible d'intégrer la dimension propre au comportement et donc d'analyser la consommation d'énergie dans sa globalité.

Si l'étude des caractéristiques techniques des parcs de logements et de véhicules se révèle insuffisante pour saisir pleinement les déterminants de la consommation d'énergie, elle n'en demeure pas moins un préalable indispensable. Une analyse rétrospective des parcs et des contextes de consommation présente donc un fort intérêt et s'inscrit dans le cadre d'une démarche prospective qui s'attache d'abord à comprendre le passé avant d'envisager l'avenir, comme le préconise M.Godet [1997].

1.2 – La consommation d'énergie dans le logement

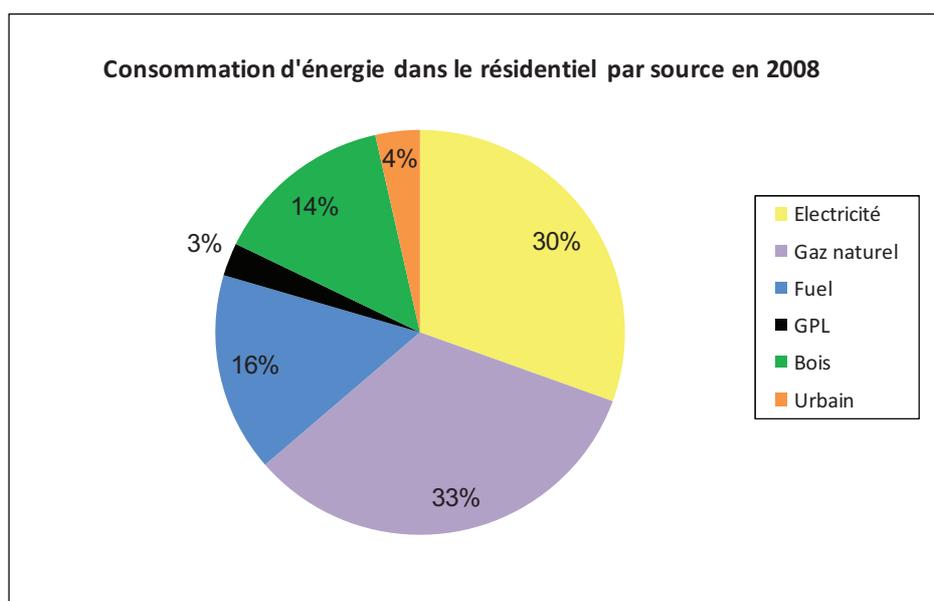
La consommation d'énergie dans le logement est classiquement séparée en quatre postes en fonction du type d'énergie permettant de satisfaire le besoin : le chauffage, l'eau

chaude sanitaire (ECS), la cuisson et les usages spécifiques de l'électricité, qui englobent des fonctions de production de froid, de lavage, d'éclairage ou encore de multimédia. Les figures 1.1, 1.2 et 1.3 présentent la consommation des différents usages finaux ainsi que les sources d'énergie et les émissions associées dans le logement en 2008.



Source : CEREN

Figure 1.1: Consommation d'énergie en résidentiel par usage en 2008



Source : CEREN

Figure 1.2 : Consommation d'énergie en résidentiel par source d'énergie en 2008

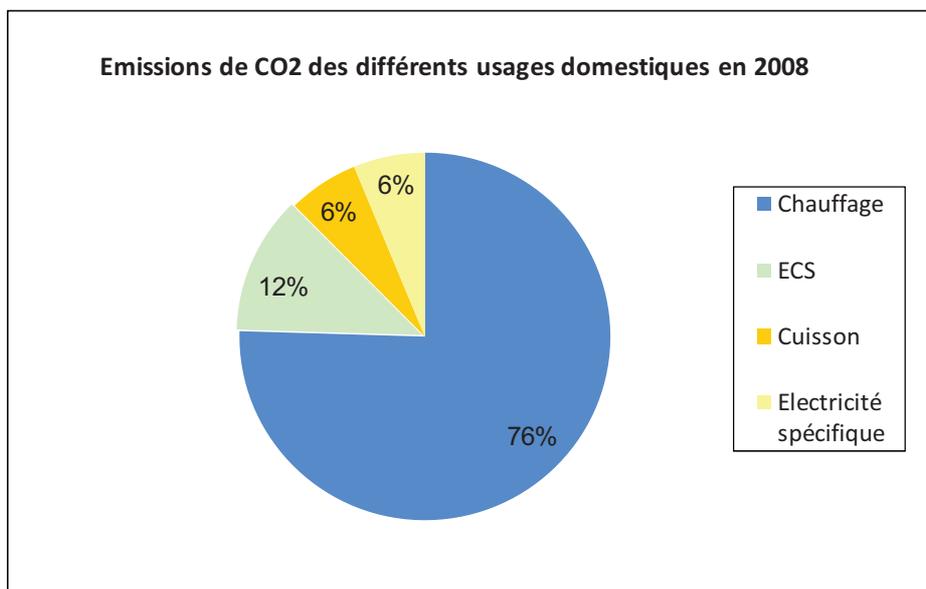
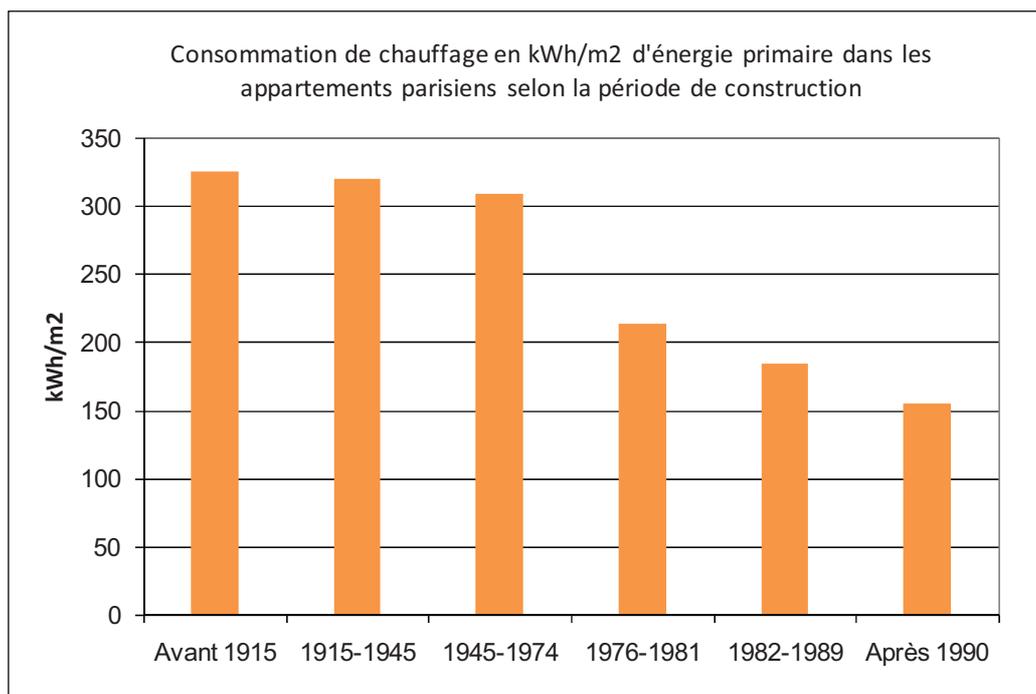


Figure 1.3 : Emissions de CO₂ du secteur résidentiel en 2008

La consommation d'énergie dans le logement est ainsi principalement tirée par l'usage du chauffage qui représente presque 70% des consommations d'énergie finale et 75% des émissions de CO₂.

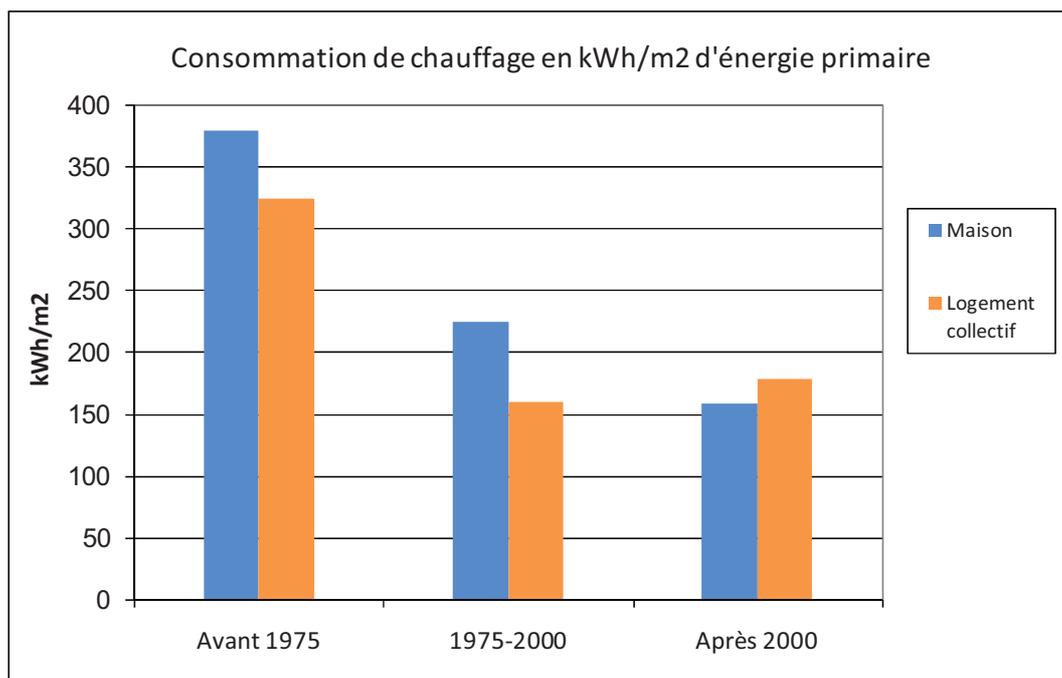
1.2.1 – La demande de chauffage est conditionnée par l'état du parc de logements



Source : APUR [2007]

Figure 1.4 : Consommation de chauffage des logements collectifs parisiens en fonction de leur période de construction

La consommation de chauffage d'un logement dépend principalement de l'efficacité du système de production de chaleur, de la température extérieure et des performances thermiques du bâti. En effet, ces dernières vont influencer la vitesse avec laquelle la chaleur, une fois produite, se dissipera. Les figures 1.3 et 1.4 présentent l'évolution des performances thermiques des bâtiments en fonction de leur période de construction et de leur type.



Source : ANAH [2008]

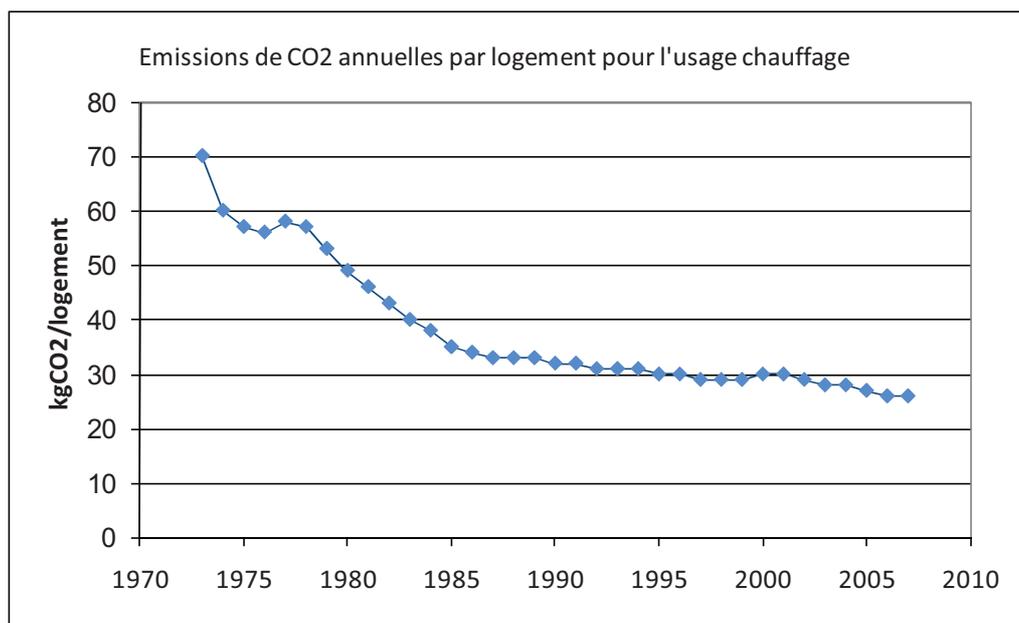
Figure 1.5 : Consommation de chauffage du parc de logements français

On constate une très forte décroissance de la consommation de chauffage par m^2 à partir de 1975. Il s'agit en effet de la date de la première réglementation thermique imposant une performance minimale pour la construction des logements neufs. La baisse tendancielle des consommations unitaires que l'on constate ensuite correspond aux différents standards thermiques successifs mis en place.

Un gain substantiel de consommation peut donc être attendu à terme avec le renouvellement du parc de logements. Malheureusement celui-ci est extrêmement lent puisque si la construction neuve concerne environ 300000 logements par an, soit environ 1% du parc, le nombre de logements démolis annuellement n'est que d'environ 50000 logements par an. Ce qui signifie que la grande majorité des constructions neuves ne correspond pas à un renouvellement du parc mais à son accroissement. Ainsi, la part des logements neufs dans le parc sera de l'ordre de 30% en 2050, mais 95% des logements qui existent aujourd'hui existeront encore en 2050. Si l'efficacité thermique moyenne du parc va alors assez fortement progresser du fait de la construction neuve, cela ne doit pas occulter le fait que les émissions de CO_2 liées aux logements les plus anciens ne disparaîtront pas par un renouvellement tendanciel du parc. Et l'horizon d'une forte réduction des émissions se situe bien avant l'horizon de renouvellement du parc de logements. La solution consistant à rénover les

logements anciens de mauvaise qualité devient alors incontournable pour espérer réduire le besoin de chauffage de manière significative à l'horizon 2050.

Une autre solution pour réduire les émissions de CO₂ associées au chauffage des logements consiste à produire la chaleur à partir de systèmes utilisant une électricité à faible teneur en carbone ou le bois comme source d'énergie plutôt que les énergies fossiles.



Source : CEREN [2009]

Figure 1.6 : Evolution des émissions de CO₂ par logement⁶ pour le chauffage

La figure 1.5 montre l'évolution des émissions de CO₂ associées à la production de chaleur par logement. On constate une décroissance des émissions de 55% en 35 ans tandis que les gains d'efficacité énergétique obtenus par l'amélioration des performances thermiques du logement se situaient autour de 20% sur la même période. Cela signifie que la réduction des émissions est le fruit d'une part d'une amélioration des caractéristiques de l'habitat mais également de la réorientation dans les années 80 vers des modes de production de chauffage basés sur l'électricité. Aujourd'hui environ seulement un tiers du parc de systèmes de chauffage a recours au bois ou à l'électricité pour la production de chaleur, ce qui signifie qu'il existe un potentiel de réduction important du côté des systèmes de production.

⁶ On incluant le contenu moyen des émissions liées à la production d'électricité

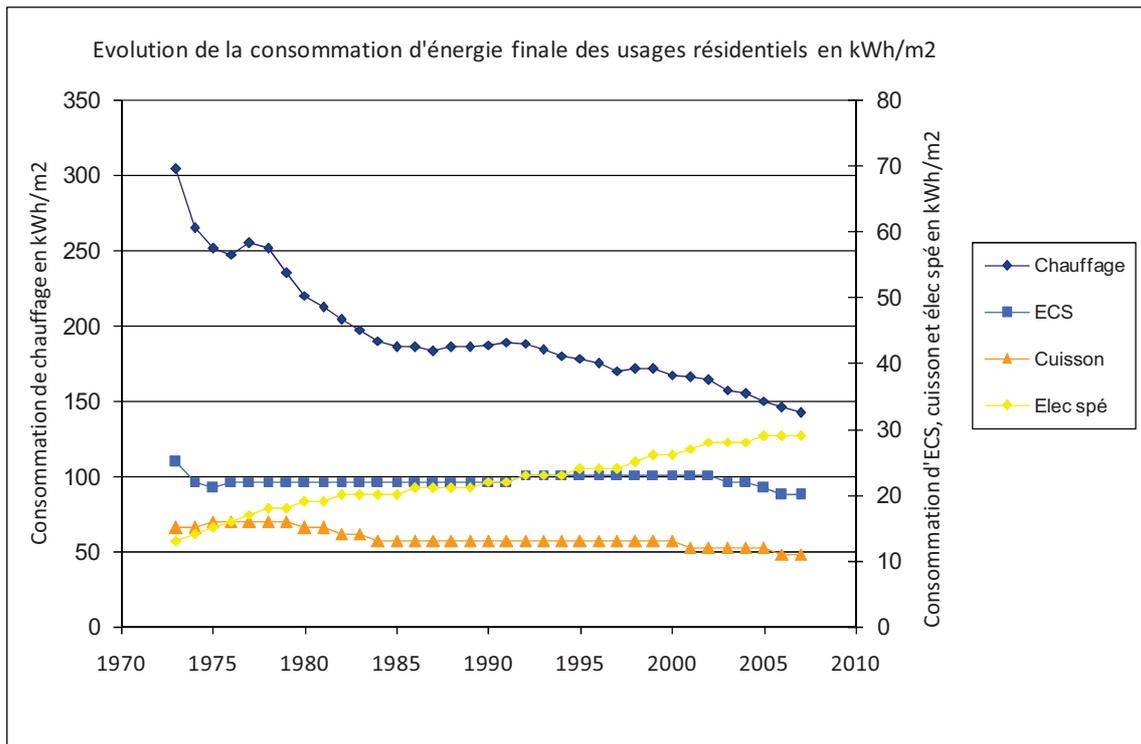
1.2.2 – Les autres usages énergétiques du logement

La figure 1.6 présente l'évolution des différents postes de consommation énergétique dans le logement entre 1973 et 2007. On retrouve l'évolution décrite précédemment pour le chauffage qui cumule le phénomène d'amélioration des caractéristiques thermiques de l'habitat après 1975 et le recours important au chauffage électrique qui vient réduire la consommation d'énergie finale⁷.

L'eau chaude sanitaire (ECS) :

Ce poste a longtemps constitué le second poste de consommation des logements français, avant d'être dépassé par celui de l'électricité spécifique. On observe une augmentation des consommations d'ECS par personne sous l'effet d'un accès plus facile aux points d'eau [Laurent 2010]. Mais la taille des ménages étant à la baisse, cet effet est compensé, et la consommation d'ECS par logement apparaît alors comme relativement stable jusqu'au début des années 2000. Depuis 2005, les consommations d'ECS (totales et unitaires) sont stables ou en légère décroissance. Les énergies dominantes sont l'électricité et le gaz qui assurent plus des trois quarts des consommations nationales, et elles sont en général assez liées au mode de chauffage du logement. En effet, dans le cas où le système de chauffage est une chaudière, celles-ci étant majoritairement double fonction, c'est-à-dire qu'elles peuvent produire à la fois le chauffage et l'eau chaude, l'énergie utilisée pour la production d'eau chaude sera la même que celle du chauffage. Tandis que dans le cas du chauffage électrique, le mode de production le plus souvent associé est un ballon électrique.

⁷ En effet les rendements des systèmes de chauffage électriques sont proches de 100% tandis que les systèmes au gaz ou au fuel sont plus proches de 55-60%.



Source : CEREN [2009]

Figure 1.7: Evolution de la consommation d'énergie par usage dans le résidentiel

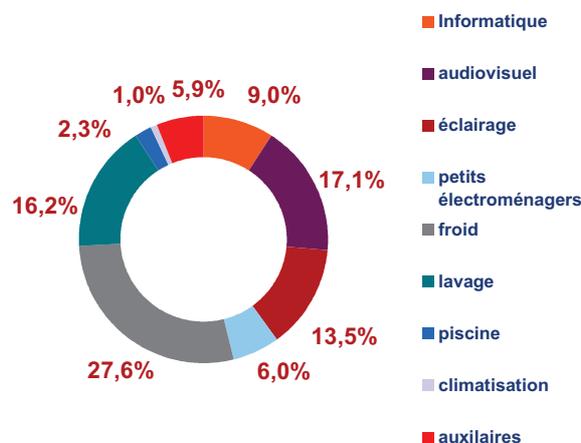
La cuisson :

La consommation d'énergie pour la cuisson est également très stable dans le temps. Ces consommations dépendent en réalité plus des habitudes familiales que des équipements eux-mêmes. La cuisson est en effet un usage énergétique culturel et les traditions liées aux pratiques de cuisson sont robustes [Moussaoui et Beillan 2000], d'où une relative stabilité des parts de marché des trois énergies assurant le poste. Le gaz, l'électricité et le GPL en bouteille se partagent à parts égales le marché pour ce poste.

L'électricité spécifique :

Ce poste correspond à tous les usages non thermiques de l'électricité et renvoie à des usages de lavage (du linge, de la vaisselle), de froid (congélation, réfrigération), d'éclairage, de multimédia (télévision, chaîne hi-fi) ainsi que tous les petits objets électriques. Il s'agit désormais du second poste résidentiel en terme de consommation et il connaît une croissance très rapide depuis 1995. MH. Laurent [2010] explique cette croissance par l'explosion des équipements électrodomestiques comme les micro-ordinateurs, les téléviseurs à écrans plats, les jeux vidéo et l'arrivée massive d'Internet dans les ménages français. Les consommations des postes « audiovisuel » et « informatique » sont, à eux deux, du même ordre que celles du

froid alimentaire, pourtant premier poste de consommation d'électricité spécifique des logements français comme le montre la figure 1.7.



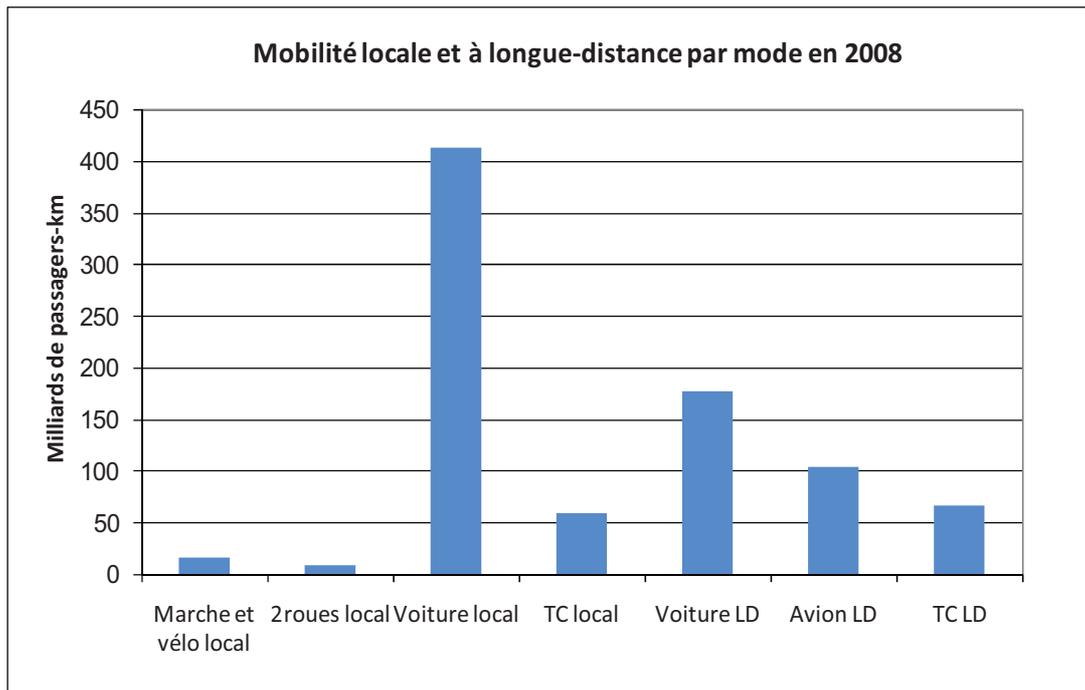
Source : EDF R&D 2008

Figure 1.8: Reconstitution et ventilation de la consommation d'électricité spécifique

On peut donc considérer que le principal effort à fournir dans la perspective d'une réduction des émissions de CO₂ concerne le chauffage des bâtiments. En effet, même si historiquement la consommation énergétique pour ce poste tend à diminuer du fait des améliorations tendanciennes des performances thermiques des bâtiments et des systèmes de chauffage, le très faible renouvellement du parc de logements empêche une réduction tendancielle drastique des émissions. Enfin, il faut noter que la forte croissance de la consommation d'électricité spécifique pourrait également constituer un frein à la réduction des émissions si celle-ci n'est pas issue de moyens de productions non-émetteurs de CO₂.

1.3 – La consommation d'énergie dans les transports

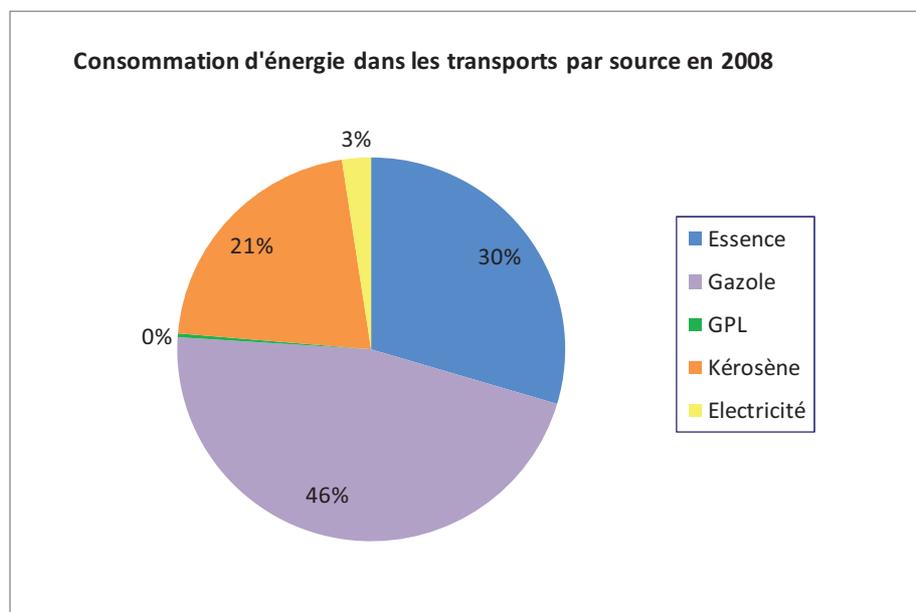
La demande de mobilité est traditionnellement divisée en une mobilité locale (à moins de 100 km du domicile) et une mobilité de longue-distance (à plus de 100 km du domicile). Cette dernière ne constitue qu'1% des trajets effectués mais représente presque 40% des distances parcourues. Les figures 1.8, 1.9 et 1.10 montrent la répartition des différents modes de transport utilisés pour se déplacer ainsi que les consommations d'énergie et les émissions de CO₂ associées.



TC : Transports en commun, LD : Longue-distance

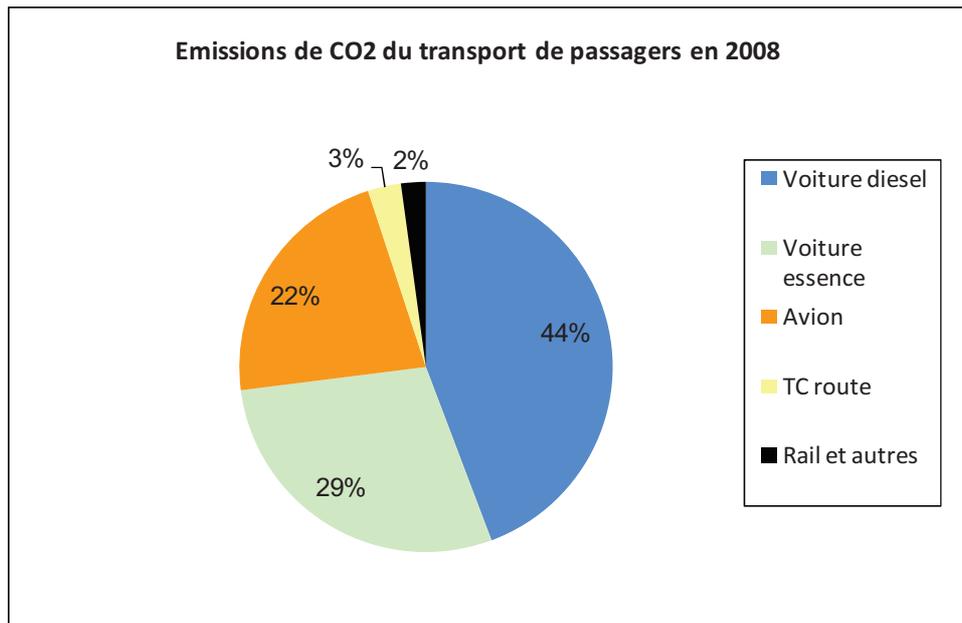
Source : INSEE, Enquête Nationale Transports et Déplacements 2007-2008

Figure 1.9: Mobilité locale et à longue-distance par mode en 2008



Source : Commission des Comptes des Transports de la Nation

Figure 1.10: Consommation d'énergie dans les transports par source d'énergie en 2008



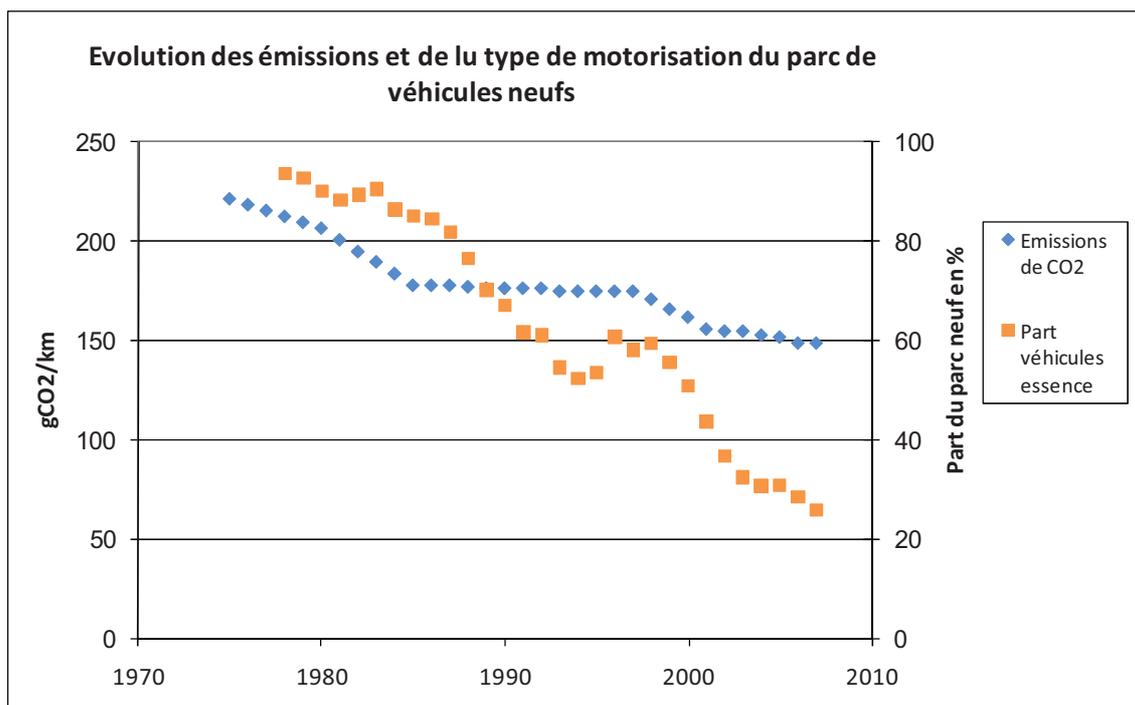
Source : CCTN et CITEPA

Figure 1.11 : Emissions de CO₂ du secteur transports en 2008

Le problème des émissions de CO₂ du secteur des transports est, comme dans le cas du bâtiment, principalement relié à un seul usage : celui de la voiture. En effet, cette dernière représente environ 75% de la consommation d'énergie finale et 75% des émissions.

1.3.1 – L'efficacité du parc de voitures augmente mais leur usage également

Dans le cas de la voiture particulière, le renouvellement du parc se fait bien plus rapidement que dans le cas du logement, la durée de vie des véhicules se situant en moyenne autour de 15 ans. Cela peut laisser à penser que les émissions peuvent être fortement réduites du fait des gains d'efficacité énergétique tendanciels, autour de 1% par an, auxquels on assiste depuis plus de 30 ans au niveau des véhicules neufs, comme le montre la figure 1.12.



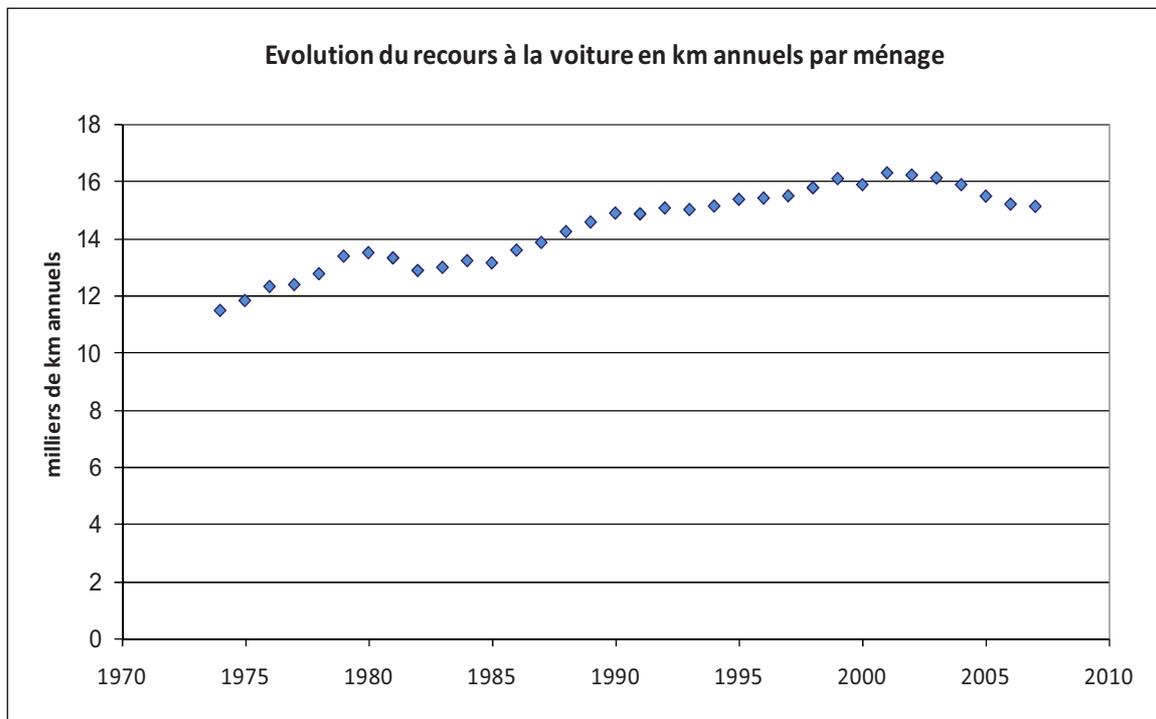
Source : Parent [2005]

Figure 1.12: Evolution des émissions de CO₂ et du type de motorisation des véhicules neufs

Ce constat d'une efficacité croissante doit cependant être amendé du fait que le parc de véhicules s'est très fortement « diesélisé » durant cette période. En effet, les gains techniques purs ont été en réalité très largement contrebalancés par une augmentation de la puissance du moteur et de la taille des véhicules, tandis que le passage de véhicules à essence (90% du parc neuf en 1980) à des véhicules à moteur diesel (75% du parc neuf en 2007) a permis de faire fortement baisser les émissions unitaires. Ainsi cette baisse historique des émissions à laquelle on a assisté ces dernières décennies ne pourra être reproduite par la suite puisque le parc est désormais composé en grande majorité de véhicules diesel.

Or, dans le même temps, le recours à la voiture s'est considérablement accru, comme le montre la figure 1.13. On assiste en effet à une croissance du nombre de kilomètres parcourus en voiture par ménage de l'ordre de 40% en 30 ans. Ce phénomène s'explique par la conjonction de plusieurs tendances historiques. Tout d'abord, l'accès à l'automobile a considérablement augmenté : la part des ménages ayant accès à l'automobile est passé de 66% dans les années 70 à près de 85% aujourd'hui, la part des individus en possession d'un permis de conduire a également augmenté, puisqu'aujourd'hui les femmes sont aussi nombreuses que les hommes à passer leur permis [Orfeuillat 2001], et on assiste de plus à un

phénomène de multi-équipement, en particulier chez les ménages dont les deux conjoints exercent une activité professionnelle.



Source : Commission des Comptes des Transports de la Nation

Figure 1.13: Evolution de la distance parcourue en voiture par ménage

Ensuite ces dernières décennies ont vu les vitesses de déplacement permises par les différents modes de transport fortement augmenter. Cela a ainsi favorisé un phénomène d'étalement urbain qui tend à augmenter les distances aux différentes aménités (lieu de travail, magasins, école...). En effet, le désir de vivre en maison individuelle et d'être propriétaire couplé au coût important des logements au centre des aires urbaines ont poussé les ménages à s'éloigner des centre-villes [Orfeuill 2001, Orfeuill et Massot 2005]. Et cet éloignement a été rendu possible sans augmentation du temps journalier passé dans les transports du fait de cette augmentation des vitesses, conformément à l'observation de stabilité des budget-temps faite par Zahavi⁸[1979]. Les couronnes périurbaines qui ont ainsi vu le jour ont été pensées de manière à favoriser l'utilisation de la voiture et l'atteinte des voies de circulation rapide, on a alors assisté à une augmentation des distances parcourues et de la part modale de l'automobile.

⁸ L'auteur de cette étude observe une stabilité assez remarquable du temps quotidien moyen passé dans les transports, autour d'une heure, quel que soit la localisation géographique des individus.

On peut toutefois noter que ces tendances de fond arrivent à un tournant et un ensemble d'effets de saturation pourraient entraîner un plafonnement de l'activité de mobilité dans les années à venir. En effet, le vieillissement de la population entraîne une baisse de la population active qui est la plus mobile, tandis que la croissance très modérée du réseau routier, la congestion urbaine et la baisse des vitesses automobiles sur tous les réseaux conduisent à un fort ralentissement tendanciel [Nogues 2010].

Ainsi, le gain tendanciel en efficacité du parc de véhicules a été plus que compensé en raison d'une part de l'augmentation de la puissance et du poids des véhicules et d'autre part d'un recours accru à la voiture. Cela a alors globalement conduit à une forte hausse de la consommation de produits pétroliers et des émissions du secteur des transports de passagers au cours des 40 dernières années.

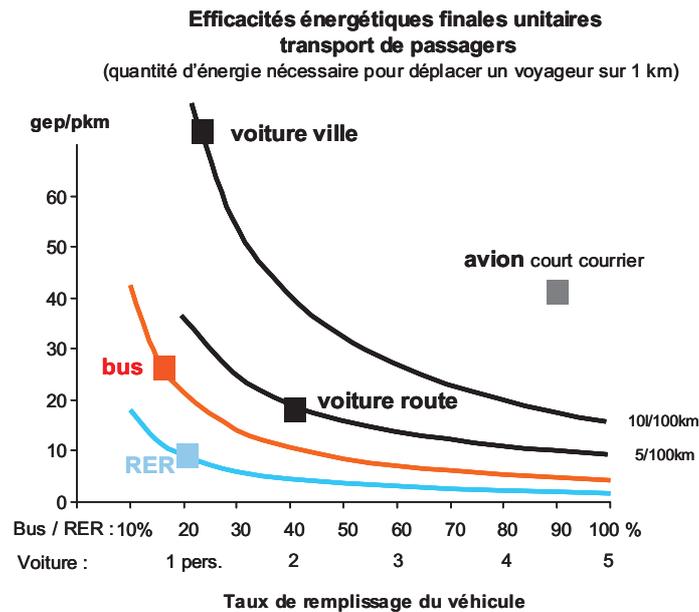
1.3.2 – Le report modal est bien souvent limité

Une solution souvent mise en avant comme alternative à l'automobile est le report modal. Le recours aux transports en commun tels que le bus ou le train apparaît comme une solution très intéressante, puisque ces modes de transport sont souvent beaucoup plus efficaces et émettent beaucoup moins de CO₂ par passager que la voiture. En effet, d'une part, ils bénéficient d'un taux de remplissage bien plus important que la voiture et d'autre part ils ont le plus souvent recours à l'électricité (métro, RER, Train) comme source d'énergie, ce qui vient alors fortement diminuer les émissions de CO₂ par passager transporté.

Ainsi, en milieu urbain la voiture particulière cumule une très mauvaise efficacité liée au fonctionnement du moteur dans une plage de rendement médiocre, un fonctionnement généralement à froid pour de petits parcours, et un taux de remplissage très faible, ce qui contribue à les rendre beaucoup plus émetteurs que les transports en commun comme le montre la figure 1.14.

Mais si le recours aux transports en commun semble de prime abord une solution intéressante, celui-ci est fortement grevé par le niveau de desserte de ces modes qui se révèle être assez limité. En effet, l'accessibilité aux différents moyens de transports en commun est très disparate en fonction de la zone de résidence des ménages. De plus, même lorsqu'il existe un accès aux stations de transports en commun, ceux-ci ne couvrent pas nécessairement la totalité des zones d'arrivée des déplacements à effectuer. Les lignes desservent en général les

zones de population et d'emploi les plus denses pour optimiser les taux de remplissage et ainsi réduire les coûts, ce qui correspond le plus souvent aux trajets centre-périphérie des grandes aires urbaines. De plus, les lignes de transports en commun ne permettent pas de desservir ces liaisons tous les jours ou à toute heure de la journée, la fréquence de passage des rames est la plus élevée pendant les heures de pointe des jours de semaine, au moment où il y a le plus de voyageurs potentiels [Bonnell et alii 2003].



Source : P.Nogues d'après CERTU

Figure 1.14: Efficacité énergétique des différents modes de transport en fonction des taux de remplissage⁹

Le report modal est également conditionné par la longueur et le motif du déplacement [Pierre 2006]. Il paraît inadapté par exemple d'utiliser les transports en commun pour des activités nécessitant le transport d'objets comme les pratiques d'achats, ou d'attendre le passage d'une rame pour un trajet de courte distance.

Enfin il faut considérer l'existence potentielle de chaînages au sein du déplacement : il est en effet possible d'effectuer plusieurs boucles au cours d'un déplacement pour diverses raisons avant de rentrer à son domicile. Il est courant par exemple que des personnes qui se rendent à leur travail le matin en profitent pour déposer leurs enfants à l'école, ou que ceux qui rentrent le soir en profitent pour réaliser des achats dans une zone commerciale, et cette pratique n'est le plus souvent compatible qu'avec l'automobile.

⁹ Les carrés indiquent la valeur des taux de remplissage actuels

Pour toutes ces raisons le potentiel de report modal se trouve finalement assez limité, d'autant plus que les liaisons les moins coûteuses ont d'ores et déjà été mises en place. Cela explique le fait qu'en dépit d'importants efforts de développement des infrastructures de transports en commun consentis ces dernières décennies, la part des déplacements associés à ces modes ait globalement stagné [Bonnell et alii 2003].

Malgré une stabilisation tendancielle de la mobilité, l'aménagement du territoire extrêmement favorable à l'automobile réalisé aux cours du siècle dernier présente une forte inertie et continuera à imposer des distances aux aménités très importantes, défavorisant ainsi une baisse du recours à l'automobile. De plus, même si les efforts pour déployer les transports en commun peuvent être importants, le report modal potentiel risque d'être limité. Ainsi, le principal effort à fournir pour réduire les émissions concernera certainement le parc de véhicules particuliers et notamment le recours à des solutions alternatives au véhicule thermique conventionnel.

Ce chapitre a permis de brosse à grands traits le paysage énergétique des secteurs résidentiel et transports et d'identifier les tendances historiques des différents usages énergétiques. Il apparaît que le parc de logements et l'aménagement du territoire sont des processus extrêmement inertiels dont l'horizon de renouvellement dépasse de loin l'horizon d'une réduction drastique des émissions de CO₂. En revanche les potentiels de réduction associés à l'isolation des bâtiments et au renouvellement des équipements de chauffage et de transports sont encore importants et accessibles à un horizon de temps raisonnable avec les technologies existantes.

Dans la suite, on s'attache à décrire la consommation d'énergie en se focalisant sur les ménages eux-mêmes pour faire le lien entre les consommations dans le résidentiel et les transports et surtout pour prendre en compte l'aspect comportemental de la consommation. Il est en effet intéressant d'essayer de caractériser ce comportement, en considérant d'une part les différentes logiques à l'œuvre dans le cadre de la consommation d'énergie, et d'autre part l'hétérogénéité des ménages vis à vis de ces logiques de consommation et des usages énergétiques.

CHAPITRE 2

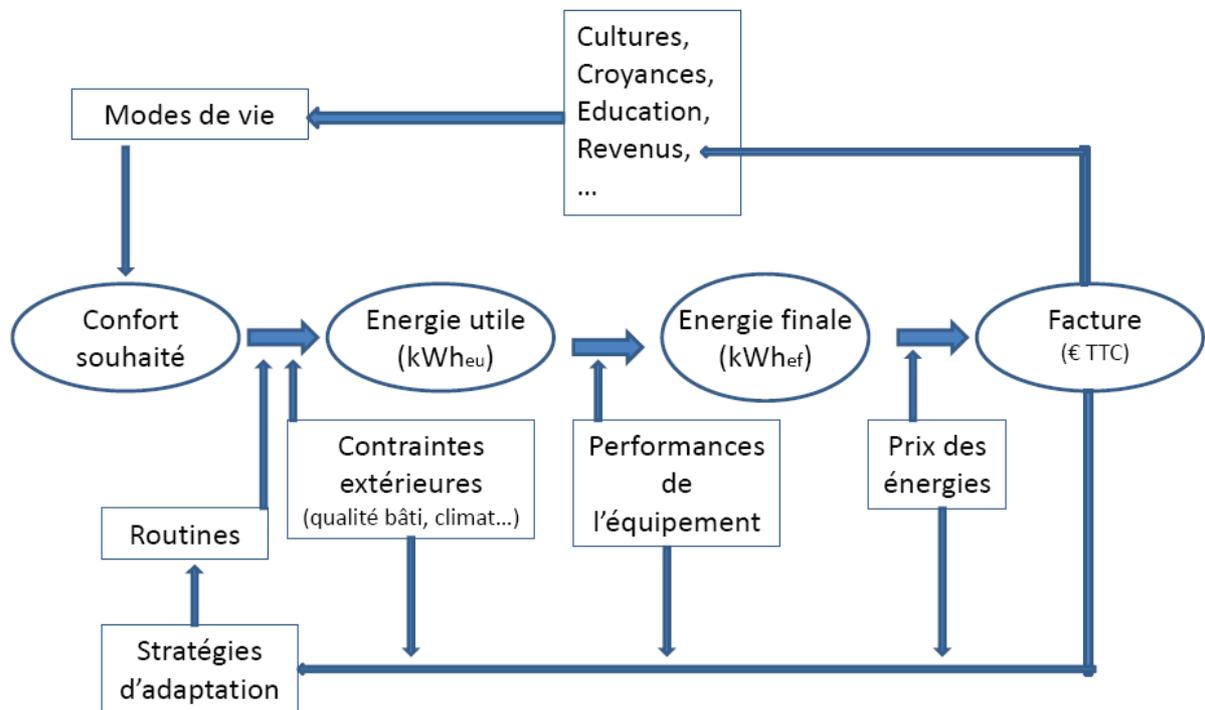
Le rôle du comportement des ménages dans la consommation d'énergie

Le chapitre précédent a décrit comment le niveau de service énergétique consommé par le ménage dépendait de l'efficacité des différents équipements énergétiques ainsi que des contraintes extérieures qui pèsent sur lui. Cependant la prise en compte des seuls éléments techniques de la chaîne énergétique ne suffit pas à expliquer les différences de consommation d'énergie observées. Il est donc absolument nécessaire de considérer les aspects liés au comportement des ménages.

En effet le niveau de confort initial en service énergétique n'est pas identique pour tous et dépend en grande partie du mode de vie du ménage, mais aussi de l'éducation reçue, des normes sociales ou encore des attitudes et valeurs des individus. De plus, ce besoin n'est pas figé dans le temps et les ménages ajustent leur consommation en fonction de l'évolution de la facture, ce qui implique une modification des habitudes du ménage en matière de pratiques énergétiques. La figure 2.1 synthétise ce contexte de consommation d'énergie. On constate que le comportement intervient principalement à deux niveaux dans ce schéma : d'une part dans le choix du niveau de confort et d'autre part dans la transition entre énergie utile et énergie finale par le biais du renouvellement de son équipement énergétique. Ces deux types de comportement énergétiques s'influencent mutuellement, néanmoins leur occurrence dans le temps et les mécanismes cognitifs du ménage qu'ils font intervenir sont très différents et la distinction entre ces deux types de pratiques est régulièrement pointée [Barr et alii 2005, Bartiaux et alii 2006]. La réalisation de travaux dans le logement modifie à un troisième niveau, le ratio entre confort et énergie utile, mais les mécanismes à l'origine de ce type de comportement sont assez semblables à ceux qui régissent l'achat d'équipements.

Ce chapitre propose donc d'étudier les différentes logiques de fonctionnement ainsi que les déterminants qui sous-tendent le comportement et le changement de comportement des ménages. Il démontre ainsi la nécessité de dépasser une représentation simpliste basée sur un ménage moyen dont le comportement serait régi par la seule théorie néoclassique. Enfin, il

permet de tirer les enseignements nécessaires en vue d'améliorer le degré de réalisme des modèles en matière de comportement



Source : Jean-Michel Cayla & Marie-Hélène Laurent

Figure 2.1 : Contexte de consommation d'énergie

2.1 – La consommation d'énergie au quotidien, du concept d'optimalité à une gestion imparfaite

La théorie microéconomique néoclassique du consommateur part du principe que les individus possèdent une connaissance parfaite de leurs préférences intrinsèques pour différents paniers de biens possibles, représentées par une fonction d'utilité propre à chaque individu. Le consommateur est un *homo-oeconomicus* qui répond à trois caractéristiques principales : égoïsme, rationalité et goûts stables dans le temps. Il maximise alors sa fonction d'utilité sous la contrainte de son budget et dans le cas de variations de prix, il modifie la composition de son panier de biens en quantité et en qualité pour optimiser son utilité. De ce point de vue, un changement de la quantité d'énergie consommée dépend uniquement des variations de prix des différentes énergies, des variations de revenu, des élasticités-prix à ces énergies, des élasticités croisées, et de l'élasticité-revenu. A court-terme, le revenu est fixe, et les substitutions entre différentes sources d'énergies se traduisent par un changement

d'équipement (sauf dans le cas particulier du report modal dans les transports), ce qui signifie que seul le prix de l'énergie a une influence concernant les pratiques quotidiennes. Une augmentation des prix se traduira donc par une baisse de la consommation d'énergie suivant :

$$\Delta x_i = \rho_i x_i * (\Delta p_i / p_i)$$

où x_i représente la consommation en énergie i , p_i représente le prix de l'énergie i et ρ_i représente l'élasticité-prix relative à l'énergie i .

Cette théorie suppose donc un individu en situation d'information parfaite, mais cela est loin d'être le cas dans les faits. Certaines informations relatives aux consommations et aux alternatives à mettre en œuvre ne sont pas toujours disponibles. Par exemple, les factures d'électricité représentent un système flou pour le consommateur qui a du mal à savoir à quels équipements imputer la consommation observée. Desjeux et alii [1996] notent que les gens sont alors souvent amenés à établir une hiérarchie des consommations suivant des critères de temps d'utilisation et de puissance, mais cette « expertise » reste fragile. Puis, il y a des informations potentiellement disponibles, mais que les individus ne vont pas chercher car cela représente un effort trop important, pour une précision jugée inutile : les économistes parlent alors de coût informationnel. En effet de nombreux auteurs considèrent que la capacité cognitive des consommateurs est limitée, ce qui les empêche alors de choisir la meilleure solution. Kahneman & Tversky [1979] considèrent que la complexité réelle du problème posé ne sera que partiellement perçue d'une part et partiellement prise en considération d'autre part par le consommateur. Kahneman [2003] parle de deux systèmes cognitifs représentant ce que nous appelons d'ordinaire l'intuition et le raisonnement. Pour lui, le caractère intuitif ou non d'un jugement est à relier à la notion d'« accessibilité » de l'information, c'est à dire de sa capacité à être perçue de manière immédiate. Certaines propriétés physiques (taille, distance, poids) ainsi que certaines propriétés abstraites (similarité, contenu affectif) sont en effet facilement accessibles à l'esprit, et relèvent donc d'un système de traitement intuitif [Kahneman & Frederick 2002]. A l'inverse, certaines informations plus difficilement accessibles relèveront alors d'un traitement cognitif plus rationnel et plus coûteux en temps. L'accessibilité et le traitement des informations sont également susceptibles d'être modifiés par de nombreux effets de contexte et de cadrage relatifs à la façon et aux circonstances dans lesquelles sont présentées les informations, comme par exemple l'effet de primauté, l'effet

d'ancrage et d'ajustement, le biais de conjonction ou encore le renversement des préférences¹⁰ pour ne citer que les principaux. A titre d'exemple, il semble que la consommation d'électricité relative à l'éclairage soit régulièrement surestimée dans la mesure où elle est plus visible que les autres [Desjeux et alii 1996]. Ce qui, ajouté à une information imparfaite sur la consommation, peut conduire à des stratégies d'attention énergétique focalisées sur ce poste en omettant d'autres consommations importantes.

La gestion de la consommation d'énergie au quotidien se caractérise par un ensemble vaste de pratiques qui ont chacune un impact assez limité en terme d'économies. Ainsi le fait de ne pas pouvoir optimiser puisque les problèmes sont trop complexes amène les individus à ne pas rationaliser des dépenses jugées trop dérisoires, ce qu'observe également Desjeux [1996] : « En règle générale on ne prête pas attention à la consommation des petits appareils électriques ».

Cependant, ce qui paraît dérisoire pour certains peut néanmoins ne pas l'être pour d'autres, et ce constat est à la base de la théorie des perspectives énoncée par Kahneman & Tversky [1979], pour qui les perspectives d'un choix se traduisent relativement à une situation de référence : en effet un gain de 3\$ sera valorisé extrêmement différemment en fonction de la richesse initiale des individus. Et Simon [1955] explique lui que les individus ne recherchent pas l'optimum parmi différentes solutions mais s'arrêtent à la première qu'ils jugent satisfaisante, c'est-à-dire meilleure que la situation de référence. Enfin, l'hypothèse de complétude des préférences est également contestée, l'individu serait incapable d'établir des préférences au delà d'un certain intervalle [Smith 1961], qui correspondrait en quelque sorte à une résolution maximale, de la même façon que la vision humaine ne distingue plus les détails au delà d'un certain niveau de finesse par exemple. On peut rapprocher cela du constat de Simon [1955] d'une rationalité humaine procédurale et bornée, et ce en raison d'une perception séquentielle de la situation. En effet, cette rationalité implique alors que plusieurs cognitions et plusieurs préférences se succèdent dans le processus de décision, l'individu se trouve alors en situation d'incertitude relativement à ses véritables préférences. Nous ne pouvons pas être sûrs de nos préférences quand nous sommes constamment soumis à des informations dissonantes en provenance de notre environnement et des autres. Ces constats sont à la base de la théorie des préférences contingentes qui supposent que les choix ne sont pas seulement faits en vertu de préférences normatives a priori du consommateur mais sont dépendantes du contexte et en particulier de la perception des informations.

¹⁰ voir Kahneman [2003] pour plus de précisions

Ensuite nous ne sommes pas habitués à réfléchir fortement et à chaque instant, la plupart du temps nous utilisons donc des raccourcis de pensée ou heuristiques pour prendre une décision. Nous sommes certes capables d'élaborer un raisonnement complexe, mais dans certains cas particuliers seulement, notamment lorsqu'il s'agira de décisions considérées comme importantes. Ainsi, une fois les possibilités évaluées, un jugement de valeur relatif aux différentes perspectives se fait en fonction de l'évaluation de ces perspectives. Celui-ci est notamment fortement influencé par l'affect, par le biais des heuristiques affectives qui comparent l'issue aux expériences passées, elles-mêmes étant associées à un jugement positif ou négatif [Bateman et alii 2006]. Il est intéressant de noter que les heuristiques constituent les éléments d'aide à la décision qui nous parviennent en premier lieu, et que les éléments de raisonnement de type économique n'interviennent qu'après. Roch et alii [2000] ont par exemple observé que lors d'un partage, les pensées qui traversaient l'esprit des individus étaient en premier lieu égalitaires, en accord avec la norme sociale que constitue l'heuristique de justice et ce n'est que dans un second temps que les participants entrevoyaient la possibilité de dévier dans un sens avantageux lorsque cela était possible. T.Jackson [2005] note également que nos comportements se basent plus souvent sur nos émotions que sur des délibérations conscientes dans la mesure où les premières précèdent les dernières dans les contextes de décisions. Ces heuristiques sont la manifestation d'une tendance à la limitation des efforts cognitifs. Il n'y a donc pas d'optimisation possible, encore moins à chaque instant, et les tentatives de rationalisation des choix portent sur des situations imparfaitement perçues. De plus, et on le voit avec les heuristiques affectives, l'évaluation ne porte pas uniquement sur des gains ou des pertes monétaires. En effet, à l'évaluation cognitive et aux choix rationnels, s'ajoutent des influences émotionnelles et des problématiques sociales et culturelles. En particulier, de nombreuses études attestent du fait que les pratiques quotidiennes sont le plus souvent le fruit d'habitudes socialement construites [Shove 2003, Kaufmann 2004].

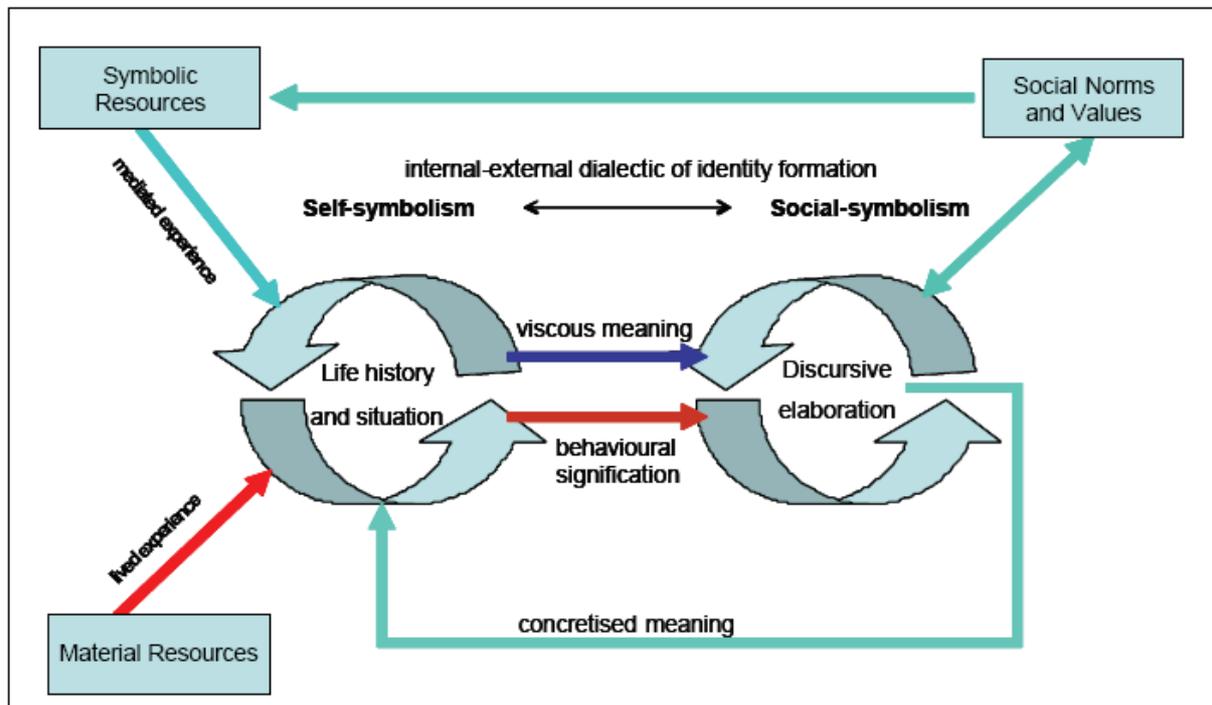
2.1.1 – L'importance sociale de la consommation d'énergie

Shove & Warde [1998] remarquent que le consommateur peut être au gré des études rencontrées introduit comme étant : « un sélectionneur, un communicateur, un explorateur, un chercheur d'identité, un hédoniste, une victime, un rebelle, un activiste ou encore un citoyen ». Ces multiples acceptions soulignent l'hétérogénéité des motivations et des

mécanismes qui sous-tendent la consommation. L'importance sociale de l'acte de consommation transparait particulièrement dans deux d'entre elles : le communicateur et le chercheur d'identité, comme le souligne Dobré [2003] « consommer sert surtout à entretenir la différenciation sociale, fabriquer des liens et constituer des identités ». En premier lieu, il peut s'agir d'un processus de comparaison sociale, les biens et les pratiques d'un individu sont socialement discriminants et indiquent la position de l'individu sur une échelle de prestige, relativement aux autres [Douglas 1976]. La taille du logement, le modèle de voiture sont bien des messages qui véhiculent la position sociale que l'on occupe. Mais plus généralement, cette communication relève de la construction sociale, en permettant la revendication d'appartenance à un groupe, et de la différenciation sociale en montrant à quel groupe précisément l'on appartient. Il y a donc une communication entre soi et les membres de son groupe et entre soi, représentant son groupe, et les autres groupes sociaux.

Cette communication sociale participe également au processus de construction de l'identité. En effet, l'on se construit et l'on se définit en grande partie par rapport aux autres : dans la façon que l'on a de se présenter aux autres et l'image que l'on souhaite envoyer, mais également à travers l'image que les autres nous renvoient. Le processus de construction de l'identité est une dynamique qui naît notamment du décalage entre ces deux images [Kaufmann 2004]. Ainsi, la consommation, en ce qu'elle participe à une forme de communication peut être vue comme un processus contribuant à la formation de l'identité [Giddens 1991, Kaufmann 2004]. De plus, la consommation de biens durables participe à ce processus identitaire par la signification symbolique associée aux biens matériels. Et ces significations symboliques ne sont pas figées, elles sont perpétuellement renégociées entre les groupes sociaux et en fonction des contextes situationnels [Blumer 1969]. Ce mécanisme manie des concepts et des imbrications complexes¹¹, la lecture de la figure 2.2 permet une vision synthétique du mécanisme symbolique et souligne la place de la consommation dans ce processus.

¹¹ Pour plus de détails sur ce mécanisme, voir J.C. Kaufmann [2004]



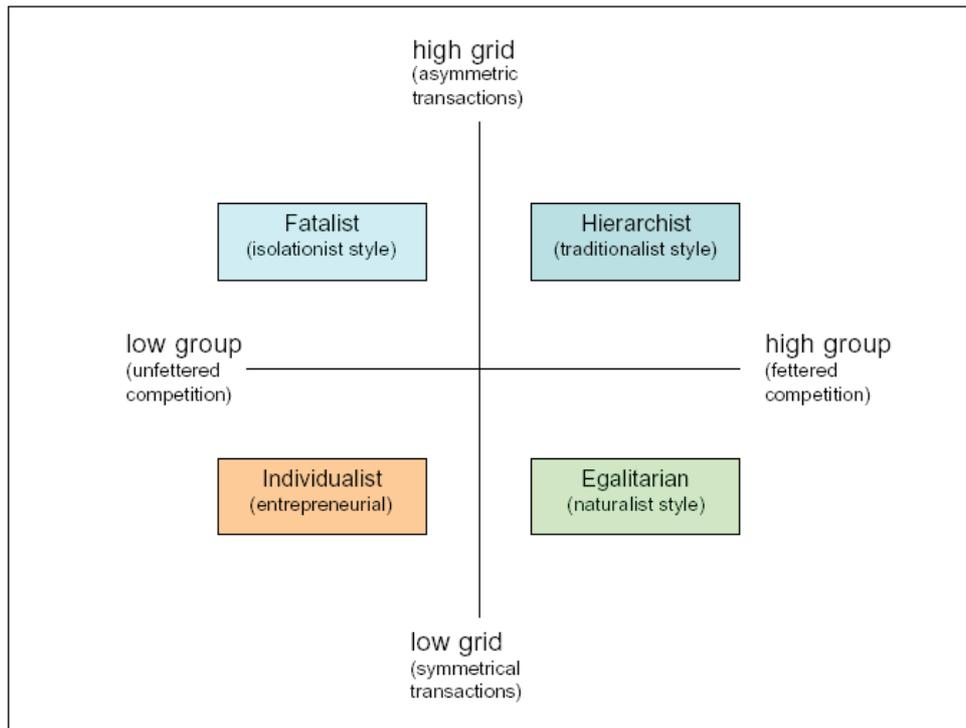
Source : Jackson [2005] d'après Elliott & Wanatasuwan [1998]

Figure 2.2 : La place de la consommation dans le projet symbolique de soi

La consommation d'énergie et son pendant, les économies d'énergie, sont également à ce titre un marqueur social, et ce, tant en ce qui concerne les équipements que la gestion de l'énergie au quotidien [Bovay 1987, Desjeux et alii 1996, Pierre 2008]. Cela signifie que les individus, à travers leurs consommations d'énergie, communiquent avec leur entourage. Le fait de choisir de se déplacer en voiture et avec un modèle particulier par exemple, participe en effet au double processus de construction de l'identité et de communication sociale, le véhicule est un présentoir de soi et de son milieu. L'énergie permet également d'entretenir ou de créer des liens sociaux, c'est le cas de l'éclairage par exemple qui permet une mise en scène lors de la réception d'amis, de la télévision, de la cuisine ou encore et surtout de l'automobile qui permet de se déplacer et de se rendre au contact des autres. Il est intéressant de constater que l'électricité est appréhendée par les ménages comme un besoin vital autant pour le confort minimal qu'elle procure que pour la connexion sociale minimale qu'elle permet d'établir [Moussaoui et alii 2005]. Le comportement des individus dans un contexte social est soumis à des normes de deux types. D'une part, il y a des normes sociales descriptives qui renvoient à la conduite qu'il est normal de tenir dans une situation donnée, qui jouent alors un rôle d'adaptation de l'individu à un contexte. Et d'autre part, il y a des normes injonctives qui se réfèrent à des règles morales et de conduite générale propres au groupe social [Cialdini et alii 1991]. Par exemple, le fait de se placer au bout de la file

d'attente pour bénéficier d'un service correspond plus à une norme descriptive, tandis que le fait de donner l'aumône renvoie plus à une norme injonctive. Les comportements de consommation d'énergie sont influencés par le cadre normatif dans lequel évolue le ménage, en particulier, de fortes différences peuvent apparaître suivant les groupes sociaux en fonction des normes injonctives en vigueur. Le mode de déplacement et la tenue vestimentaire sont par exemple des messages d'appartenance à un groupe social, et leur choix est donc soumis à des normes. Ainsi, tout le monde n'est pas en mesure de se rendre en métro sur son lieu de travail, ni de s'habiller de telle façon à pouvoir s'y rendre en vélo note Jensen [2005]. La nécessité de tenir son rang ou celui de son groupe social réduit alors les choix possibles quant au type de déplacement [Goffman 1956], ou du moins exerce une pression sur eux. Et si ce jeu d'interactions sociales est surtout présent dans le cadre public, il n'en n'est pas pour autant absent dans le cadre privé. La visibilité est bien entendu un facteur important concernant l'influence de la norme. Mais l'on peut retrouver une influence normative jusque dans les pratiques domestiques. A titre d'exemple, Jensen [2005] remarque que tout le monde n'est pas « autorisé » à faire la vaisselle à la main ou à réduire la température en dessous de 17°C.

La nature des ressources symboliques employées dans les processus de communication sociale et la forme de ces communications peut néanmoins varier en fonction des sociétés et donc des cultures [Jackson 2005]. La structure de la société se déduit d'une part de l'importance relative du groupe par rapport à l'individu et d'autre part, du caractère plus ou moins libre des relations entre les différents groupes, comme sur la figure 2.3. Et ce qui semble intéressant à noter c'est que les influences culturelles des individus sont également classables selon ces quatre catégories en fonction de l'importance qu'ils accordent au groupe par rapport à eux-mêmes et la façon dont ils positionnent leur groupe par rapport aux autres [Douglas & Isherwood 1979]. Cette dimension culturelle vient alors conditionner en retour l'importance des normes sociales sur le comportement de l'individu : qu'il s'agisse des normes propres à son groupe ou de la représentation envers les autres groupes.



Source : T.Jackson 2005

Figure 2.3 : Structure des différentes sociétés dans la théorie des cultures

Et il semble que dans les sociétés modernes occidentales, le contenu symbolique soit transmis en grande partie et de plus en plus par la consommation comme le note Giddens [1991]. Cette montée en puissance peut s'expliquer en partie par le déclin des institutions d'une part qui supprime certains repères qui pouvaient servir de base à la construction de l'identité [Dubet 2002]. Et ces sociétés modernes imposent à l'individu de jouer de plus en plus de rôles avec de moins en moins de ressources identitaires collectives, ce qui implique donc nécessairement une expression par la consommation de plus en plus importante et diversifiée.

Il existe plusieurs logiques à l'œuvre, et Desjeux [1996] considère que les décisions des acteurs sont à la fois des productions sociales, des transactions sociales, et la résultante de schémas a priori de la perception qui structurent les arbitrages. Ces choix sont autant organisés par le sens, l'imaginaire et la culture relatifs à l'identité que par les intérêts et les calculs.

2.1.2 – La gestion quotidienne : un jeu de routines ancrées

Il fait relativement consensus que les consommateurs ont une capacité cognitive limitée, sont en situation d'information imparfaite et imparfaitement traitée par eux, et qu'il existe un effort à l'acquisition de ces informations et surtout un effort à tenter de rationaliser au maximum une décision. Les choix sont alors guidés le plus souvent par des heuristiques et par des préférences contingentes qui se transforment peu à peu en habitudes. Pour toutes ces raisons, la consommation d'énergie est donc plus une gestion de la consommation qu'une optimisation en temps réel. L'électricité par exemple n'est pas considérée comme un bien marchand à part entière dont on cherche à optimiser l'utilité mais comme une source d'attention dans les budgets des ménages [Moussaoui et alii 2005]. En effet, comme le note J.P.Orfeuill [2001], les individus sont beaucoup plus des « maximiseurs d'utilité » que des « minimiseurs de coût ». Cela signifie que la consommation d'énergie est considérée comme un poste budgétaire qui occupe une certaine place dans un budget global et les ménages veillent à ce que son importance reste maîtrisée. La composition et l'importance de ces postes dans le budget global des ménages dépendant fortement de la position sociale [Baudelot & Establiet 1994].

Cette gestion se décline en deux types de pratiques essentiellement : la lutte contre le gaspillage et la régulation du niveau de confort [Desjeux et alii 1996]. L'importance relative de ces pratiques varie entre les ménages et constitue en quelque sorte une tâche domestique dont l'importance varie avec le coût de l'énergie, les moments de la vie et en fonction des priorités à gérer [Moussaoui et alii 2005]. C'est à dire en fonction des arbitrages que les ménages décident de réaliser. Les efforts d'attention éventuels sont portés sur les postes les plus importants (ou ceux que les individus pensent être les plus importants) dans la mesure où l'on peut leur attribuer l'essentiel de l'origine des dépenses. Comme précédemment évoqué les pratiques d'attention énergétiques sont nombreuses et permettent toutes d'économiser un petit peu d'énergie. De ce point de vue, elles constituent un répertoire de pratiques possibles dans lequel les gens piochent en fonction de l'effort perçu et en fonction de la logique qui anime ces gestes : logique financière, logique anti-gaspillage, logique écologique ou logique de critique de la surconsommation. Par exemple, pour les classes moyennes propriétaires avec enfants, l'arbitrage se fait en faveur d'un style de vie tourné vers une norme de modération : offrir le confort nécessaire à ses enfants, mais en même temps, ne pas gaspiller ni vivre dans le luxe. Ainsi, ces ménages font attention à l'énergie, luttent contre le gaspillage et choisissent de mettre en pratique certains gestes mais ne veulent pas faire la chasse aux économies, ne veulent pas paraître radins et laissent filer pour d'autres usages. En particulier, le répertoire

d'actions se concentre sur les gestes qui cumulent logique économique et logique écologique [Moussaoui 2005].

Les choix de consommation sont donc régis par des heuristiques qui permettent une évaluation rapide et imparfaite, et ces choix se transforment alors en habitude et en routines [Tversky & Kahneman 1986]. On peut même considérer que ces routines sont rationnelles en un sens puisqu'elles permettent de minimiser les coûts de transaction que constituent les efforts cognitifs propres à une délibération [Jackson 2005]. Ces habitudes sont alors généralement difficilement remises en cause et un cheminement cognitif relativement long est nécessaire pour aboutir à un changement [Pautard 2008]. En effet, le changement en lui-même demande un effort cognitif, il est donc nécessaire que cette pratique devienne une méta-routine afin de ne plus demander d'effort, si cette routine ne se forme pas, la pratique sera alors abandonnée au cours du temps ou bien appliquée seulement ponctuellement. Une des explications possibles à l'inertie constatée réside dans le fait qu'une fois une décision prise, l'individu aurait tendance à occulter les informations qui lui parviendraient si elles sont contradictoires avec les choix qu'il a effectués. Ce phénomène connu sous le nom de dissonance cognitive [Festinger 1957] est ainsi avancé pour expliquer que les possesseurs de 4x4 minimisent généralement l'impact environnemental de leurs pratiques sur l'environnement car cela remet en cause leur choix. Cet effet sera d'autant plus fort que le choix est difficile à remettre en cause, il se manifestera donc plus fortement dans le cas d'achats d'équipements. Il est intéressant de noter à ce titre, que le manque d'information n'est donc pas décisif dans le fait de ne pas changer ses habitudes. En effet, plusieurs expériences menées par Bartiaux et alii [2006] auprès de ménages auxquels ils proposaient plusieurs types d'information ont révélé des réactions tout à fait modestes. Réciproquement, lorsqu'un individu adopte un comportement favorable à l'environnement, cela peut le conduire à adopter une attitude plus positive vis à vis d'autres pratiques respectueuses de l'environnement, et envers lesquelles il pouvait avoir une opinion défavorable. Cet effet issu de la même idée d'une réduction de la dissonance cognitive est appelé « positive spillover » [Thørgensen 1999]. Ce phénomène pourrait expliquer le constat de M.Pierre [2008] qu'un geste d'économie d'énergie peut en appeler un autre.

Il semble que les habitudes ne soient remises en cause que lors de situations de choc [Pautard 2008]. Il peut s'agir de chocs en terme de prix des énergies : une forte augmentation peut-être source de changement d'habitudes. Comme cela a été observé par Boonekamp

[2007], l'élasticité de court-terme à l'énergie dépend fortement de l'augmentation du prix : une faible augmentation pourra se traduire par une élasticité nulle tandis qu'une forte hausse sera un signe déclencheur d'un changement de comportement, ce qui se traduit par une élasticité plus élevée. On peut donc observer des effets de seuil, correspondant certainement à une décision d'attention budgétaire de la part des ménages, et qui vont donc changer leurs habitudes pour faire face à cette hausse. Un choc émotionnel peut également être l'occasion d'une remise en cause, en particulier l'agacement face à une situation qui n'est plus tenable constitue une des émotions décisionnelles les plus importantes [Kaufmann 1997]. Par exemple le fait de trouver systématiquement la télévision allumée lorsque personne ne la regarde peut être l'occasion d'une remise en cause et de fixation de nouvelles règles de gestion lorsque l'agacement survient. Il a été également observé que les ruptures dans le cycle de vie, et qui marquent le passage d'une étape à une autre, sont des moments privilégiés de remise en cause des habitudes. L'installation du ménage, l'entrée dans la vie professionnelle, l'acquisition du logement, la naissance d'un enfant, la séparation, le veuvage, le départ des enfants ou encore le départ à la retraite sont autant de moments importants dans une vie et d'occasions de changement en terme d'énergie : qu'il s'agisse de rompre les habitudes, de changer d'équipement ou encore de réaliser des travaux [Desjeux et alii 1996, Beillan et alii 2005]. De plus, si ces périodes peuvent être l'occasion d'une remise en cause, il existe en particulier deux moments clés d'apprentissage qui conditionnent fortement les pratiques pour la suite : il s'agit de l'enfance et de la mise en ménage [Moussaoui 2005]. Pendant l'enfance, nombres de pratiques sont inculquées par les parents qui ne sont pas nécessairement remises en cause par la suite [Moreau & Wibrin 2005], par exemple, dans une enquête portant sur 1000 ménages belges, ils sont 80% à déclarer baisser la température du logement en cas d'absence ou pendant la nuit par simple éducation¹² comme le montre le tableau 2.1.

¹² au sens d'habitude prise par l'éducation reçue et l'influence des pratiques de leurs parents, et non au sens de savoir-vivre

Principal motivation to make energy savings	Lowers the temperature during absences of several hours in the winter time	Lowers the temperature during the night in the winter time (sign.) ⁴	Turns off the heating during the airing in the winter time	When the respondent buys electric appliances, the low level of energy consumption is a criterion to buy it (sign.)	Never turns off the television only from the remote control (sign.)	Always switches off the light when leaving a room for five minutes (sign.)	Total on row
By education	79,1%	86,6%	56,1%	77,9%	33,8%	28,2%	28,9%
For economic reasons	83,6%	90,7%	70,0%	81,1%	28,5%	25,4%	25,0%
By sense of collective responsibility	90,9%	93,8%	64,3%	88,5%	28,9%	22,9%	17,3%
To protect the environment	83,3%	89,8%	58,1%	87,4%	33,6%	24,1%	14,9%

Note: For the modalities on row, we retained only those which represent more than 10% of the whole sample

Source: SEREC, September 2004.

Source : Moreau & Wibrin 2005

Tableau 2.1 : L'éducation reçue comme explication des pratiques domestiques

En ce qui concerne la mise en ménage, elle est le moment de confrontations de deux répertoires d'habitudes qui peuvent aboutir à des négociations plus ou moins fortes, principalement focalisées sur le chauffage. Desjeux [1996] repère ainsi quatre familles d'échanges familiaux qui correspondent à différents niveaux de tension dans l'échange. Des situations de rupture liées au cycle de vie qui donnent le plus souvent lieu à des échanges de type marchands ; des conflits latents qui aboutissent à ce que l'auteur appelle une « guérilla quotidienne » et qui donne lieu à une « guerre des boutons » pour la maîtrise de l'énergie, en référence à la lutte pour éteindre les interrupteurs et ne pas gaspiller d'électricité. Mais il existe aussi des transactions en cas de désaccord qui aboutissent après compromis à des règles de vie pérennes ; et enfin des échanges routinisés dans lesquels n'interviennent pas de négociations, il s'agit d'accords tacites non remis en cause. L'auteur explique que plus les échanges sont conflictuels plus ils sont rationalisés, tandis que les échanges les plus routinisés répondent à une logique de non-calcul. Ce constat est également fait par Bateman & Munro [2005] : ils proposent des choix à réaliser en situation d'incertitude à des couples, ensemble ou individuellement à chaque membre du couple, et observent que les décisions prises conjointement (après négociation ou non) sont très différentes de celles prises seules, notamment elles sont beaucoup plus averses au risque. La négociation ou le conflit et le fait de devoir débattre, imposent de conscientiser la pratique, ce qui remet à plat les arbitrages

effectués jusqu'à présent¹³. Si la situation familiale dans laquelle on se trouve est importante, l'âge joue également un rôle clé. Un âge avancé peut en effet expliquer un certain renoncement au changement lié à des habitudes éprouvées, à des capacités physiques déclinantes et un manque de dynamisme. L'âge serait la meilleure variable explicative d'un changement d'équipement de chauffage [Mahapatra & Gustavsson 2008]. Mais on peut surtout mentionner que l'éducation reçue répond à un contexte historique qui varie en fonction des tranches d'âges et qui peut conduire à des effets de génération. Les plus de 65 ans ont connu la guerre pendant leur jeunesse et évolué dans un contexte de privation, tandis que les 50-65 ans ont connu la « chasse aux gaspis » durant les années 70, alors que les jeunes d'aujourd'hui (moins de 25 ans) évoluent dans un contexte de forte prise de conscience de raréfaction des ressources et des problèmes environnementaux liés à l'utilisation d'énergie. Finalement, le « poids des habitudes » peut être entendu au sens physique du terme, il s'agit effectivement d'un poids à traîner qui s'oppose au changement de quelque nature qu'il soit. Ainsi la motivation à changer dans une direction donnée et l'importance du choc (hausse de prix, pression sociale, gain de confort) doivent être suffisamment élevés pour déclencher le mouvement et traîner le poids. C'est la représentation adoptée par Jensen [2005], dans un contexte d'arbitrage réalisé uniquement par rapport à la variation de réputation sociale, mais qui reste valable avec d'autres arguments.

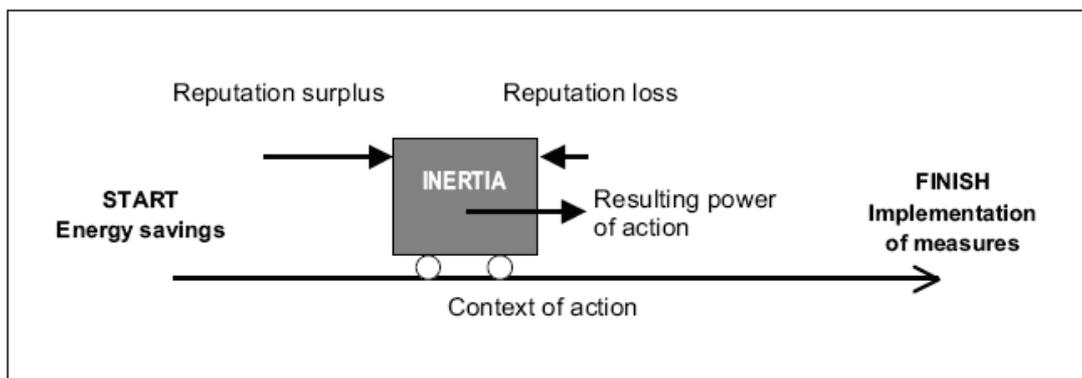


Figure 5. The Inertia model adjusted to the context of energy saving.

Source : Jensen 2005

Figure 2.4 : La résistance au changement

¹³ Le terme de rationalisation employé ici ne renvoie pas nécessairement à la rationalité économique, il signifie simplement que la décision d'agir est relative à un arbitrage effectué consciemment et non le fruit de reflexes ou d'habitudes.

Par exemple, le fait d'éteindre les lumières systématiquement lorsque l'on quitte une pièce nécessite un effort pour celui qui était habitué à les laisser allumées, mais l'on peut gager que se mettre à laisser les lumières allumées systématiquement alors que l'on était habitué à les éteindre demanderait également un effort.

On voit donc apparaître une vision des pratiques quotidiennes de consommations assez éloignée de l'idée d'une optimisation rationnelle instantanée relative à des préférences et à une élasticité au prix de l'énergie. Il semble plutôt que ces pratiques s'insèrent dans des modes de vie variés qui doivent faire face à des contraintes d'ordre économique, culturel et social, et ne soient l'objet tout au plus que d'une gestion. Ces consommations quotidiennes se basent sur des routines d'évaluation pour répondre aux différentes injonctions et se traduisent par des gestes intériorisés qui se transforment alors en habitudes [Shove & Warde 1998, Shove 2003].

2.2 – L'achat d'équipements

La situation en matière d'achat d'équipement est assez différente de celle concernant les pratiques de consommation quotidiennes qui s'inscrivaient dans un schéma de routines. D'un point de vue économique l'achat d'équipements et la réalisation de travaux sont considérés comme des investissements. D'après la théorie néoclassique de l'utilité espérée, le consommateur en situation d'information parfaite maximise donc son utilité sur une période de temps correspondant à la durée de vie de l'équipement. Les économies d'énergie futures liées à l'équipement performant sont actualisées par le consommateur à l'aide d'un taux d'actualisation censé représenter sa préférence pour le présent. Le consommateur investira donc dans un équipement donné si la somme des économies actualisées compense le coût d'investissement :

$$VAN = (-I + \sum_{k=1}^L (F_k - F_k') / (1 + a)^k) > 0$$

où VAN est la valeur actuelle nette, I est le coût d'investissement, F_k est la facture énergétique de l'année k avant changement d'équipement, F_k' est la facture énergétique après changement, L est la durée de vie de l'équipement et a représente le taux d'actualisation.

Le taux d'actualisation des ménages étant généralement assez proche des taux d'intérêt des marchés soit environ 5%, de nombreuses études technico-économiques ont conclu à l'existence d'importants gisements d'économies d'énergie rentables. Mais il a été constaté

que les ménages adoptaient très peu ces mesures d'économies rentables : comme isoler ses combles ou changer de système de chauffage, conduisant à ce qui est couramment appelé l' « energy-paradox » [Jaffe & Stavins 1994]. En effet, à la suite du premier choc pétrolier de 1973, de nombreux travaux, menés principalement aux Etats-Unis, ont tenté de mesurer ce taux d'actualisation par des techniques économétriques en observant les pratiques d'achat d'équipement des ménages. Lors de ses travaux pionniers concernant l'achat de climatiseurs Hausman [1979] constate un taux d'actualisation moyen de 25% environ. Il utilise pour cela une méthode de préférences révélées en prenant en compte les caractéristiques objectives des différents équipements telles que la durée de vie ou encore la taille. Et dans une célèbre revue de littérature sur le sujet, Train [1985] constate des valeurs de taux d'actualisation variant entre 20% et 50%. Ces valeurs très élevées viennent confirmer le paradoxe énergétique : d'un côté des investissements qui semblent rentables et de l'autre côté des ménages qui investissent suivant des taux d'actualisation implicites très éloignés de ceux constatés dans d'autres domaines. Ce qui fait dire à Jaffe & Stavins [1994] que soit les consommateurs utilisent un taux élevé parce qu'ils sous-évaluent la rentabilité des mesures à cause de l'incertitude sur les prix futurs de l'énergie, soit les consommateurs utiliseraient un taux d'actualisation classique mais dans une situation de défaillances et de barrières de marché, ce qui les amèneraient à exiger une rentabilité plus forte.

2.2.1 – Des défaillances et barrières de marché nombreuses

Concernant les défaillances de marché, d'une part il existe une situation d'information imparfaite [Jaffe & Stavins 1994]. Les ménages manquent d'information sur les nouvelles technologies disponibles, concernant l'existence même de ces technologies, ses attributs ou la rentabilité qu'ils pourraient tirer de cette technologie¹⁴. La seconde défaillance de marché est due à l'existence de problèmes « principal/agent ». En effet, dans la mesure où celui qui investit n'est pas le même que celui qui paye les factures, ce qui est le cas pour des mesures de rénovation du bâti par exemple, le propriétaire se trouve en situation d'asymétrie d'information et ne peut pas bien évaluer le caractère rentable d'un tel investissement. Il ne

¹⁴ Ils soutiennent que l'information relative aux technologies aurait des attributs de bien public, dans la mesure où celle-ci est utilisable par tous et que son accès ne peut être restreint, et cela expliquerait le fait qu'elle ne soit pas disponible en quantité optimale. De plus Jaffe & Stavins (1994) expliquent que l'adoption d'une nouvelle technologie créerait une externalité positive dans la mesure où elle génère de l'information gratuitement aux autres utilisateurs. D'où le terme de défaillance de marché.

peut alors que se baser sur un comportement moyen du locataire, ce qui conduit à des problèmes de sélection adverse [Jaffe & Stavins 1994].

En ce qui concerne les barrières de marché, la liste est plus longue à commencer par le manque d'information privée concernant la situation particulière de chaque consommateur. C'est à dire, l'information concernant ses propres consommations, qui fait fortement défaut comme vu précédemment, mais aussi l'information concernant les différents vendeurs, la faisabilité technique et plus généralement l'information relative aux circonstances de l'investissement, et dont l'acquisition a un coût. Et il existe une large variété de coûts « pratiques » rencontrés par le particulier susceptibles d'abaisser le seuil de rentabilité : des coûts de transaction (démarchage, prise de rendez-vous...), des coûts de mise en place de l'équipement (gêne occasionnée par des travaux) ou encore des coûts administratifs [Joskow & Marron 1992]. Cependant ces types de coûts ne semblent pas rédhibitoires à l'acquisition de matériel performant, ils peuvent expliquer une certaine forme d'inertie qui contribue au fait que des investissements « rentables » ne soient pas effectués ou prennent du temps à être effectués. Mais ils n'expliquent en aucun cas le fait que des équipements moins performants soient choisis lorsque d'autres plus efficaces sont disponibles, comme cela est le cas au moment d'un renouvellement par exemple, puisque alors les mêmes coûts s'appliquent à la technologie moins efficace. Et concernant l'information, si la connaissance de l'existence des technologies semble être un pré-requis nécessaire, elle ne semble absolument pas suffisante pour déclencher l'achat. Ensuite, les choix d'investissement sont effectués en situation d'incertitude sur les prix futurs de l'énergie, et donc sur les économies effectivement réalisées dans le futur [Jaffe & Stavins 1994]. Cela signifie que le critère d'investissement n'est plus la valeur actualisée nette, mais son espérance, en vertu de la théorie de l'utilité espérée. Le taux d'actualisation employé reflètera alors d'une part la préférence pour le présent, mais également la rémunération du risque comme pour un actif financier classique.

De plus, ces investissements peuvent être considérés comme étant irréversibles, comme dans le cas de travaux, où les améliorations énergétiques ne peuvent être déconstruites, ou dans le cas d'achats d'équipements nécessitant des travaux et/ou une installation lourde (chaudières, panneaux solaires), puisque les coûts de transaction relatifs à la déconstruction seraient trop élevés. Quant aux autres investissements dans des équipements efficaces, ils sont considérés à tout le moins partiellement irréversibles, dans la mesure où il semble assez impensable de revendre le matériel efficient afin de s'en procurer un plus énergivore en cas de baisse des prix de l'énergie. Le matériel une fois acheté est de plus

difficilement revendable sur les marchés d'occasion¹⁵. Cette nature irréversible de l'investissement est extrêmement importante à considérer dans le cas de travaux ou d'achats d'équipement contingents car il existe alors une valeur à attendre avant d'investir, comparable à une valeur d'option financière. En effet, l'investisseur peut repousser sa décision d'investissement en attendant d'avoir de meilleures informations sur les prix des énergies et il peut également tabler sur une baisse de coût des nouvelles technologies¹⁶. La règle de décision d'investissement n'est donc plus le critère de la valeur actuelle nette et le calcul de rentabilité doit inclure le coût de perte de l'option lorsque l'investissement est réalisé [Pyndick 1991]. La combinaison de l'incertitude et de l'irréversibilité des investissements, accompagnées de la flexibilité des investissements, c'est à dire la possibilité d'investir à tout moment, joue particulièrement en défaveur des investissements [Metcalf & Rosenthal 1995]. Ceux-ci sont reportés dans le temps en attendant que le prix de l'énergie monte, et doivent être particulièrement rentables pour être adoptés. En effet, Hassett et Metcalf [1993] considèrent d'après le modèle qu'ils développent que le taux d'actualisation moyen peut alors être multiplié par 4, ce qui correspond aux valeurs situées autour de 20% constatées dans les différents travaux précédemment cités.

La théorie économique considère que les choix du consommateur en situation d'incertitude sont guidés par l'espérance de la valeur actuelle nette. Si les biais cognitifs évoqués précédemment s'appliquent également ici, d'autres biais spécifiques aux situations de choix incertains relevés par l'économie comportementale s'appliquent également.

Kahneman & Tversky [1979] dans leur théorie des perspectives énoncent que les individus auraient une forte aversion à la perte : dans le cas de choix risqués (des loteries dans leurs expériences), un gain certain sera moins valorisé que ne sera dévalorisée une perte certaine de la même ampleur. Autrement dit il y a une asymétrie d'aversion au risque entre les situations de gain et celles de perte, et cette différence entre les deux situations se traduit par un rapport de 2 à 2,5 [Kahneman et alii 1991]. L'importance des effets de cadrage et du « choix » de la situation de référence peut alors faire varier la perception que l'on peut avoir de la rentabilité d'un investissement, selon que l'on considère la réduction de la facture d'énergie comme un gain d'argent ou une réduction de la perte d'argent.

¹⁵ En particulier à cause des problèmes de « lemon markets » [Akerlof 1970], et même dans le cas des véhicules particuliers qui bénéficient pourtant d'un marché d'occasion relativement actif, on ne constate pas de rééquipement en raison d'une baisse des prix des carburants.

¹⁶ La baisse de coût des technologies peut provenir de multiples facteurs : principalement « learning by doing », « learning by using » et économies d'échelle. Pour une revue d'études, voir Thirtle & Ruttan [1987] et Kahouli-Brahmi [2008].

De plus, un montant d'investissement donné peut être perçu différemment selon qu'il soit envisagé dans un cadre de dépenses plus large ou indépendamment. Il semble par exemple que beaucoup de mesures d'efficacité énergétique importantes (nécessitant des travaux ou un aménagement du logement) sont entreprises dans le cadre de rénovations plus lourdes du bâti. Lors d'une étude sur les ménages propriétaires aux Pays-Bas, les auteurs constatent que 49% des poses de double-vitrage, 65% de divers travaux d'isolation et 37% des installations de chaudières se trouvaient dans ce cas [Bruel & Hoekstra 2005]. En effet, le fait d'investir dans des mesures d'efficacité n'engendre qu'un surcoût mineur par rapport au prix global des travaux, tandis que par rapport à une situation de référence avant-travaux ce coût aurait pu paraître prohibitif. Jensen [2005] constate également que beaucoup de mesures sont effectuées à la construction d'un logement neuf, et ce notamment parce que le montant des mesures est faible au regard du montant déjà engagé dans le logement.

2.2.2 – Des ménages hétérogènes et des critères de choix multiples

Ces valeurs de taux d'actualisation élevées en situation d'incertitude et d'irréversibilité correspondent à des comportements moyens, mais peuvent varier grandement en fonction des différents ménages et notamment en fonction du revenu de ces ménages. En effet, l'exigence de rentabilité varie d'un ménage à l'autre : les ménages riches posséderont de la capacité à investir tandis que les ménages les plus pauvres ne seront pas en mesure de financer un investissement rentable à 20 ans. C'est ce que constate Hausman [1979] qui trouve des taux d'actualisation implicites variant de 5% à près de 90% en fonction du revenu.

Income class	Number of observations	Implied discount rate
< 6000 \$	6	89%
6000-10000 \$	15	39%
10000-15000 \$	16	27%
15000-25000 \$	17	17%
25000-35000 \$	8	8.9%
35000-50000 \$	3	5.1%

Source : Hausman 1979

Tableau 2.2 : Taux d'actualisation implicite en fonction du revenu

En effet, l'inégalité d'accès au capital et l'hétérogénéité des ménages en matière de revenu sont deux autres points très importants à souligner qui peuvent expliquer la non

adoption de mesures jugées rentables. On peut constater que pour les ménages les plus aisés, et qui n'ont certainement pas de difficulté d'accès au capital, le taux d'actualisation observé est proche de celui des marchés. Dans une étude économétrique, Jaffe & Stavins [1995] constatent que l'effet du coût d'investissement initial de travaux de rénovation (plafonds, murs et planchers) joue un rôle 3 fois plus important que celui du prix de l'énergie, de même que dans le cas de réfrigérateurs où c'est le prix d'achat et non le coût de l'électricité qui a une influence [Young 2008], ce qui tend à aller dans le sens d'une difficulté d'accès au capital. Ainsi, la hausse des prix de l'énergie, loin de stimuler les économies d'énergie, comme cela est souvent supposé, se traduit par une réduction dans le budget et rend l'accès au capital plus difficile, gênant ainsi l'investissement des plus pauvres [Dillman et alii 1983].

Le caractère anormalement élevé des taux d'actualisation relevés dans la littérature a été en partie explicité par l'existence de barrières de marché. Cependant, il existe de grandes disparités entre les usages : Dubin & McFadden [1984] trouvent des taux de 20% pour les technologies de chauffage, Gately [1980] trouve des taux compris entre 45 et 300% pour des réfrigérateurs, tandis que Ruderman et alii [1987] trouvent des taux compris entre 20 et 800% pour des technologies de chauffage et de froid. Pourquoi, alors que les conditions économiques sont très proches (irréversibilité, incertitude, condition d'accès au capital, information imparfaite..) certains investissements sont-ils réalisés par les ménages avec des taux de 20% et d'autres avec des taux de 100% ? Et pire encore, comment expliquer par exemple le fait que des individus puissent changer leur réfrigérateur actuel pour d'anciens réfrigérateurs américains d'occasion des années 50 à un prix 4 à 5 fois supérieur aux meilleurs réfrigérateurs actuels ? Cet exemple peut paraître un peu excessif et ce type d'achats est sans doute le fait d'une poignée de collectionneurs, mais il illustre bien le fait que dans beaucoup de cas l'achat d'un équipement n'est absolument pas perçu comme un investissement. Si l'on considère que les équipements ne permettent que de fournir un service énergétique à moindre coût, alors ils seront comparés sur la base de leur efficacité énergétique, de leur durée de vie et de leur prix d'achat. Mais dans la majorité des cas, il existe bien d'autres critères de décision liés au confort, à l'esthétique et également à l'image de soi renvoyée aux autres. En effet, il existe beaucoup de modèles d'équipement différents répondant à une même dénomination, et chacun de ces modèles possède des attributs objectifs (taille, coût, efficacité) et subjectifs (confort, esthétique) différents. Par exemple Mahapatra & Gustavsson [2008] lorsqu'ils étudient l'importance de différents attributs dans le cas du choix d'un système de

chauffage¹⁷ constatent (voir tableau 2.3.) que si le coût d'utilisation et le prix d'achat sont bien des critères prépondérants dans le choix du système, la facilité d'utilisation, le confort de chauffage et de l'air ou encore la fiabilité du système sont également des critères à prendre en compte.

Baseline survey			Re-survey		
Factor	Mean ^a	Wilcoxon test ^b	Factor	Mean ^a	Wilcoxon test ^b
Annual cost of heating (N = 493)	3.60 (0.031)		Annual cost of heating (N = 579)	3.71 (0.021)	
Functional reliability (N = 490)	3.45 (0.033)	**	Functional reliability (N = 547)	3.65 (0.023)	**
Investment cost (N = 531)	3.32 (0.034)	**	Indoor air quality (N = 517)	3.29 (0.032)	**
Indoor air quality (N = 464)	3.27 (0.037)	N.S.	Investment cost (N = 572)	3.25 (0.031)	N.S.
Security in fuel supply (N = 441)	2.97 (0.046)	**	System automation (N = 542)	2.99 (0.036)	**
System automation (N = 464)	2.75 (0.042)	**	Security in fuel supply (N = 474)	2.88 (0.044)	N.S.
Environmental benignity (N = 463)	2.73 (0.044)	N.S.	Environmental benignity (N = 503)	2.85 (0.040)	N.S.
Increased market value of home (N = 443)	2.49 (0.045)	**	Low GHG emission (N = 495)	2.70 (0.039)	**
Low GHG emission (N = 437)	2.47 (0.046)	N.S.	Increased market value of home (N = 513)	2.44 (0.038)	**
Time for collection of information (N = 410)	1.85 (0.042)	**	Time for collection of information (N = 481)	1.96 (0.037)	**

^a1 = not important, 2 = less important, 3 = important, 4 = most important. Values in parentheses are standard errors.

^bN.S. = not significant, **significant at $p \leq 0.05$.

Source : Mahapatra & Gustavsson 2008

Tableau 2.3 : Importance de différents attributs d'un système de chauffage

De plus, les équipements sont des supports de l'expression sociale, comme l'expliquent Douglas & Isherwood [1979] : « Les objets sont toujours pris dans les processus sociaux de distinction culturelle, de constitution des identités et des appartenances, qui dépassent de loin leur simple fonction matérielle ». Les rôles sociologiques de communication et de construction de l'identité évoqués plus haut s'appliquent donc aux équipements, mais plus fortement en tant que consommation visible et durable. Shove & Warde [1998] notent que l'on peut également observer un effet de stimulation mentale lié aux objets nouveaux, qui conduisent à des plaisirs nouveaux et permettent d'éviter la routine. Ainsi, il n'y a pas que la seule distinction sociale qui soit à l'œuvre pour expliquer l'achat grandissant d'objets électriques par exemple. Ces auteurs notent également l'influence de deux autres effets dans la consommation d'équipements: un effet d'adéquation et un effet de spécialisation. L'effet d'adéquation peut se manifester lors de l'acquisition d'un nouvel équipement. Il est alors possible que celui-ci ne s'insère pas bien avec les autres éléments de l'espace, ce qui conduit

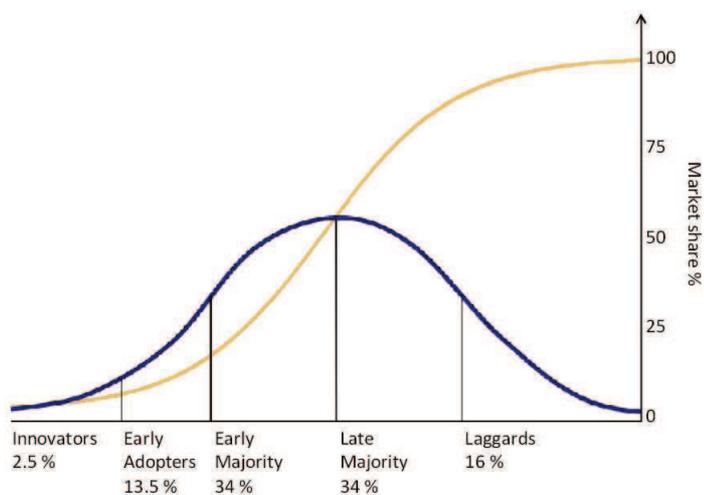
¹⁷ Enquête réalisée auprès de 1500 ménages suédois propriétaires

alors à un remplacement de plusieurs autres équipements pour que l'ambiance générale soit acceptable, que les choses aillent les unes avec les autres. Enfin, le fait d'appartenir à plusieurs groupes sociaux, de vouloir se présenter de manière différente en fonction des situations conduit à l'acquisition de plusieurs éléments compatibles avec les différentes images que l'on veut donner de soi. Les mécanismes de communication, de façonnage de l'identité et de normes sociales sont les mêmes, mais cette spécialisation en fonction des contextes de la vie de tous les jours conduit potentiellement à un suréquipement. On peut imaginer un individu qui possède plusieurs voitures afin de se rendre avec un véhicule adapté aux circonstances et au groupe social qu'il rencontre. Clochard et alii [2008] à propos de l'automobile, expliquent que la construction d'un imaginaire, la personnification de l'objet, et la transformation des usages en expériences contribuent à créer un attachement à l'objet et aux objets qui s'y rapportent, ce qui pourrait dans une certaine mesure expliquer l'effet de dotation mis en évidence par Samuelson et Zeckhauser¹⁸[1988].

La diffusion d'un nouvel équipement va donc être fonction de critères de choix et de motivations d'achat qui varient avec les ménages. Parmi les nombreuses études relatives à la diffusion des équipements qui expliquent l'évolution de ce taux d'équipement, une famille de modèles, dits « probit models » considèrent en général un attrait différencié des ménages pour la technologie. Par exemple un ménage dont le logement est grand et mal isolé aura un intérêt plus important à investir dans une pompe à chaleur qu'un ménage vivant dans un petit appartement. De la même manière une famille nombreuse résidant en périurbain sera plus intéressée par un véhicule plus coûteux mais plus efficace qu'un célibataire vivant en centre-ville. Les plus intéressés vont alors ainsi investir dans la nouvelle technologie, faisant ainsi baisser les coûts par le biais d'effets d'échelle, jusqu'au seuil de rentabilité des ménages suivants qui vont alors investir, et ce jusqu'à diffusion du produit [Geroski 2000]. Ces modèles sont intéressants car ils prennent en compte l'hétérogénéité des ménages. En revanche ils ne considèrent pas la variété des motivations. Ainsi Rogers [2003] considère que le phénomène d'adoption d'une nouvelle technologie suit un modèle en quatre phases : le besoin d'un nouveau système, la planification de changer de système, la collecte d'information (qui se passe alors comme dans les modèles épidémiques), et enfin le choix du système en fonction des avantages comparatifs. Et il existe différentes classes de personnes qui adoptent la technologie, et pour différentes raisons. Cinq classes sont généralement

¹⁸ Cet effet observé lors de transactions fictives conduit les individus à surévaluer le prix qu'ils exigent pour se séparer d'un bien par rapport aux prix qu'ils étaient prêts à payer pour l'acquérir

considérées : les pionniers ou innovants (2,5%), les premiers suiveurs (13,5%), la majorité en avance (34%), la majorité en retard (34%) et les retardataires (16%), comme le montre la figure 2.5¹⁹



Source : Rogers [2003]

Figure 2.5 : Répartition des différents types d'utilisateurs

La plupart du temps, le phénomène de diffusion est donc initié par une minorité d'individus généralement intéressés par la nouveauté, l'innovation, plus que par le caractère rentable de la technologie, puis une masse critique d'utilisateurs se forme. Une fois cette masse formée, de l'ordre de 3 à 16% des utilisateurs, le taux de diffusion s'accélère et est auto-entretenu par un processus de contagion sociale [Mahapatra & Gustavsson 2008]. Le tableau 2.4 montre les motivations et déterminants qui influencent l'adoption de la nouvelle technologie pour les différents groupes d'utilisateurs.

Antecedent influences	Dominant type of behaviour	Category of adopter
Moods	Accomplishment	Initiator
Ability to pay	Pleasure	Early imitator
Deprivation	Accumulation	Later imitator
Learning	Maintenance	Last adopter

Source : Faiers, Cook & Neame 2007

Tableau 2.4 : Motivations de déterminants de l'adoption pour différents acheteurs

¹⁹ Les proportions sont des ordres de grandeur et dépendent évidemment des technologies considérées, de même que les retardataires peuvent adopter de manière tardive l'innovation ou bien ne jamais l'acquérir, laissant le processus de diffusion incomplet

L'achat d'un équipement qui permet de rendre des services énergétiques ou la réalisation de travaux dans le bâtiment ne sont pas des gestes entrepris uniquement parce qu'ils seraient rentables d'un point de vue économique. Cette notion de rentabilité est tout d'abord à nuancer et à préciser comme l'attestent les travaux d'économistes portant sur les barrières de marché à l'adoption de l'efficacité énergétique. Mais surtout, ces gestes d'achat ne sont pas toujours considérés comme des investissements et répondent à une large gamme de critères et de motivations.

2.3 – Achat et pratiques de consommation ne sont pas indépendants

2.3.1 – La notion d'élasticités croisées

Il existe deux types de réaction à une montée des prix d'une énergie : modifier la composition du panier de biens pour s'orienter vers des biens moins chers ou faire baisser la consommation globale du panier de biens sans modifier sa composition. Par exemple, si le prix de l'électricité augmente, il est possible de moins se chauffer ou de se chauffer au gaz. L'élasticité au prix d'une énergie dépend donc de l'existence de possibilités d'économie mais également de la présence de substituts, ce qui est mesuré par les élasticités-prix croisées. Un changement de source d'énergie implique le plus souvent un changement d'équipement (sauf dans le cas du report modal). Le stock d'équipement étant fixe à court-terme, une modification des prix des énergies aura donc un effet limité en terme de report, ce que constatent le plus souvent les études [Dujin, Poquet & Maresca 2007].

Mais de la même manière que pour les pratiques quotidiennes et l'achat d'équipement, la dimension économique n'est pas la seule à entrer en compte. En effet, les différentes formes d'énergie utilisées ne sont pas toutes équivalentes aux yeux des ménages. Par exemple, Desjeux [1996] note qu'en matière de chauffage, certains ménages préfèrent l'électricité au gaz en vertu de son silence, tandis que d'autres préfèrent le gaz au mazout pour des raisons de propreté. L'argument de la sécurité intervient également, en général en défaveur du gaz. On peut constater le même type d'argumentaire lorsqu'il s'agit de la cuisson : le gaz est réputé mieux cuire les aliments, tandis que l'électricité serait plus rapide et moins dangereuse. Les critères des équipements sont mêlés aux perceptions relatives au type d'énergie en matière de sécurité, de performance, de confort, de propreté ou de souplesse d'utilisation. De plus, il semble que se développent des imaginaires relatifs aux différentes

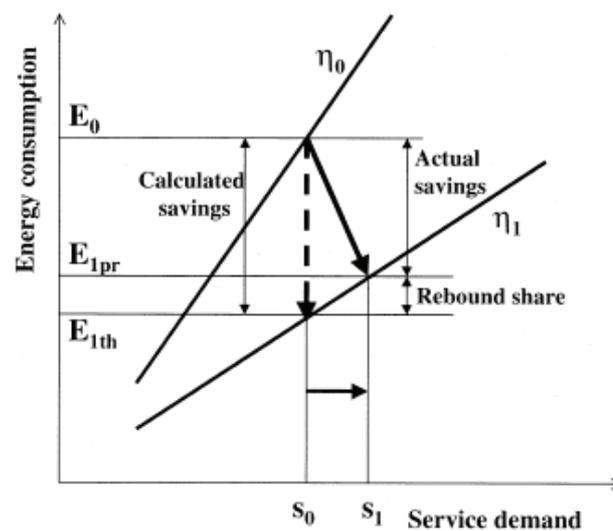
formes d'énergie, basés sur les effets de l'énergie, sur les équipements qui l'utilisent ou encore sur ses attributs physiques [Desjeux et alii 1996], qui contribuent à donner une image positive ou négative à leur égard. Une étude de Borchers et alii [2007] évalue le consentement à payer pour différentes sources d'énergie vertes et constatent un intérêt très supérieur pour l'énergie solaire relativement aux autres sources et un désintérêt pour la biomasse et le méthane²⁰, ce qui corrobore une perception différenciée des formes d'énergie. Il apparaît donc que l'observation des variations relatives de consommation de deux formes d'énergie suite à des variations de prix ne constitue qu'un des aspects du problème, qui peut même se révéler mineur. Moussaoui [2006] par exemple observe que le choix de l'énergie de cuisson dépend des représentations, de la culture et de l'imaginaire. La substitution entre deux formes d'énergie est donc un phénomène complexe qui dépend de l'usage auquel cette énergie se rapporte, des attributs des équipements correspondants et des perceptions liées aux différentes formes d'énergie en compétition. Et les choix en faveur d'un type d'énergie s'inscrivent également dans un cadre social. En effet, ceux-ci semblent liés aux événements familiaux et aux changements de logement, et seraient des révélateurs des passages qui scandent le cycle de vie. Desjeux explique par exemple que le passage du bois à l'électricité en venant d'un village pour habiter un lotissement urbain peut signifier plus de propreté, de facilité et une libération des contraintes et serait le révélateur d'un passage à une vie adulte plus autonome. Ainsi, les déterminants de la variation de consommation des différentes formes d'énergie, entre type d'énergie, à court ou à long-terme ne sont pas qu'économiques. De plus, ils ne dépendent pas nécessairement directement du ménage, mais également de contraintes structurelles, surtout à long-terme [Dujin, Poquet & Maresca 2007].

2.3.2 – *L'effet rebond*

Comme déjà évoqué, comportement d'achat d'équipements et comportement de consommation quotidienne sont guidés par des mécanismes assez différents, cependant ils ne sont pas bien entendu pas indépendants. En effet la rentabilité d'un investissement dans un nouvel équipement dépend du niveau de demande initial. Réciproquement l'acquisition d'un nouvel équipement économe va permettre de réduire la quantité d'énergie nécessaire pour satisfaire un besoin, le coût du service va donc diminuer provoquant une augmentation de

²⁰ Ils obtiennent par exemple une WTP de 8,92\$ par mois en moyenne pour avoir 10% d'électricité à partir de biomasse contre 19,03\$ par mois pour 10% d'électricité d'origine solaire. Et dans ce cas, ce ne sont pas les préoccupations environnementales qui sont discriminantes puisqu'il s'agit d'énergie verte dans les deux cas.

l'utilisation dont l'ampleur va dépendre en premier lieu de l'élasticité au prix du service : phénomène connu sous le nom d'effet rebond. La question de l'effet rebond est profondément vaste et complexe. Le débat sur sa nature, sur ses causes et sur son ampleur en fonction du temps et des usages agite fortement la communauté des économistes depuis les travaux de Khazzoom [1980]. Nous nous limitons ici à la définition donnée par Haas [2000] et illustrée par la figure 2.6. Celle-ci prend en compte dans l'effet rebond direct, à comportement inchangé, la différence entre la consommation attendue après la mise en place d'un nouvel équipement et la consommation réelle.



Source : Haas et Biermayr 2000

Figure 2.6 : Représentation de l'effet rebond

D'un point de vue économique, cet effet rebond est totalement logique et consiste principalement en un réajustement de la demande de service au prix de ce service lorsque la demande n'est pas saturée initialement. Ce qui est fréquemment le cas pour le chauffage et la mobilité de loisirs à longue-distance. En revanche on peut imaginer par exemple que quasiment personne ne se prive d'allumer la lumière si il a besoin d'éclairer une pièce et que la demande de service énergétique ne va pas s'accroître avec des ampoules plus efficaces. Dans ce cas on peut néanmoins constater un effet rebond qui consiste en un ajustement du niveau d'attention dans les pratiques de gestion quotidiennes. Ainsi le fait d'avoir installé des lampes basses consommations peut provoquer un relâchement de l'attention et de la chasse aux lumières allumées. Inversement, l'acquisition d'un matériel de cuisson relativement énergivore peut conduire son utilisateur à un usage parcimonieux, comme par exemple

éteindre les plaques avant la fin de la cuisson [Moreau & Wibrin 2005]. L'amplitude de l'effet rebond correspond théoriquement à l'élasticité au prix du service énergétique considéré et varie donc en fonction des ménages et des usages. Dans une revue de la littérature sur le sujet, Greening et alii [2000] synthétisent les effets rebond obtenus par différentes études économétriques.

Usage final	Ampleur de l'effet rebond	Nombre d'études
Chauffage	10-30%	26
Climatisation	0-50%	9
Eau chaude sanitaire	<10-40%	5
Eclairage	5-12%	4
Mobilité en voiture	10-30%	22

Source: Greening, Greene & Difiglio 2000

Tableau 2.5 : Amplitude de l'effet rebond en fonction des usages

Pour Chemali [2008] plus la demande de service est initialement insaturée et plus les revenus du ménage sont faibles, ces deux effets allant de pair si l'on admet que les ménages pauvres ont une plus grande propension à la privation, plus l'ampleur de l'effet rebond sera important. Les différences importantes constatées entre les usages sont donc révélatrices de l'hétérogénéité dans la saturation de la demande et dans les privations opérées par les ménages. Mais de la même manière que pour les changements d'habitudes, l'arrivée d'un nouvel équipement provoque un changement dans le cadre de vie du ménage et le changement de comportement vis à vis de ce nouvel équipement peut mettre un certain temps avant de se manifester. On peut alors distinguer effet rebond de court-terme et effet rebond de long-terme. Jones [1993] étudie l'évolution du nombre de passagers-véhicules pour les voitures particulières et les utilitaires légers aux Etats-Unis entre 1966 et 1990, il considère des variables retardées et trouve des effets rebond de 11% la première année, mais qui triplent à long-terme : 31%. Small & van Dender [2005] utilisent eux un modèle dans lequel les évolutions d'efficacité énergétique sont endogènes, et en partant de données sur les véhicules motorisés aux Etats-Unis entre 1966 et 2001, obtiennent des effets rebond un peu plus faibles mais du même ordre de grandeur : 4,5% à court-terme et 22,2% à long-terme et expliquent que l'effet rebond de long-terme est censé être 5 à 6 fois plus élevé qu'à court-terme.

Les élasticités de long-terme correspondent à des variations de la consommation observées plusieurs années après les variations de prix, de l'ordre d'une dizaine d'années en

général. Et ce pour tenir compte à la fois des rigidités de comportement et de l'inertie due à l'effet de stock dans chacun des usages. En effet, une importante montée des prix pourrait avoir pour effet d'orienter le choix des consommateurs vers des équipements plus performants, mais ceux-ci ne seraient pas remplacés immédiatement à cause d'un effet de stock et l'on pourrait alors s'attendre à une certaine inertie de la consommation d'énergie due à la durée de vie des équipements. Une étude célèbre de Gately [1992] sur la consommation d'essence aux Etats-Unis souligne l'asymétrie des réponses observées à une montée et à une chute des prix d'ampleur similaire. Notamment il explique que l'ampleur de la réponse observée lors d'un maximum historique de prix est deux fois supérieure à celle observée lors d'un contre-choc de même amplitude. Une des explications à ce phénomène réside certainement dans le caractère irréversible des investissements d'efficacité énergétique. En effet, si le prix devient très élevé et atteint un maximum historique, cela peut non seulement avoir un effet psychologique déclencheur (situation de choc) et jouer un impact fort sur les habitudes, mais plus encore, justifier un investissement dans un équipement plus économe. Ces investissements étant irréversibles, comme l'achat d'une voiture neuve, une baisse des prix suivant un tel pic, n'aurait alors qu'un faible effet : les consommateurs n'allant pas ré-adopter un équipement énergivore pour suivre les prix de l'énergie.

De plus, Boonekamp [2007], comme déjà évoqué, constate qu'au delà de cette asymétrie de réponse entre hausse et baisse des prix, la notion d'élasticité n'est pas indépendante de l'ampleur de la variation de prix. Et il constate que la réduction de consommation d'énergie face à une hausse des prix de 20% et une hausse de 100% ne se situe pas dans un rapport 5, mais est bien inférieur, en raison de la saturation du potentiel mobilisé pour réduire sa consommation. Les élasticité-prix, c'est à dire les modifications de consommations constatées suite à une variation des prix ne sont donc pas des grandeurs fixes. Elles dépendent du type de variation, de l'historique de ces variations et de l'ampleur des variations. En fait, le consommateur n'est pas toujours en mesure d'ajuster sa consommation avec les prix, le cas d'une régulation continue du chauffage est un cas particulier. Comme nous l'avons vu, le consommateur pioche dans un éventail de gestes disponibles ; ainsi, chaque geste correspond à un gain donné de consommation que le consommateur décide ou non de mettre en place et l'on peut s'attendre à des effets des seuils et à des non-linéarités. On est donc plus dans une logique de courbe en escalier, asymétrique en fonction d'une baisse ou d'une hausse des prix, où les caps de prix déclenchent le franchissement de marches correspondant aux actions générant une quantité donnée d'économie d'énergie. Et ce, pour une plage de prix correspondant à une phase d'ajustement potentiel des pratiques avec les

prix. En effet, on peut penser que la demande finit par être saturée pour des prix faibles et inélastique pour des prix très élevés, avec une dernière marche assez importante qui pourrait correspondre à une suppression de l'usage ou à une pratique de privation très dévalorisante socialement.

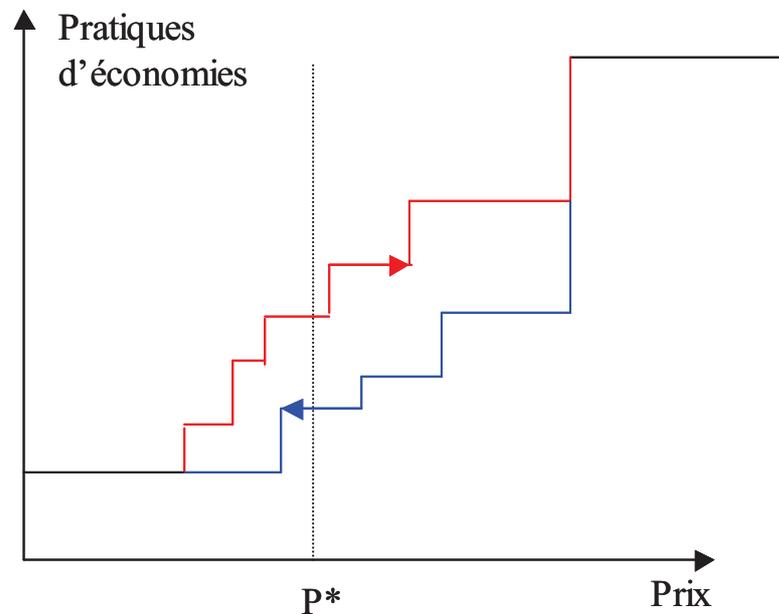


Figure 2.7 : L'élasticité au prix matérialisée comme une fonction en escalier du prix

La notion d'effet rebond de long-terme présente néanmoins des limites. En effet, la consommation d'énergie s'inscrit dans un cadre complexe et considérer que son évolution ne dépend que des variations de prix semble réducteur. Faivre d'Arcier [2008] considère dans le cadre de la mobilité que : « l'approche économétrique privilégie l'individu moyen et tend à simplifier la complexité des processus de choix sans prendre en compte les éléments contextuels, ni les réactions à des modifications structurelles des conditions de déplacement ». En ce qui concerne les élasticités de court-terme, il est difficile de saisir si les faibles valeurs obtenues sont imputables à un manque de moyens de substitutions, à une rigidité des comportements ou à une insensibilité aux prix. Les valeurs obtenues sont représentatives d'un comportement moyen et peuvent correspondre à un recouvrement de plusieurs cas de figure très distincts. En particulier il est impossible de séparer les ajustements relatifs à des pratiques quotidiennes de ceux relatifs à l'achat d'équipement, alors que ce sont des pratiques très distinctes et que les cibles de ces deux types d'actions sont assez distinctes elles aussi. Les méthodes de calcul économétriques imputent les variations observées au prix, mais sur le long-terme de nombreuses tendances sociales collectives de fond peuvent venir

contrebalancer la logique de réaction aux prix, comme l'accroissement des surfaces, la diminution du nombre de personnes par logement ou le vieillissement de la population²¹. Throne-Holst [2005] explique par exemple que l'efficacité énergétique des lave-linges s'est améliorée mais que dans le même temps l'augmentation des standards de propreté et l'apparition de matériaux textiles à laver séparément notamment, ont fait augmenter la fréquence d'usage des lave-linges. Pour lui, les kilomètres supplémentaires parcourus suite à un divorce ou un changement de travail ne s'expliquent pas par les prix mais par des facteurs sociaux et culturels.

2.4 – Des modèles comportementaux réalistes mais complexes

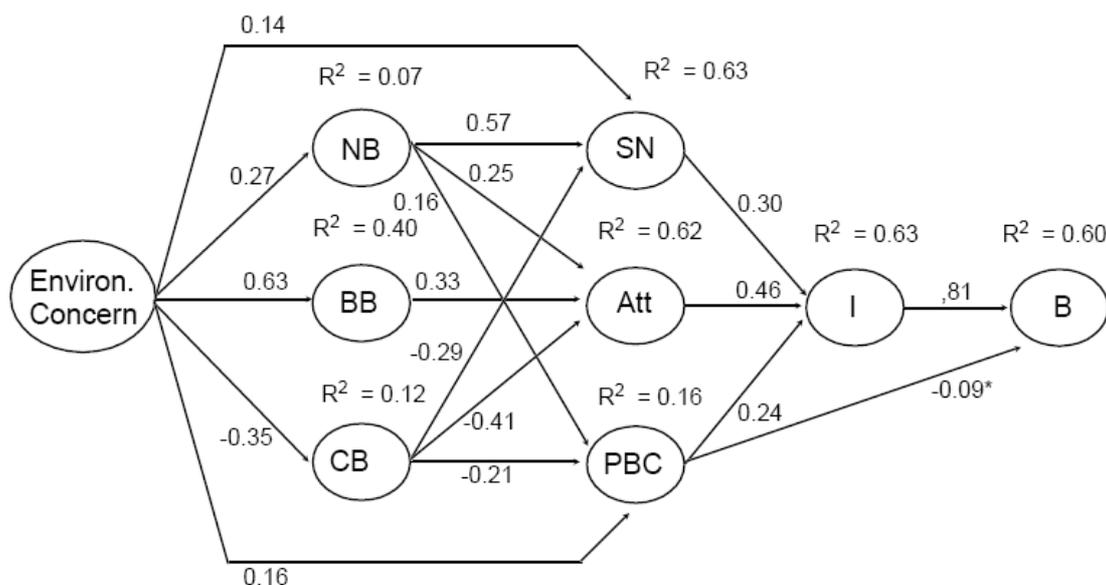
Devant la variété des logiques comportementales des ménages un certain nombre de travaux ont tenté de modéliser et de hiérarchiser les variables psychosociologiques à l'œuvre dans le mécanisme comportemental. Le plus souvent afin de comprendre les freins et leviers à la mise en œuvre de pratiques environnementales et de maîtrise de la demande en énergie (MDE). Le lien entre préoccupations environnementales et comportement est en effet loin d'être direct et évident et varie en fonction des pratiques. En effet, Dujin et alii [2007], en prenant appui sur des études relatives aux pratiques de recyclage constatent qu'il est possible de veiller à trier les déchets mais de ne pas prendre en considération la nature plus ou moins recyclable des produits lors de leur achat par exemple. Les pratiques semblent discontinues et surtout les individus n'intègrent pas leurs préoccupations environnementales dans l'ensemble de leurs choix. Nous avons évoqué que l'argument écologique n'était qu'un des aspects déterminant les pratiques énergétiques, et généralement pas le plus important. Cependant, l'effort consenti lors de la pratique du tri n'est pas nécessairement plus important que l'attention à avoir sur les emballages des produits lors de leur achat. Ce constat, assez proche de celui fait quant aux gestes de MDE dans les loisirs, met en évidence l'importance que revêt le contexte extérieur dans le cadre d'achats ou d'adoption de pratiques en faveur de l'environnement. En effet, comment expliquer le décalage entre le fait d'être prêt à agir en faveur de l'environnement et l'adoption effective d'un comportement en ce sens ? Quels sont en un mot les déterminants du changement de comportement ?

²¹ Si certaines de ces tendances pourraient être imputées directement à des effet-revenus de long-terme comme l'accroissement des surfaces ou l'élévation des standards de propreté et relever ainsi d'une logique économique, cela paraît beaucoup plus discutable pour la diminution de la taille des ménages ou le vieillissement de la population.

Les caractéristiques socio-démographiques et les logiques sociales et économiques des différentes classes sociales expliquent des différences en terme d'usage de l'énergie, néanmoins le fait d'adopter un comportement favorable à l'environnement dépend de variables attitudinales personnelles [Gatersleben et alii 2002]. Jackson [2005] explique en effet que « les comportements sont au croisement des conditions, des intentions et des habitudes ». Les conditions sont les contraintes extérieures, les habitudes sont héritées d'arbitrages pour l'essentiel qui peuvent être expliqués par les caractéristiques socio-démographiques, tandis que les intentions sont absolument individuelles et ne se déduisent pas de ces caractéristiques traditionnelles. Faiers et alii [2007] expliquent d'ailleurs que beaucoup d'études utilisant des données démographiques pour identifier le profil de l'éco-consommateur se sont révélées inconsistantes et contradictoires entre elles. En particulier, beaucoup ont pu penser que le niveau d'éducation serait une variable décisive dans la mesure où elle distingue les individus en terme de savoir et de compréhension mais son effet s'est révélé contradictoire quant à l'adoption de pratiques vertes [Pedersen 2000, Laroche et alii 2001]. Bamberg [2003] souligne que le terme de « préoccupation environnementale » est un terme politique ne se référant à rien de précis, et mélangeant les perceptions, les émotions, le savoir, les attitudes, les valeurs et les comportements liés à l'environnement. Les revues d'études sur le lien entre préoccupations environnementales et comportement ont d'ailleurs toutes conclu à une relation très modérée, de l'ordre de 25 à 35% [Eckes & Six 1994, Hines et alii 1986]. De la même manière que l'information sur les consommations n'est pas un élément déclencheur direct de l'action d'économie, les préoccupations environnementales ne constituent pas non plus un élément déclencheur direct de pratiques vertes. La littérature en psychosociologie, relativement abondante, tente de proposer des modèles du comportement et d'expliquer les différentes étapes cognitives menant à l'action.

Un des points de départ de beaucoup de modèles réside dans le fait que le mécanisme cognitif à l'origine directe d'un comportement est spécifique à ce comportement et à la situation [Ajzen & Fishbein 1980]. Cela signifie qu'une attitude générale ou une valeur ne peuvent déclencher directement une action. La théorie du comportement planifié (« theory of planned behaviour ») proposée par Ajzen [1991] part du principe que trois sortes de croyances spécifiques à la situation sont à l'origine de l'action : les croyances sur les conséquences probables du comportement (« behavioural beliefs BB»), les croyances normatives concernant les attentes des autres (« normative beliefs NB») et les croyances concernant la présence de facteurs extérieurs favorables ou défavorables à l'action (« control beliefs CB»). Les

premières croyances façonnent une attitude spécifique favorable ou défavorable à l'adoption du comportement (« attitude toward behaviour ATT »), les secondes sont à l'origine d'une pression sociale perçue à l'adoption du comportement ou norme subjective (« subjective norm SN ») et les dernières expliquent le contrôle perçu par l'individu sur sa capacité à agir (« perceived behavioral control PBC »), et expriment la faisabilité de l'action, et le fait que l'individu pense que son action va avoir un impact dans le but recherché. L'ensemble de ces trois éléments est à l'origine de la formation d'une intention d'agir (« intention I ») qui est elle-même à l'origine du comportement, dans la mesure où celui-ci semble réalisable. Bamberg (2003) teste les liens supposés par cette théorie, à l'aide de questions qualitatives qui lui permettent d'estimer ces variables et des comportements observés auprès de 380 étudiants dans le cadre d'actions relatives à la consommation d'électricité verte. Son étude valide empiriquement la théorie proposée par Ajzen.



Source : Bamberg 2003

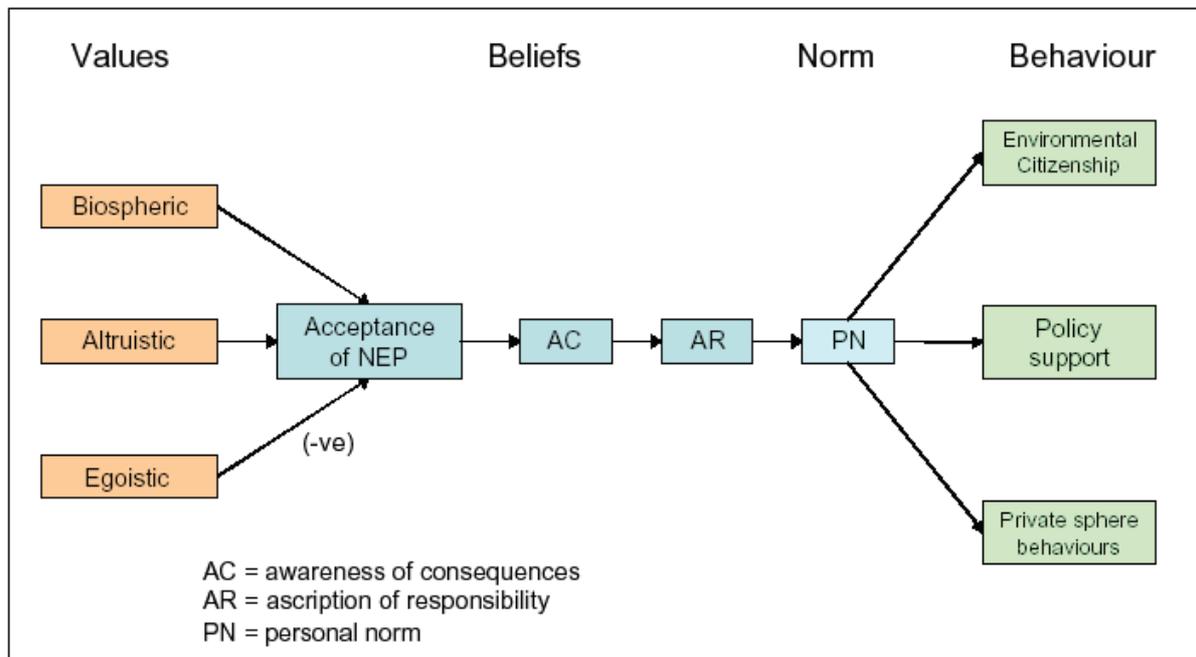
Figure 2.8 : Relations entre les variables psychosociologiques menant au comportement

En effet, il observe une corrélation directe entre les préoccupations environnementales et le comportement de 28%, ce qui semble en accord avec les études précédentes. En revanche, l'intention, et dans une moindre mesure le contrôle perçu semblent très bien expliquer le comportement. Et l'intention elle-même semble bien expliquée par les trois prédicteurs proposés dans la théorie du comportement planifié (comme cela est visible sur la figure 2.8). Dans cette étude Bamberg traite séparément les étudiants en fonction de l'importance de leurs préoccupations environnementales. Il constate que l'attitude semble avoir le même impact sur

l'intention pour les deux groupes. Mais il apparaît que le comportement des étudiants fortement concernés dépende fortement du mécanisme cognitif lié aux facteurs de contrôle, c'est à dire liées à la facilité perçue d'exécution, tandis que le comportement des étudiants faiblement concernés serait fortement dépendant du mécanisme cognitif lié aux attentes des autres. Il est donc possible d'imaginer deux types de personnes, celles qui sont favorables à agir en faveur de l'environnement et pour lesquelles, c'est la facilité perçue de l'action (achat et/ou pratiques) qui va être décisif, car l'environnement ne doit pas empiéter trop sur le confort, ni demander trop d'efforts. Tandis qu'une seconde catégorie de personnes seront plutôt des suiveurs, et n'adopteront le geste qu'une fois une masse critique de pionniers et d'« early adopters » formée, phénomène que l'on retrouve dans les études portant sur la diffusion de technologies. Les attitudes générales envers l'environnement, comme les préoccupations environnementales, n'ont donc pas d'effet causal direct, mais un fort effet indirect sur la génération et l'évaluation des mécanismes cognitifs situationnels spécifiques. Ainsi, la profession et le niveau d'éducation, qui ne peuvent être que des indicateurs de valeurs, ne permettent pas d'établir de lien causal avec la consommation [Faiers et alii 2007]

D'autres études se sont intéressé aux différentes attitudes générales et à la façon dont peuvent se former ces préoccupations environnementales. Sans exposer plus spécifiquement la manière dont se construisent les valeurs des individus à l'origine de ces préoccupations, on peut néanmoins partir d'un constat assez courant dans la littérature : les attitudes et les comportements en faveur de l'environnement sont corrélés positivement à des valeurs altruistes et négativement à des valeurs égoïstes [Nordlund & Garvill 2002, Stern et alii 1998]. Dunlap & van Liere [1978] considèrent qu'il existe un troisième type de valeurs susceptibles d'expliquer les choix environnementaux : les valeurs biosphériques, qui correspondent à une valorisation de l'environnement, indépendamment des personnes. L'orientation de ces valeurs influence l'acceptation ou non d'un certain ordre des choses dans la nature qui influence à son tour les croyances relatives aux conséquences des problèmes environnementaux (« awareness-of-consequences beliefs AC »). C'est à dire qu'un individu ayant des valeurs plus altruistes ou biosphériques aura une tendance à se focaliser plus sur les conséquences pour les humains et pour la planète. Tandis qu'un individu aux valeurs opposées se focalisera plus sur les conséquences qui le concernent. Par exemple, il sera plus opposé à réduire l'utilisation de sa voiture dans la mesure où cela réduit son confort, et il pourra avoir tendance à minimiser les informations lui expliquant qu'utiliser son véhicule constitue un risque pour l'environnement [Hansla et alii 2008]. Ces valeurs et ces croyances

influencent ensuite le degré de responsabilité perçue par l'individu (« ascription of responsibility »). Et c'est en fonction de sa norme personnelle qu'il décide d'agir en faveur de l'environnement, celle-ci étant influencée par le degré de responsabilité que ressent l'individu.



Source : d'après Stern et alii 1999

Figure 2.9 : Principe de la chaîne comportementale dans la théorie Value-Belief-Norm

Hansla et alii [2008] constatent que l'attitude spécifique envers l'électricité verte est bien corrélée à des valeurs altruistes. Ils comparent ensuite quantitativement l'influence de ces attitudes, du revenu et du prix de l'électricité²², dans le cas d'un consentement à payer pour de l'électricité verte grâce à une enquête auprès de 3500 suédois. Ils observent que le lien est très fort entre l'attitude et le consentement à payer (41%), que le prix de l'électricité joue un rôle (-15%), tandis que le revenu n'aurait aucun effet. Néanmoins, il semble que les trois types de valeurs co-existent, en des sensibilités différentes, au sein de l'individu et ont toutes une influence potentielle. C'est le contexte qui va exacerber plus l'une ou l'autre de ces valeurs et qui va alors déterminer suivant laquelle nous allons agir. Il semble d'ailleurs que ces trois valeurs puissent être à l'origine de différents comportements favorables à l'environnement [Stern et alii 1993]. L'importance des valeurs altruistes comme déterminant en amont d'un comportement en faveur de l'environnement reste un constat extrêmement intéressant. D'ailleurs, Corraliza & Berenguer [2000] observent que le fait de baisser le chauffage et de

²² Ces variables servent ici de proxies pour estimer la façon dont les individus conçoivent la faisabilité ou « perceived belief control » de payer pour de l'électricité verte

mettre un pull est une pratique qui s'explique statistiquement très bien par des valeurs altruistes.

Néanmoins, les modèles proposés ici présupposent le plus souvent un état de cohérence cognitive à l'origine des décisions prises, mais il est relativement admis que des éléments plus émotionnels viennent perturber les décisions. De plus, il a été constaté que l'attitude pouvait être à son tour influencée par le comportement, par un bouclage issu d'une diminution de la dissonance cognitive. Il est ainsi observé qu'un individu qui se met à recycler adoptera une attitude plus positive par rapport à l'environnement et se décrira plus volontiers comme un quelqu'un ayant des pratiques écologiques [Tøgersen & Ölander 2002]. Il semble donc que le recours à ces modèles assez fins et complets de comportement, faisant intervenir des variables très précises, bien que qualitatives, soit une piste intéressante à suivre. Les résultats expérimentaux sont encore assez peu nombreux mais certains liens semblent validés, et il est alors intéressant d'essayer de les mettre en regard des explications plus traditionnelles du comportement de consommation d'énergie.

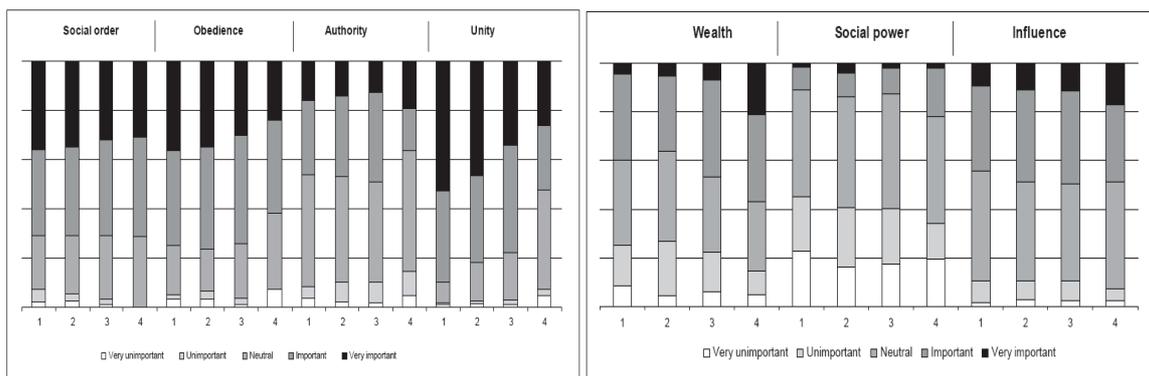
La majorité des études en psychosociologie décrites ou citées précédemment s'intéressent à ce qui est généralement regroupé sous le terme de préoccupations environnementales et donc à l'adoption de comportements en faveur des énergies vertes, appliquées le plus souvent à des pratiques d'achat. Cependant, en ce qui concerne les économies d'énergie, les déterminants sont multiples, et l'environnement n'est pas la préoccupation première des ménages en pareil cas. Si les variables attitudinales individuelles jouent un rôle, elles sont à mettre en regard avec les autres variables mentionnées. Barr et alii [2005] ont interrogé des individus sur une trentaine de pratiques liées à l'énergie, à l'eau, au recyclage, au commerce équitable, dans le cadre de pratiques d'achat, d'habitudes et de pratiques de recyclage. Ils effectuent ensuite un découpage en quatre groupes de profils en fonction des différentes actions qu'ils menaient et les ont caractérisé en fonction de caractéristiques socio-démographiques et de leurs valeurs sociales et environnementales. Si les valeurs environnementales sont liées à l'attitude envers l'environnement comme vu plus haut, les valeurs sociales sont plus reliées aux priorités des ménages dans la vie [Schwartz 1992]. Ils placent ainsi les pratiques environnementales dans un contexte plus large de modes de vie comme le préconise Kaiser et alii [1999], car des mesures en faveur de l'environnement peuvent ne pas être prises pour des raisons de manque de préoccupation, mais aussi parce que cela n'est pas la priorité.

Variable	Sample	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Cluster label		Committed environmentalists	Mainstream environmentalists	Occasional environmentalists	Non-environmentali
No. in cluster		294	412	505	43
Age (mean)	49	55	52	46	43
Gender	Male 35%	Male 35%	Male 31%	Male 38%	Male 50%
	Female 65%	Female 65%	Female 69%	Female 62%	Female 50%
No. in home (all residents)	1 16%	1 17%	1 21%	1 13%	1 11%
	2 37%	2 40%	2 40%	2 34%	2 29%
	3 18%	3 18%	3 15%	3 21%	3 26%
	4 19%	4 17%	4 15%	4 22%	4 17%
	5+ 3%	5+ 8%	5+ 9%	5+ 10%	5+ 17%
Car access (number)	0 20%	0 19%	0 24%	0 17%	0 27%
	1 51%	1 51%	1 52%	1 52%	1 37%
	2 24%	2 25%	2 20%	2 26%	2 32%
	3+ 5%	3+ 5%	3+ 4%	3+ 5%	3+ 4%
Tenancy	Owned 74%	Owned 83%	Owned 74%	Owned 71%	Owned 62%
	Private tenant 11%	Private tenant 5%	Private tenant 11%	Private tenant 13%	Private tenant 19%
	LA 15%	LA 12%	LA 15%	LA 16%	LA 19%
House type	Detached 9%	Detached 4%	Det 12%	Det 10%	Det 10%
	S-Detached 24%	S-Detached 16%	S-Det 34%	S-Det 24%	S-Det 26%
	Terrace w pass 9%	Terrace w pass 8%	Terr/p 7%	Terr/p 10%	Terr/p 14%
	Terrace 36%	Terrace 43%	Terr 28%	Terr 38%	Terr 36%
	Flat 22%	Flat 29%	Flat 19%	Flat 20%	Flat 14%
Income (Pounds)	<7.5k 20%	<7.5k 20%	<7.5k 23%	<7.5k 15%	<7.5k 35%
	7.5–10k 9%	7.5–10k 20%	7.5–10k 10%	7.5–10k 8%	7.5–10k 6%
	10–15k 17%	10–15k 11%	10–15k 20%	10–15k 15%	10–15k 9%
	15–20k 19%	15–20k 15%	15–20k 18%	15–20k 22%	15–20k 12%
	20–30k 21%	20–30k 19%	20–30k 20%	20–30k 23%	20–30k 21%
	> 30k 14%	> 30k 15%	> 30k 9%	> 30k 17%	> 30k 18%
Education (formal)	None 38%	None 51%	None 41%	None 35%	None 53%
	GCSE 27%	GCSE 20%	GCSE 30%	GCSE 29%	GCSE 19%
	'A' level 17%	'A' level 18%	'A' level 15%	'A' level 18%	'A' level 16%
	Degree 17%	Degree 21%	Degree 14%	Degree 18%	Degree 12%
		Adds up to 110%			
Political allegiance	Con 16%	Con 16%	Con 16%	Con 15%	Con 15%
	Green 3%	Green 6%	Green 4%	Green 2%	Green 0%
	Lab 22%	Lab 18%	Lab 22%	Lab 25%	Lab 32%
	LD 14%	LD 17%	LD 17%	LD 12%	LD 5%
	Oth 2%	Oth 2%	Oth 1%	Oth 2%	Oth 2%
	No vote 10%	No vote 6%	No vote 10%	No vote 12%	No vote 22%
	Pass Q 33%	Pass Q 35%	Pass Q 30%	Pass Q 32%	Pass Q 24%
	What does pass Q mean?				
Membership of a community group	Yes 11%	Yes 17%	Yes 10%	Yes 8%	Yes 8%

Source : Barr, Gilg & Ford 2005

Tableau 2.6 : Caractéristiques socio-démographiques des types de consommateurs

Ils constatent que si il existe bien des différences entre les deux groupes les plus extrêmes (nommés écologistes convaincus et non-écologistes) en matière de caractéristiques socio-démographiques : plus âgés, propriétaires, membres d'associations, contre plus jeunes, niveau d'étude plus élevé, il n'est pas possible d'établir une distinction nette entre ces quatre groupes sur la base de ces seuls critères. En particulier, un résultat intéressant est que les individus possédant les revenus les plus bas sont sur-représentés dans les deux groupes les plus extrêmes. En revanche, il existe des différences plus saillantes entre les groupes en matière de valeurs et en matière d'engagement, de motivations ou de confort. Les personnes du premier groupe partagent plus de valeurs pro-sociales, croient plus en l'efficacité de leurs actions, sont prêts à sacrifier un peu de leur confort personnel pour l'environnement. Les valeurs sociales renvoient à des positions antinomiques en matière de prise en compte des autres : altruisme ou égoïsme et en matière de changement : ouvert au changement ou conservatisme. On peut constater les différences de réponses entre les quatre groupes en terme de valeurs correspondant à des valeurs de conservatisme et à des valeurs égoïstes.



Source: Barr, Gilg & Ford 2005

Figure 2.10 : Valeurs des différents types de consommateurs

La figure 2.10 montre qu'il existe ainsi d'assez forts contrastes entre les individus pour certaines valeurs, mais également pour certaines variables psychosociologiques comme celles traitant des croyances d'efficacité des pratiques. La démarche de cette étude semble donc particulièrement intéressante pour prendre en compte les différentes familles de déterminants à l'œuvre dans la mise en place d'économies d'énergie, notamment elle prend en considération des variables qualitatives qui permettent d'expliquer des écarts de comportement significatifs au sein d'une classe sociale donnée. En réalité, si le point de départ de la consommation énergétique semble être bien expliqué par les variables socio-démographiques, l'évolution de cette consommation au cours du temps semble être plutôt

expliquée par des variables psychosociologiques. La corrélation avec certaines pratiques de sobriété est parfois plus forte avec des variables de type « sens des responsabilités » ou « altruisme » qu'avec d'autres variables socio-démographiques ce qui montre le fort intérêt potentiel que représente l'utilisation de ces variables, à condition de bien les mesurer car celles-ci restent assez qualitatives.

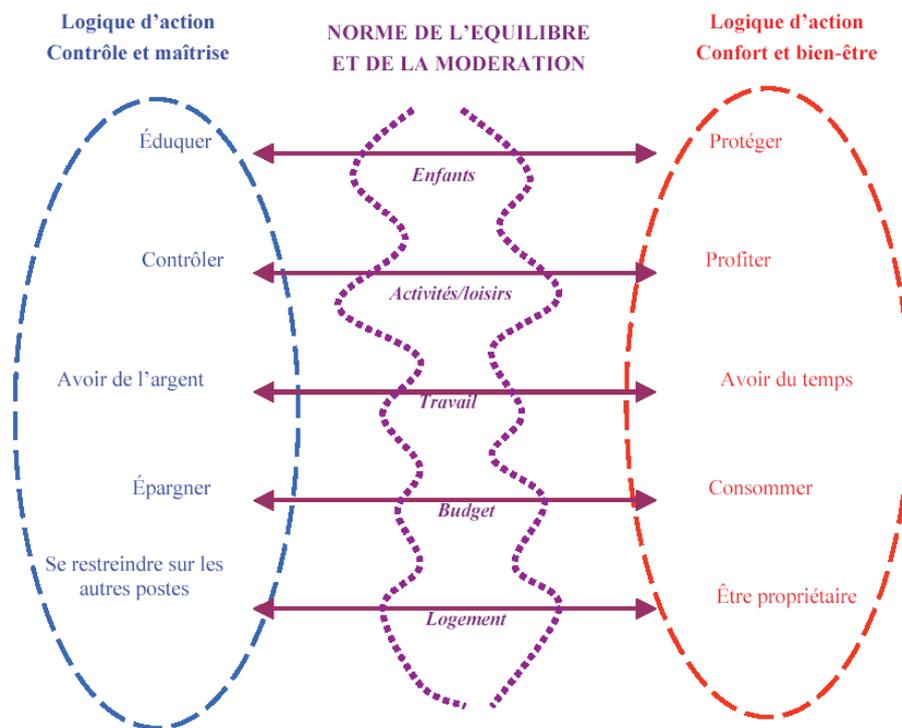
2.5 – L'approche par les modes de vie : un compromis pragmatique dans la description du comportement des ménages

Le paragraphe précédent présente la grande complexité à saisir les déterminants de l'adoption d'une pratique énergétique en particulier. La difficulté à renseigner les variables psychosociologiques de manière détaillée, et ce pour toutes les différentes pratiques, ajouté au fait qu'il semble très difficile de prévoir leur évolution dans un contexte prospectif, semble empêcher l'utilisation de telles variables dans les modèles. En revanche, une approche par les modes de vie des ménages permet une interprétation de la consommation d'énergie à un niveau plus agrégé, comme nous allons le voir au travers de deux exemples.

2.5.1 – Quel lien entre mode de vie et consommation domestique ?

2.5.1.1 – L'exemple des familles de classe moyenne propriétaires

Pour commencer, il est intéressant de se pencher sur l'exemple des ménages de classe moyenne propriétaires avec enfants étudiés par I.Moussaoui [2006]. Ces familles ont un projet de vie centré sur la valorisation de leur logement dans lequel elles réalisent la majorité de leurs activités. Ce projet de vie est également tourné vers la famille et en particulier les enfants dont ils privilégient le confort. Il s'insère dans le cadre d'une norme de la modération et d'une gestion domestique d'attention qui correspondent à la fois à leurs valeurs et à celles qu'ils veulent inculquer à leurs enfants et aux contraintes budgétaires qu'ils rencontrent. Le logement est construit à l'image du ménage et représente un lieu sûr et confortable. Les économies d'énergie relèvent alors d'un arbitrage entre logique de confort et logique de maîtrise comme présenté dans la figure 2.11.



Source : Moussaoui 2006

Figure 2.11 : Norme d'équilibre des familles propriétaires des classes moyennes

Le tableau 2.7 ci-dessous regroupe les différentes pratiques acceptées et les limites posées par les ménages en terme d'attention énergétique. Les ménages entreprennent des économies dans le domaine des équipements qui doivent être compatibles avec une logique d'amélioration du confort du logement dans lequel ils ont investi. Ces familles ont en effet les ressources nécessaires pour réaliser des travaux : revenus suffisants, statut de propriétaire, installation durable dans le logement permettant de profiter de l'investissement. Concernant les équipements, si le rapport qualité/prix reste le critère prépondérant, une certaine attention est accordée à la consommation d'énergie, en particulier pour les produits blancs : certains ménages sont prêts à payer un petit peu plus pour avoir un équipement efficace sur le plan énergétique. Ici encore, ces pratiques sont rendues possibles par le fait que les ménages disposent d'une marge de manœuvre financière pour investir et que généralement l'efficacité de ces équipements va de pair avec d'autres attributs recherchés par ces ménages : esthétique, durabilité et service de meilleure qualité.

	Chauffage	Eclairage	Cuisson	Appareils électriques
Niveau d'attention	Semble évidente, pour « gestion » d'un gros poste budgétaire	Ancrée depuis l'enfance, sur l'extinction	Des pratiques peu développées	Thème qui semble monter en prise de conscience
Pratiques significatives	<ul style="list-style-type: none"> - Programmation - Prise en compte des rythmes familiaux (présence/absence des enfants) - Isolation - Sources de chaleur alternatives (cheminée...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Extinction des lumières - Mise en place d'ampoules basse consommation - Culpabilisation d'utiliser l'halogène - Attention aux puissances - Retirer certaines ampoules des luminaires 	<ul style="list-style-type: none"> - Attention à la taille des contenants par rapport aux contenus (four selon plat, feu selon taille casserole) - Vitesse de cuisson (autocuiseur, micro-ondes, couvercle) 	<ul style="list-style-type: none"> - Etiquettes énergétiques comme critère secondaire « discriminant » - Couper les veilles - Programme éco - Usage du sèche-linge restreint
Limites	<ul style="list-style-type: none"> - Font avec le système de chauffage présent, jusqu'à ce qu'il tombe en panne - Pensent que les pb de conso viennent de la vétusté de l'équipement, pas de la source d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> - Contre-références d'ABC perdurent - Quantités d'ampoules pas additionnées 	<ul style="list-style-type: none"> - Une culture gaz/électricité qui détermine fortement les usages et les perceptions de l'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> - Arbitrage énergie humaine / énergie électrique
Domaine du « non négociable »*	<ul style="list-style-type: none"> Non remise en cause de : - Confort des enfants - Confort d'activités (salle de bains) - Température d'au moins 19/20° pdt présence 	<ul style="list-style-type: none"> Non remise en cause de : - Ambiance de la maisonnée passe par la lumière - Mise en scène sociale quand personnes extérieures au logement viennent. - Veilleuse des enfants 	<ul style="list-style-type: none"> - Non remise en cause de la culture culinaire pré-établie 	<ul style="list-style-type: none"> - Non remise en cause de l'accumulation des objets électriques

Source : Moussaoui [2006]

Tableau 2.7 : Les pratiques des ménages des classes moyennes propriétaires avec enfants

D'autre part, les ménages entreprennent des gestes d'attention ou de sobriété qui s'insèrent dans le cadre d'une lutte contre le gaspillage, de l'apprentissage de valeurs de modération aux enfants, d'une logique de respect de l'environnement, et surtout d'une gestion d'un poste budgétaire. Pour la consommation d'eau chaude sanitaire par exemple, les familles essaient le plus souvent de prendre des douches et de réserver le bain à des moments plus exceptionnels, et essaient également de limiter le temps passé sous la douche, pour eux comme pour leurs enfants. Néanmoins, cette attention est limitée par l'hygiène et il est impensable de réduire sa consommation en dessous de ce qui semble être la norme, à savoir, une douche par jour et un bain quotidien pour les enfants en bas-âge. Les pratiques d'attention

ou de sobriété énergétique sont donc bien présentes mais ne doivent pas passer outre les standards de confort, et en particulier en ce qui concerne les enfants. Apporter un bon niveau de confort à ses enfants constitue une priorité, mais également, le fait d’avoir des enfants empêche une maîtrise continue de la consommation d’énergie qui leur est relative : chauffage dans les chambres, fenêtres laissées ouvertes ou encore télévision laissée en veille. Les arbitrages en terme de pratiques énergétiques sont réalisés dans le cadre d’un projet de vie mais également dans le cadre de compromis entre les habitudes de vie des différents membres de la famille. L’explicitation des contraintes et du projet de vie des ménages permet de mieux cerner la place que peuvent prendre les économies d’énergie dans la vie des ménages. On peut ainsi imaginer quels seront les arbitrages réalisés par ces ménages et quelles seront les pratiques susceptibles d’être adoptées car ne venant pas contrecarrer la logique du projet de vie.

2.5.1.2 - Une caractérisation de la mobilité par les modes de vie

Un second exemple concerne l’étude de la mobilité en fonction du type de tissu urbain menée par Kaufmann, Jemelin & Guidez [2001] dans quatre agglomérations françaises. Les auteurs caractérisent tout d’abord l’importance et la diversité des activités réalisées par les individus de ces zones urbaines. Ils caractérisent les modes de vie par la spatio-temporalité de leurs activités à l’aide d’une typologie basée sur six critères d’évaluation : le rythme des activités, la localisation de ces activités, leur diversité, les contraintes spatio-temporelles auxquelles ces activités sont soumises, la distance-temps entre le domicile et le lieu de travail et la présence de chaînages réalisés après le travail.

	Ancré diversifié	Ancré pendulaire	Ancré contraint	Ancré libre	Nomade diversifié	Nomade pendulaire	Nomade contraint	Peu diversifié
Rythme	+	+	-	=	=	=	=	-
Proximité	+	+	+	+	-	=	=	-
Diversité	+	+	-	=	+	+	=	-
Contraintes	-	=	+	-	=	=	+	-
Pendularité	=	+	-	-	=	+	=	-
Enchaînement	+	+	+	-	=	=	+	-
Effectif du type	496	289	580	1192	656	237	356	1600

Source : Kaufmann, Jemelin, Guidez 2001

Tableau 2.8 : Spatio-temporalité des modes de vie

Ces huit modes de vie diffèrent principalement sur deux types de critères : la proximité et la diversité. Le critère de diversité rend compte de l'intensité des pratiques quotidiennes des individus. Les auteurs rangent les activités en quatre groupes qui répondent à différentes fonctions sociales. La sphère du travail regroupe toutes les activités financièrement rémunérées qui sont fortement obligées. La sphère de l'engagement est constituée des activités publiques et comprend des actions rémunérées symboliquement et non obligées, comme par exemple l'activité associative. La sphère des activités domestiques comprend des actions peu rémunérées symboliquement et fortement obligées, comme le ménage ou la cuisine par exemple. Et enfin, la sphère du temps libre renvoie à des activités peu rémunérées symboliquement et non obligées comme les activités sportives ou la visite à des amis. La mobilité est donc entreprise pour la réalisation d'activités correspondant à l'une ou l'autre de ces sphères.

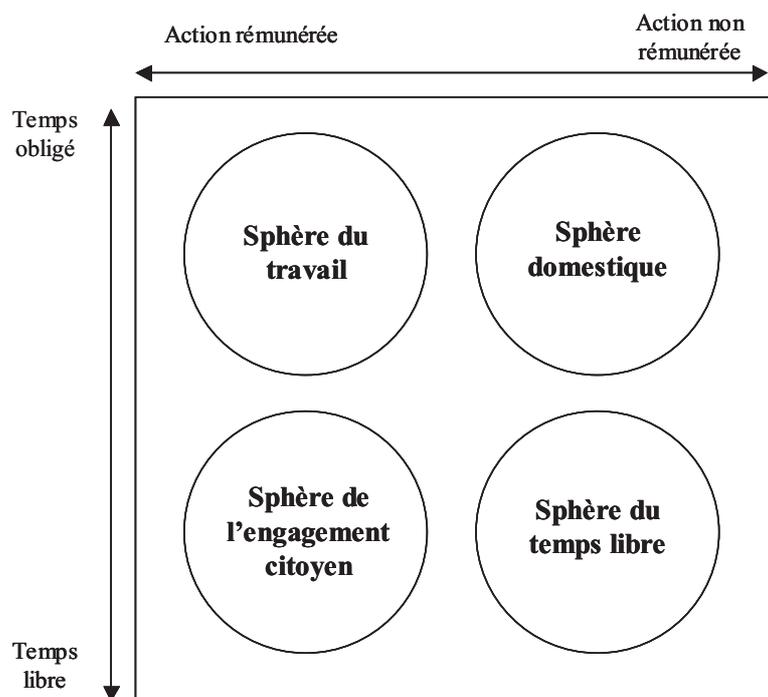


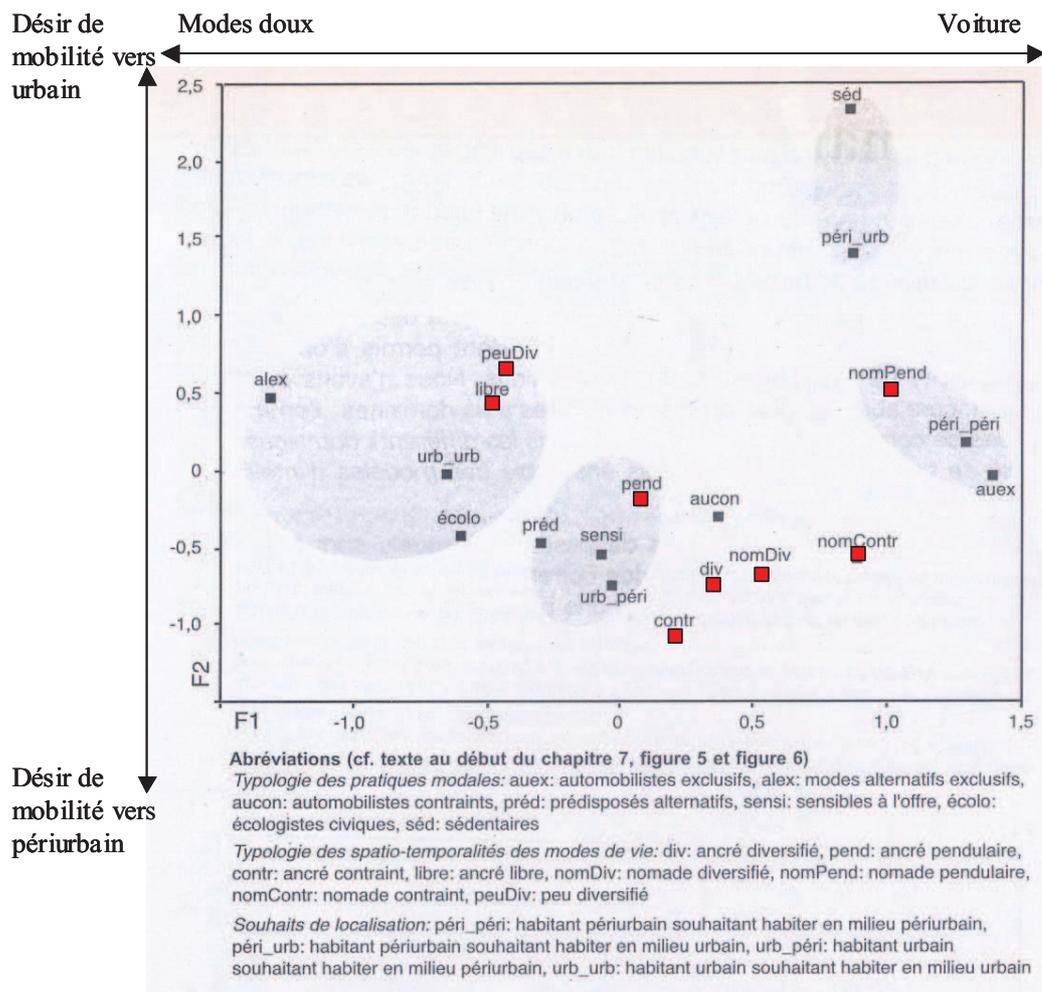
Figure 2.12 : Présentation des sphères d'activité

Ensuite, le critère de proximité sépare les « ancrés » des « nomades ». Les ancrés sont des individus qui se sont fortement appropriés leur quartier de résidence : ils apprécient de mener leurs activités dans ce quartier et sont également bien insérés socialement dans cet espace de vie. Tandis que les nomades considèrent plus leur quartier de résidence comme un lieu

utilitaire où ils rentrent dormir le soir et l'essentiel de leurs activités ne se situe pas dans leur quartier de résidence.

Kaufmann, Jemelin & Guidez [2001] étudient ensuite les pratiques de mobilité afférentes à ces différents modes de vie en se penchant sur l'intensité en nombre de déplacements, les distances parcourues et les modes utilisés pour chaque motif de déplacement. Ils se penchent d'autre part sur les aspirations de localisation résidentielle de ces ménages qui correspondent à leur projet de vie. La figure 2.13 présente donc la position des différentes catégories d'individus par rapport au désir de mobilité et aux modes de transport employés. Les catégories ayant une abscisse à gauche utilisent des modes de transport alternatifs type marche à pied ou vélo, tandis qu'à droite ils utilisent principalement la voiture. Les catégories ayant une ordonnée haute sont des individus qui habitent en périurbain et ont le désir d'habiter en centre-ville, tandis que ceux qui ont une ordonnée basse sont dans la situation inverse et que ceux du centre ne désirent pas changer de type de tissu urbain. Les catégories marquées en rouge²³ sont les catégories de ménages relatives à la typologie de la spatio-temporalité des modes de vie.

²³ Les autres sont relatives à d'autres typologies soulevées dans l'étude des auteurs



Source : Kaufmann et alii [2001]

Figure 2.13 : Pratiques de mobilité et projet de vie des différents modes de vie

Les nomades pendulaires sont par exemple le plus souvent des familles avec enfants habitant dans les villes nouvelles et en périurbain et disposent d'assez forts revenus et d'une ou plusieurs automobiles. Ils parcourent de longues distances pour se rendre sur leur lieu de travail et ont un emploi du temps diversifié. La grande majorité de leurs déplacements sont effectués en automobile en partie à cause des contraintes spatio-temporelles qui pèsent sur leur programme d'activité. En effet, les transports en commun ne permettent pas de desservir tous les lieux d'activité ni d'effectuer les chaînages d'activités que réalisent ces ménages, comme par exemple déposer les enfants à l'école avant de se rendre sur son lieu de travail ou encore aller au supermarché en y revenant.

Cette étude des pratiques de mobilité sous l'angle des modes de vie révèle que la mobilité, tant au niveau de l'intensité des déplacements que des modes utilisés, résulte

d'arbitrages entre des contraintes extérieures (accès aux transports, distances aux aménités) et des ressources (possession de voiture, temps libre, aptitude à se déplacer) guidés par un projet de vie. Ce projet de vie implique notamment une aspiration à vivre dans un type d'espace urbain particulier, un ancrage dans son quartier de résidence et un besoin de déplacement lié aux différentes sphères d'activité. La prise en considération des attentes, contraintes et moyens afférents aux différents modes de vie des individus permet alors de mieux saisir les arbitrages effectués en terme de mobilité.

2.5.2 – Les variables socio-démographiques sont explicatives des ressources et des contraintes en matière de comportement

L'analyse de la consommation d'énergie chez les familles des classes moyenne et de la mobilité des habitants des différents types de tissus urbains constituent des exemples très révélateurs de l'interaction entre mode de vie et consommation. Ils illustrent parfaitement le propos de Bovay [1987] qui considère que « la logique de consommation d'énergie se situe au croisement d'un projet de vie, d'habitudes et de ressources ». Il est alors assez tentant de généraliser leurs apprentissages à l'ensemble des ménages. Pour commencer, on peut se demander quelles sont les variables qui déterminent ces ressources, ce projet de vie et ces arbitrages effectués par ces ménages.

Tout d'abord le revenu constitue un premier déterminant pour appréhender les différences de comportement entre les ménages. En effet, le revenu constitue la contrainte économique de la consommation et il faut rappeler que l'alimentation mis à part, plus on dispose de revenus plus l'on consomme, et cela se vérifie également pour l'énergie. De plus la variable du revenu possède une grande pertinence à la fois économique et sociale puisque ce sont les positions économiques qui déterminent encore largement les positions sociales [Dobré 2003]. Un découpage des ménages basé sur le quintile de revenu est souvent retenu et permet une lecture assez pertinente du point de vue des pratiques énergétiques [Bigot 2007, Pierre 2008]. Non seulement ce découpage permet d'expliquer les différences quantitatives de consommation, mais il offre également une première distinction entre les différentes attitudes vis à vis des économies d'énergie. En réaction à une forte augmentation des prix, les classes les moins aisées ont tendance à réduire leur train de vie, alors que les riches, eux, ont plus tendance à investir dans les économies, par le biais d'équipements efficaces [Dillman et alii 1983]. Tandis que les classes moyennes se situeraient tantôt dans les gestes et tantôt dans les

dispositifs. Cette gradation des pratiques en fonction des classes de revenu est d'ailleurs un élément important constaté dans de nombreuses études [Black et alii 1985, Anker-Nielssen 2003].

Ensuite, on peut également citer d'autres variables déterminantes : le type de logement, la localisation, le statut d'occupation (propriétaire ou locataire), l'âge, le statut d'activité ou encore le type de ménage (vie en couple et présence d'enfants). Ces variables impliquent certaines contraintes relatives à la consommation qui viennent compléter celles induites par le revenu. Par exemple, le fait d'être propriétaire accorde une certaine latitude dans les choix énergétiques réalisés et dans les mesures d'économie adoptées, il est souvent impossible pour des locataires de réaliser des travaux ou de changer de chaudière. L'augmentation de la taille du ménage, elle, conduit mécaniquement à une augmentation des besoins en matière d'eau chaude sanitaire ou de mobilité. Enfin, la localisation résidentielle influence d'une part la qualité de l'offre de transport en commun et d'autre part la distance à parcourir pour atteindre les motifs de son emploi du temps quotidien, celui-ci étant par ailleurs fortement influencé par le statut d'activité des individus.

Chacune de ces variables joue un rôle en terme de possibilité d'action, elles agissent comme des contraintes ou des marges de manœuvre en matière de comportement. Mais c'est la combinaison de ces variables qui renseigne sur les ressources réelles du ménage. Ainsi, les mesures d'efficacité énergétique comme les travaux l'achat d'équipement ne sont entreprises que par des ménages qui sont à la fois propriétaires, avec un revenu confortable et installés dans la vie, comme le montre le premier exemple décrit plus haut.

De plus, la combinaison de ces variables dessine également des modes de vie qui s'adosent à un projet de vie et expliquent les arbitrages effectués et l'importance des différentes motivations à consommer. Les raisons pour économiser de l'énergie sont en effet multiples et leur importance varie en fonction des gestes et des ménages. On peut ainsi répertorier plusieurs grands types de facteurs qui peuvent influencer positivement ou négativement l'adoption de gestes ou l'achat en faveur des économies d'énergie. Les deux motivations principales sont le coût et le confort pour la majorité des ménages, avec un arbitrage qui s'effectue le plus souvent en faveur du coût chez les plus démunis et en faveur du confort chez les plus aisés [Moussaoui 2006]. Mais cette motivation économique joue de manière antagoniste en fonction des différentes classes de revenu. Pour les plus démunis, elle se traduit par l'achat d'équipements les moins coûteux en terme d'investissement initial et donc par un matériel plus souvent énergivore que pour les ménages les plus aisés. Les plus

démunis par exemple rénovent le plus souvent par nécessité et n'ont pas les moyens de payer un surcoût pour une bonne isolation thermique [Bruel & Hoekstra 2005].

On peut également citer d'autres facteurs qui influencent l'adoption de mesures d'économie d'énergie : l'attrait pour les nouveautés technologiques, les préoccupations environnementales, l'influence normative relative aux proches et à l'entourage. Il peut sembler que la motivation écologique par exemple ne suffise pas dans la majorité des cas à contrebalancer la logique de confort ou l'argument du coût [Moreau & Wibrin 2005] : la plupart des ménages ne sont pas prêts à acheter des produits spécifiques liés aux économies d'énergie ou à l'environnement [Roy 2006]. En revanche, l'influence sociale est loin d'être négligeable, Moreau & Wibrin [2005] constatent d'ailleurs que le civisme apparaît comme la motivation la plus forte pour réaliser certains gestes de sobriété énergétiques²⁴. Et cette influence sociale sera d'autant plus importante que l'action entreprise aura de la visibilité. En effet, la visibilité de l'action entreprise se traduit par une communication entre les groupes sociaux qui résulte alors en une approbation ou une désapprobation de la mesure [Jensen 2005]. L'influence du coût est donc limitée et le comportement adopté doit entrer en résonance avec les valeurs domestiques du groupe social qui sont le plus souvent liées au confort, au gain de temps, à la propreté ou encore à la construction identitaire par la consommation et par le logement [Shove 2003, Moussaoui 2006]. De plus, si l'importance relative des différents critères évoqués varie avec les ménages, c'est également le cas pour les usages. Les ménages semblent par exemple être attentifs aux messages relatifs à la maîtrise de l'énergie pour les produits liés au confort de première nécessité comme le chauffage, l'eau chaude et les équipements de froid et de lavage, mais pas pour les produits liés aux loisirs et à la détente comme les produits bruns (type hi-fi vidéo)²⁵.

Une description des ménages par une combinaison de leurs attributs socio-démographiques permet d'appréhender les contraintes auxquelles font face les ménages et leurs ressources en terme d'action de consommation. Si le projet de vie de chaque ménage lui est propre il semble qu'une tendance moyenne puisse être dégagée sur la base de ce découpage en catégories sociales. Cela signifie que l'utilisation de ces variables peut constituer une base d'étude solide pour rendre compte des arbitrages effectués par les ménages en matière de consommation d'énergie.

²⁴ Dujin, Poquet & Maresca (2007) notent également que la motivation principale pour la pratique du tri des déchets n'est la sensibilité écologique que dans 25% des cas, quand 40% des personnes le pratiquent par conformisme social.

²⁵ Source Marketis consulting 2002

L'analyse transdisciplinaire du comportement a permis de dépasser la vision simpliste d'un consommateur moyen dont le comportement serait guidé uniquement par un revenu disponible et un jeu de prix des énergies, conformément à ce qu'avance la théorie microéconomique néoclassique. La réalité est bien entendu plus complexe et renvoie à un ensemble de plusieurs logiques d'actions dont l'importance varie à la fois suivant les usages finaux et les ménages. Cela permet alors de mesurer l'écart de réalisme qui existe entre le comportement tel que décrit dans la littérature par les sciences humaines et une modélisation simpliste qui ne permet ni d'expliquer le comportement observé ni de l'appréhender à long-terme.

L'étude des modes de vie des ménages et des projets de vie qui les sous-tendent permet alors de mieux comprendre les opportunités retenues par les ménages et les arbitrages énergétiques effectués face aux contraintes auxquelles ils font face, et notamment entre le coût et le confort. Ces arbitrages se manifestent au travers de la gestion d'un poste budgétaire dans sa globalité et expliquent le niveau de besoin satisfait par grand usage énergétique. En revanche, ces modes de vie sont décrits assez globalement, ce qui peut se révéler parfois insuffisant, puisqu'au sein d'une même catégorie sociale homogène les pratiques domestiques et de mobilité entreprises peuvent fortement varier d'un ménage à l'autre, comme le constate Pierre [2008]. Les déterminants de l'adoption d'une pratique en particulier sont en effet plus à chercher du côté des variables psychosociologiques individuelles. Néanmoins cette approche par catégories sociales constitue un compromis pragmatique dans le cadre d'un exercice de prospective puisqu'elle permet de proposer un certain niveau de réalisme comportemental en matière de consommation d'énergie et de traduire l'hétérogénéité des ménages. De plus, ces modes de vie peuvent être relativement bien décrits en se basant sur une combinaison de variables socio-démographiques. Cette démarche présente un fort intérêt puisque l'évolution dans le temps de ces variables fait l'objet de scénarios robustes, ce qui permet de se projeter aux échelles de temps longues de la prospective.

Il s'agit désormais de quantifier et d'affiner les liens qui existent entre ces modes de vie et la consommation d'énergie, ce qui constitue l'enjeu du chapitre 3.

CHAPITRE 3

Quantification de l'impact du comportement : La contrainte énergétique liée au revenu

Comme expliqué dans le chapitre précédent, la consommation d'énergie des ménages dépend en grande partie de leur comportement. Il semble donc intéressant à présent de quantifier cet impact comportemental en confrontant des variables comportementales aux variables techniques traditionnelles pour expliquer la consommation d'énergie. Malheureusement aucune des bases de données disponibles à l'échelle de la France ne permet d'effectuer le double croisement de données des secteurs résidentiel et transports et de données techniques et comportementales. Pour pallier ce manque, nous nous sommes attelés à la réalisation d'un questionnaire spécifique qui a été lancée auprès de 2000 ménages en partenariat avec l'institut de sondages SOFRES. Ce chapitre présente tout d'abord l'enquête qui a été lancée et son traitement, puis détaille les résultats obtenus relativement au budget-énergie des ménages, aux différents types de pratiques de consommation quotidienne ainsi qu'à l'achat d'équipements.

Ce chapitre reprend en grande partie des résultats issus des publications suivantes :

CAYLA, JM. , MAIZI, N. , MARCHAND, C. “ The Role of Income in Energy Consumption Behaviour: Evidence from French Households data” *Energy Policy (under review)*

CAYLA, JM. , ALLIBE, B. , LAURENT, MH. “From practices to behaviors: Estimating the impact of household behavior on space heating energy consumption” *ACEEE Summer Study Proceedings*, 2010

3.1 – Présentation de la méthodologie de l'enquête EDF R&D

Un questionnaire papier a donc été mis sur pied et envoyé à 3000 ménages²⁶ de France métropolitaine au mois de juillet 2009. Nous avons bénéficié du travail de collaboration avec

²⁶ Les ménages sollicités sont issus du panel Métascope de la SOFRES qui en compte 15000.

la SOFRES pour la mise en forme du questionnaire et 2012 questionnaires complets ont ainsi été finalement retournés ; on obtient ainsi un taux de retour de 67%, ce qui est plutôt bon pour ce genre d'enquêtes. Le questionnaire se composait de deux volets : l'un relatif aux équipements et aux pratiques domestiques renseigné par une personne de référence du ménage²⁷, et un second volet relatif aux pratiques de mobilité individuelle et renseigné par l'un des membres du foyer âgé de 18 ans et plus. Cet individu est choisi aléatoirement avec une probabilité plus élevée d'être choisi s'il s'agit d'un actif occupé²⁸, puisque ces derniers sont en effet plus mobiles. Les échantillons de ménages et d'individus ont été constitués de façon à être représentatifs de la population française au regard des variables présentées dans le tableau 3.1 ci-dessous. Ces variables sont les attributs socio-démographiques dont nous avons vu dans le chapitre 2 qu'ils semblent jouer un rôle important dans la consommation d'énergie. Ensuite, une fois les questionnaires recueillis, les répondants – ménages et individus - ont été re-pondérés en utilisant ces mêmes variables à partir d'une macro de calage sur marges (CALMAR) développée par l'INSEE [Sautory, 1993]. Les marges – ou répartition des ménages - utilisées pour caler l'échantillon sont issues des données du recensement général de la population de 2006 [INSEE, 2007].

Variable	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4	Position 5
MENAGES					
Type de logement	Maison individuelle	Logement collectif			
	56,88%	43,12%			
Quintile de niveau de vie ²⁹	1 ^{er} quintile	2 ^{ème} quintile	3 ^{ème} quintile	4 ^{ème} quintile	5 ^{ème} quintile
	20%	20%	20%	20%	20%
Type de tissu urbain	Ville-centre	Banlieue	Périurbain	Rural	
	29,98%	15,34%	31,86%	22,81%	
Type de ménage	Célibataire	Couple sans enfant	Famille monoparentale	Couple avec enfants	
	33,05%	27,05%	11,05%	28,86%	
Statut d'occupation	Propriétaire	Locataire			
	57,24%	42,76%			
Age de la personne référence	< 40 ans	40-64 ans	≥ 65 ans		
	31,55%	50,40%	18,05%		

²⁷ Il s'agit de la maîtresse de maison : terme qui désigne la personne du ménage en charge des achats et peut désigner indifféremment un homme ou une femme.

²⁸ Le tirage au sort est fait de façon à sur-représenter les actifs : on souhaite obtenir 60% d'actifs occupés dans les réponses au lieu des 50% qu'ils représentent.

²⁹ Le niveau de vie correspond d'après l'INSEE au revenu par unité de consommation au sens de l'OCDE

Année de construction du logement	< 1949	1949-1974	≥ 1975		
	30,33%	29,70%	39,97%		
INDIVIDUS					
Type de tissu urbain	Ville-centre	Banlieue	Périurbain	Rural	
	26,54%	15,75%	34,54%	23,17%	
Age	15-29 ans	30-44 ans	45-59 ans	Plus de 60 ans	
	23,30%	25,68%	24,85%	26,17%	
Quintile de niveau de vie du ménage	1 ^{er} quintile	2 ^{ème} quintile	3 ^{ème} quintile	4 ^{ème} quintile	5 ^{ème} quintile
	23,1%	20,4%	19,2%	18,0%	19,3%
Sexe	Homme	Femme			
	47,78%	52,22%			
Statut d'activité	Etudiant	Actif occupé	Chômeur	Personne au foyer	Retraité
	8,77%	50,64%	6,32%	7,56%	26,71%

Tableau 3.1 : Variables de sélection et de redressement de l'échantillon

Etant donné que les individus de 15 à 17 ans font partie de la population active, il a été décidé de les incorporer à la population d'étude, aussi les marges utilisées pour redresser l'échantillon d'individus correspondent en réalité à la population âgée de 15 ans et plus. Le choix d'incorporer cette population se justifie également par le fait que leur mobilité est bien supérieure à celle des scolaires âgés de moins de 14 ans [Raux, Traisnel et alii, 2006].

Type de tissu urbain	Définition
Ville-centre	Commune appartenant au pôle urbain qui constitue le centre d'une aire urbaine
Banlieue	Commune appartenant à une aire urbaine et située à moins de 10km de la ville-centre
Périurbain	Commune appartenant à une aire urbaine et située à plus de 10km de la ville-centre
Rural	Commune située en dehors d'une aire urbaine

Tableau 3.2 : Définition du tissu urbain

Le choix de la définition pertinente pour segmenter le tissu urbain est ardu et en général celui-ci repose sur plusieurs indicateurs. Dans notre étude nous n'avons pas décidé de retenir la définition stricto-sensu de l'INSEE, mais plutôt de retenir l'indicateur de la distance de la commune au centre de l'aire urbaine. Cet indicateur est fortement mis en avant par les auteurs du projet ETHEL [Raux, Traisnel et alii, 2006] comme facteur explicatif des distances parcourues, puisqu'elle détermine en grande partie la distance au lieu de travail et aux

différentes aménités, et de l'offre de transports en commun. Il semble donc judicieux de baser la définition du type de tissu urbain sur cet indicateur dans le cas d'une étude sur les besoins en transports³⁰.

Le volet du questionnaire envoyé aux ménages³¹ comprend une partie sur les caractéristiques techniques détaillées du logement et de son environnement et une partie sur les différents usages domestiques en terme d'équipements, de pratiques quotidiennes et de consommations. Ce volet réunit également une partie relative aux véhicules particuliers ainsi qu'une partie traitant de la question des choix personnels en matière d'achat d'équipements.

Quant au volet individuel, il porte sur les pratiques de mobilité. Il recense les déplacements locaux effectués à partir du domicile à moins de 100 km au cours des sept derniers jours, les déplacements de longue distance au motif de visites/loisirs entre 100 et 1000 km effectués au cours du mois dernier, ainsi que les déplacements de très longue distance au motif de visites/loisirs effectués à plus de 1000 km au cours de l'année écoulée. Tous les déplacements effectués sont renseignés par mode, par gamme de distance et par motif, les circonstances d'accompagnement sont également précisées.

3.2 – Reconstitution de la consommation d'énergie par usage

3.2.1 - Extraction des consommations d'énergie par usage final en résidentiel

L'onglet sur les consommations d'énergie du volet « ménage » du questionnaire nous permet d'avoir accès aux consommations et aux factures annuelles pour 2008 de gaz naturel, de fioul domestique, de GPL et de bois. Dans le cas où la consommation ou la facture est non renseignée, celle-ci est déduite à partir de la facture ou de la consommation respectivement et du tarif renseigné ou le plus probable³² pour le gaz naturel. Concernant l'électricité, la consommation, le tarif et la puissance souscrite sont collectés à partir du numéro de référence client EDF et la facture globale du client est ensuite reconstituée sur la base des tarifs en vigueur en 2008.

Cependant une même source d'énergie peut être utilisée pour plusieurs usages finaux et il est alors nécessaire de décomposer la facture pour les différents postes de consommation.

³⁰ Pour plus de détail sur la question du choix du tissu urbain et des autres variables retenues, voir annexe 3.1

³¹ Les deux questionnaires que nous avons réalisés sont reproduits en annexe 3.3.

³² Le tarif de gaz est un tarif binôme, il y a donc une bijection entre la facture et la consommation. Voir annexe 3.2 pour le détail de prix des énergies.

Dans un premier temps, on regarde si la source d'énergie contribue ou non à la satisfaction de l'usage final et dans un second temps, on estime par régression la consommation des usages finaux par ordre croissant de leur importance supposée dans la consommation. Dans le cas de l'électricité qui peut contribuer aux quatre usages finaux que sont le chauffage, l'eau chaude sanitaire, la cuisson et l'électricité spécifique, on estimera d'abord la cuisson puis l'eau chaude sanitaire et enfin l'électricité spécifique. Le solde étant toujours attribué à l'usage restant supposé le plus important, donc au chauffage dans le cas où celui-ci existe. L'utilisation ou non de la source d'énergie pour un usage final donné est déterminée à partir de la nature des équipements de chauffage, d'eau chaude et de cuisson que le ménage déclare utiliser dans le questionnaire. Le tableau 3.3 résume les usages possibles par énergie et la méthodologie d'estimation. Il est à noter que le charbon n'est pas considéré puisqu'il compte pour moins de 0,5% de l'énergie finale totale du secteur résidentiel. L'énergie issue des réseaux de chaleur souvent regroupée sous le terme de « urbain » n'est également pas prise en compte dans la mesure où celle-ci donne le plus souvent lieu à des charges et non à des factures.

Source d'énergie	Chauffage	ECS	Cuisson	Electricité spécifique
Electricité	O	O	O	O
Gaz naturel	O	O	O	X
Fuel domestique	O	O	X	X
GPL	O	O	O	X
Bois	O	O	X	X
Importance supposée de l'usage	1	3	4	2

Tableau 3.3 : Usages finaux par type d'énergie

La détermination des consommations d'eau chaude sanitaire (ECS) et de cuisson est effectuée à partir de régressions basées sur une méthodologie développée par le CEREN [CEREN 2007a, CEREN 2007b] à partir de données de leur panel. Les variables utilisées sont principalement le nombre de personnes du ménage ainsi que le type de logement. On décline la méthode employée par le CEREN pour l'estimation des consommations de gaz naturel pour l'usage eau chaude sanitaire aux autres énergies que sont le fuel domestique, le GPL et le bois afin de déterminer la part en eau chaude de ces consommations. L'électricité spécifique est obtenue à partir d'une régression basée sur un sous-échantillon de répondants de notre enquête déclarant n'utiliser que de l'électricité spécifique. En effet, étant donné que nous avons accès aux consommations d'électricité issues de la base clients d'EDF il nous a semblé

intéressant de mener notre propre régression plutôt que d'utiliser celle développée par le CEREN [CEREN 2007a]. Néanmoins comme nous le verrons dans la suite les consommations globales d'électricité spécifique obtenues par les deux méthodes sont relativement proches, puisqu'on observe un écart de l'ordre de 5%.

La régression multilinéaire effectuée sur un sous échantillon de 348 ménages explique assez bien les consommations d'électricité spécifique puisque l'on obtient un coefficient de détermination $R^2=0,81$. Le modèle fait appel à un nombre réduit de variables dont les coefficients ont tous le signe attendu, et dont les coefficients de significativité (appelés p-values) sont globalement bons. Toutes les variables sont ainsi statistiquement significatives au seuil de 5% sauf la variable sèche-linge pour laquelle le seuil est de 10%.

Variable	Estimate	Pr > t
Absence de congélateur	-188,2	0,0385
Absence de lave-vaisselle	-231,7	0,0155
Nombre de personnes	392,6	<0,0001
Absence de sèche-linge	-158,1	0,1051
Surface en m2	15,37	<0,0001
Nombre d'équipements multimédia	104,1	0,0030

Tableau 3.4 : Variables explicatives de la consommation d'électricité spécifique

A partir de ces régressions on est alors en mesure de décomposer la consommation de chaque source d'énergie par usage final. Etant donné qu'une part relativement importante des ménages n'ont pas renseigné de consommation d'énergie ou que certaines consommations d'électricité n'ont pu être trouvées dans la base-client, les consommations obtenues sont corrigées des non réponses sur la base de l'existence de l'utilisation d'une source d'énergie pour l'usage final. Par exemple si un ménage déclare utiliser une chaudière individuelle au gaz mais n'a pas déclaré de facture de gaz, il sera néanmoins considéré comme utilisant du gaz à usage de chauffage. La figure 3.1 montre la répartition des différents modes de production de chauffage, d'eau chaude et de cuisson.

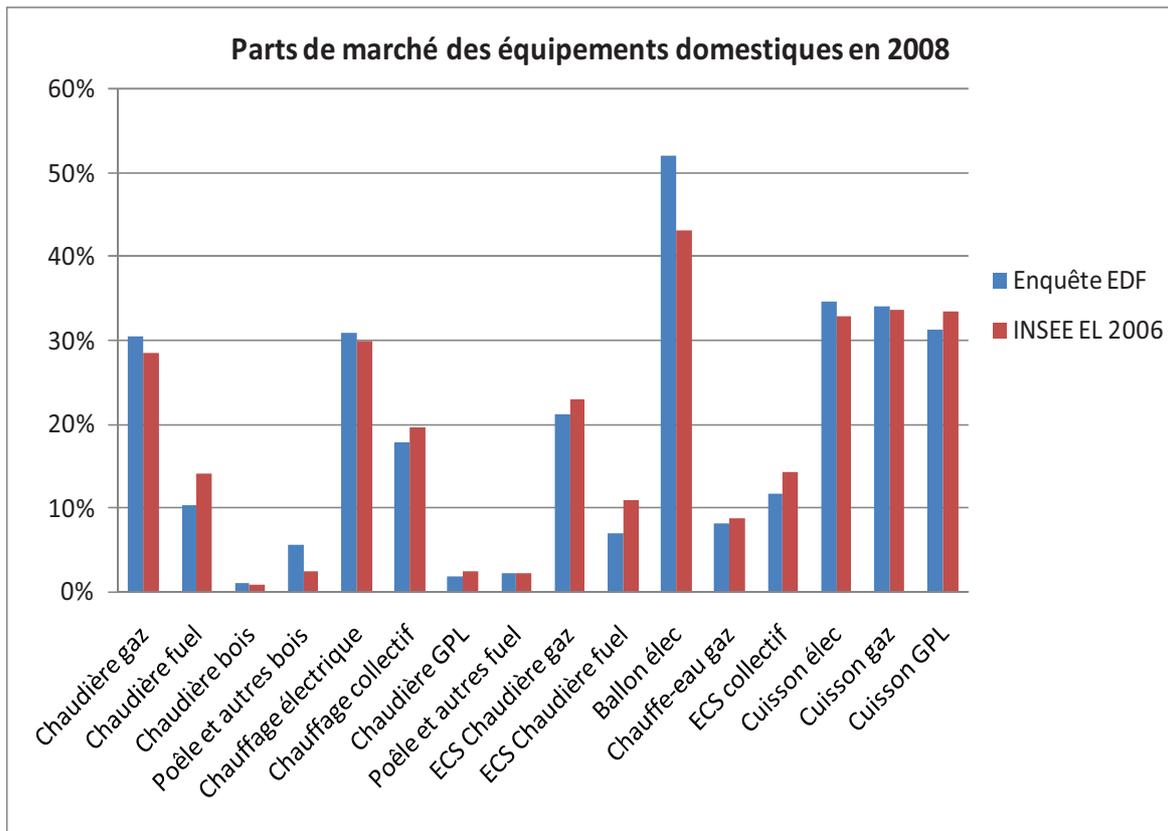


Figure 3.1 : Parts de marché des différents équipements domestiques

Afin d’avoir une idée de la représentativité des consommations par énergie et par usage estimées à partir des données de l’enquête, on compare les valeurs obtenues avec les consommations d’énergie, donnant lieu à des factures, fournies par le CEREN³³. En effet, dans le cas d’un paiement de charges, la consommation d’énergie associée ne peut pas être déterminée puisque celles-ci sont déterminées à l’avance. Cela exclut donc le chauffage et l’eau chaude produits par des systèmes collectifs de l’analyse. La figure 3.2 présente les consommations d’énergie par source et par usage.

³³ Sur la base des données 2008 à climat réel.

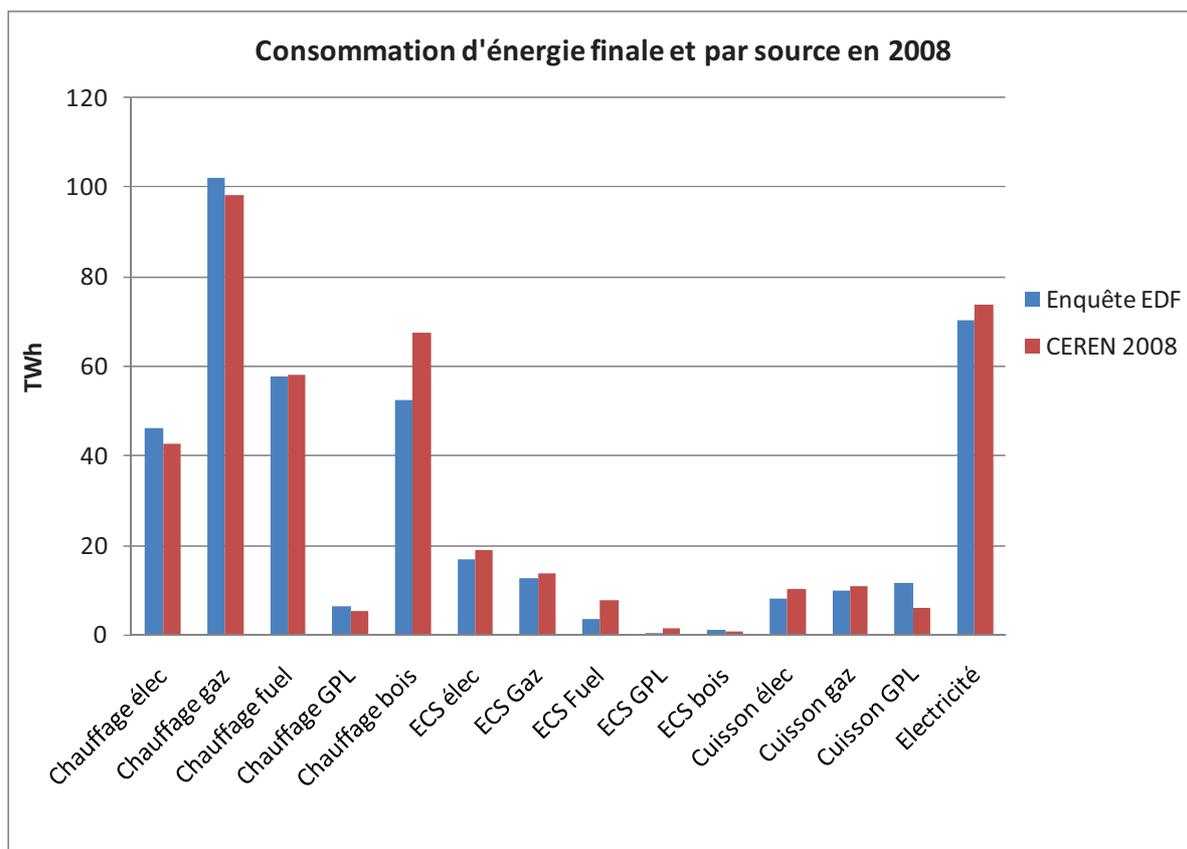


Figure 3.2 : Consommations d'énergie finale dans le secteur résidentiel

On constate que les résultats corrigés obtenus par l'enquête EDF R&D sont très proches des consommations avancées par le CEREN puisque l'on observe un écart moyen de l'ordre de 10%³⁴. On peut noter des écarts relatifs qui peuvent être plus importants pour les faibles consommations comme l'usage de cuisson à partir de GPL, et un écart important concernant le chauffage au bois. Cet écart n'est pas spécialement surprenant dans la mesure où il est toujours difficile d'estimer ces consommations qui ne passent pas nécessairement par le circuit commercial traditionnel. Le fait que l'on soit proche des consommations CEREN peut sembler logique en un sens étant donné que l'on s'est basé pour partie sur leur méthode de désagrégation par usage, mais cela montre surtout que les variables de calage utilisées pour sélectionner et redresser l'échantillon permettent d'être représentatif au niveau national de la consommation d'énergie. De plus, bien que les consommations initiales de l'enquête aient été corrigées en moyenne d'un tiers pour cause de non-réponse, le fait que les parts de marché des équipements domestiques soient également très proches de celles obtenues dans l'enquête

³⁴ En considérant la somme des pourcentages d'erreur par rapport aux consommations affichées par le CEREN et en pondérant par la valeur de cette consommation.

logement 2006 de l'INSEE encourage à penser que la non-réponse relative aux consommations ne biaise pas particulièrement les résultats.

3.2.2 – Reconstitution des consommations d'énergie pour le secteur des transports

La collecte des informations relatives aux consommations de carburant n'est pas particulièrement aisée dans la mesure où il n'existe pas de factures annuelles comme pour le résidentiel. Et même si la question du nombre de passage à la pompe au cours du mois et le montant moyen dépensé est abordée dans le questionnaire, celle-ci ne permet pas de remonter de façon fiable aux consommations en raison d'une forte non-réponse et surtout elle ne permet pas de remonter à la demande en terme de kilomètres parcourus. L'approche retenue pour estimer les consommations de carburant se base donc sur la mobilité renseignée dans le volet « individu » du questionnaire.

Dans un premier temps la collecte du nombre de trajets effectués depuis le domicile au cours des 7 derniers jours par gamme de distance et par mode permet de remonter au nombre de passagers-km effectués en multipliant le nombre de trajets par la distance moyenne de la gamme puis par deux pour considérer l'aller-retour. Cette méthode ne permet pas de rendre compte de l'exactitude des trajets réalisés mais elle permet de s'affranchir de deux difficultés. Tout d'abord, il est assez difficile de prendre en compte les chaînages de déplacements dans le cadre d'un questionnaire papier, ceux-ci sont pris en compte dans le cas de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements (ENTD) de l'INSEE mais pour ce faire, un enquêteur vient interroger directement les individus, ce qui constitue un processus plus lourd et bien plus coûteux que le questionnaire papier. Ensuite, le fait de ne demander qu'une gamme de distance fait perdre en précision sur la distance effectivement réalisée, mais cela permet en contre-partie d'obtenir des réponses plus sûres de la part des répondants. En effet, ceux-ci estiment souvent les distances avec une mauvaise précision, c'est ce qui a conduit l'INSEE à ne plus les demander directement aux répondants pour l'ENTD 2007-2008³⁵. En revanche on peut penser qu'en proposant plusieurs fourchettes de distance les répondants ne se tromperont pas trop de gamme de distance. Cette approche de comptabilisation des distances effectuées par gamme de distance, en ne considérant que les trajets au départ du domicile, semble néanmoins relativement robuste. En effet, à partir des données de l'ENTD 1993-1994 nous avons comptabilisé les trajets renseignés par cette méthode et l'erreur globale n'est que de

³⁵ Les localisations sont renseignées pour chaque partie du déplacement et la distance est calculée par géo-localisation par la suite.

+0,38% pour les déplacements de week-end, de +1,25% pour les déplacements de semaine et de +7,8% pour les déplacements de longue-distance³⁶.

Type de mobilité	Gamme de distance considérée	Distance retenue
Mobilité locale	< 300m	300m
	300m-1km	650m
	1-5km	3km
	5-10km	7,5km
	10-25km	17,5km
	25-50km	37,5km
	50-100km	75km
Longue distance	100-200km	150km
	200-350km	275km
	350-500km	425km
Très longue distance	500-1500km	1000km
	1500-3000km	2250km
	3000-8000km	5500km
	> 8000km	8000km

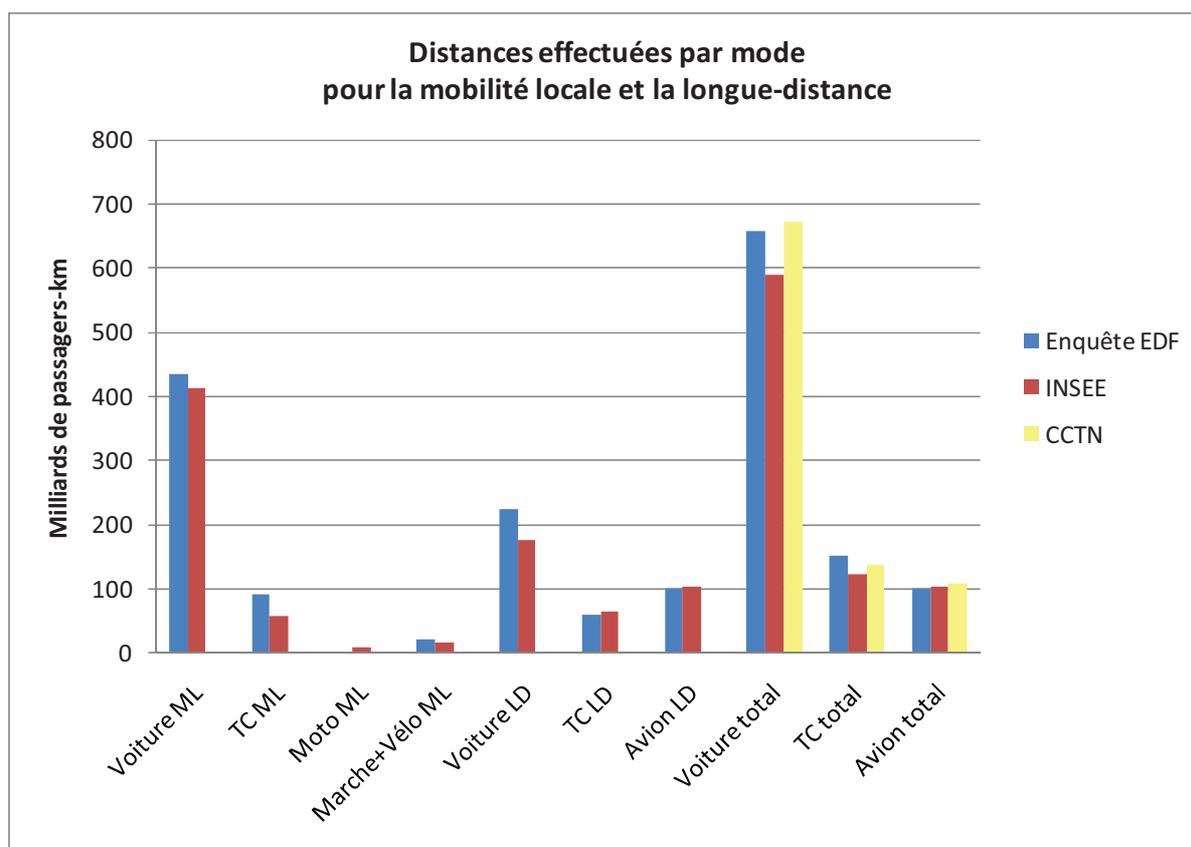
Tableau 3.5 : Gammes de distances renseignées par les individus

Ensuite, afin de pouvoir comparer nos résultats avec ceux de l'Enquête Nationale Transports et Déplacements 2007-2008, il nous faut prendre en compte la structure des déplacements des individus de 6 à 15ans puisque l'ENTD porte sur les déplacements de l'ensemble des individus de plus de 6ans. Ne disposant pas des informations relatives aux distances voyagées par mode et par statut d'activité des individus pour cette nouvelle enquête, une extrapolation a été effectuée à partir des résultats de l'enquête ENTD 1994. A partir du type de tissu urbain et de la possession ou non de voiture dans le ménage, variables considérées comme pertinentes par l'étude ETHEL [Raux, Traisnel et alii 2006], nous avons attribué à chaque individu de 6 à 15ans la mobilité moyenne du segment par motif et par mode. Enfin cette mobilité moyenne de semaine a été corrigée de la variation totale de mobilité de semaine constatée entre 1994 et 2008 pour les 6-15ans. Ce qui suppose qu'il n'y a pas eu de changement radical dans les motifs et les modes pour ces individus. Néanmoins cette variation n'étant que de -5% (104km/semaine en 2008 contre 110km/semaine en 1994), cette hypothèse ne devrait pas modifier énormément la mobilité par motif et par mode. D'une manière générale, il y a assez peu de différences en terme de durée des trajets, de nombre de trajets ou de distance parcourues avec les différents modes pour les différentes classes d'individus entre les deux vagues d'enquêtes de l'ENTD. La seule grande différence provient

³⁶ Voir annexe 3.4 pour plus de détails sur les données issues du calcul de l'ENTD 1994 et 2008.

d'un accroissement des distances en zone rurale ou faiblement urbanisée et d'une diminution en zone urbaine [INSEE, 2009].

L'enquête ENTD étant également une enquête basée sur des données déclaratives, nous avons voulu comparer les résultats de l'enquête EDF R&D avec une autre source de données, les chiffres fournis par la Commission des Comptes des Transports de la Nation (CCTN) pour l'année 2008. Concernant l'aérien international nous ne possédons que le nombre de passagers à destination des grandes régions du monde, des distances moyennes ont donc été affectées à chacune de ces régions pour obtenir des passagers-km. La figure 3.3 compare les résultats de l'enquête en terme de passagers-km par mode avec les données de l'INSEE et celles de la CCTN³⁷. De la même manière que pour les consommations résidentielles, l'échantillon enquêté ainsi que les variables et les marges de redressement utilisées semblent permettre d'obtenir des résultats représentatifs à l'échelle de la France métropolitaine, à la fois en terme de quantité de mobilité mais également en terme de parts de marché des différents modes de transport.



TC : Transports en commun , LD : Longue-distance

Figure 3.3 : Mobilité locale et à longue-distance hebdomadaire par mode

³⁷ Document accessible sur <http://www.statistiques.equipement.gouv.fr/>

Ensuite, afin de passer du nombre de passager-kilomètres réalisés en voiture aux véhicule-kilomètres correspondants qui vont donner lieu à une consommation d'énergie, il faut d'une part ajouter la mobilité de tous les membres du ménage et d'autre part avoir accès aux taux de remplissage des véhicules. Tout d'abord les déplacements domicile-travail et domicile-lieu d'études du conjoint éventuel sont renseignés dans le questionnaire « individu ». Concernant la mobilité pour d'autres motifs du conjoint, celle-ci est extrapolée par motif et par mode, à partir des déplacements renseignés par les autres répondants, selon les variables identifiées dans ETHEL [Raux, Traisnel et alii 2006] comme étant pertinentes, c'est à dire le statut d'activité, le type de tissu urbain et la possession ou non de voiture par le ménage. La mobilité des autres membres du ménage est également estimée sur la base de ces mêmes variables. Pour les étudiants, les chômeurs et les personnes au foyer, le faible nombre de répondants n'a permis de moyenniser que sur le type de tissu urbain.

Les conditions d'accompagnement par d'autres personnes dans les différents trajets renseignées dans le questionnaire « individu » permettent de déduire un taux d'accompagnement lors des trajets réalisés en voiture pour les différents types de ménages. Pour les déplacements de longue-distance, les personnes accompagnant le répondant sont des membres du ménage tandis que pour la mobilité locale, seul est renseigné le fait de voyager ou non avec d'autres personnes. A partir du taux d'accompagnement moyen constaté pour les ménages célibataires, on déduit approximativement un taux d'accompagnement par d'autres membres du ménage pour les autres types de ménages³⁸. On obtient ainsi des taux de remplissages moyens par type de ménage et par type de mobilité, les trajets en longue distance étant en général plus souvent réalisés accompagnés et avec l'ensemble des membres du ménage. Le tableau 3.6 fournit les valeurs de taux de remplissage ainsi obtenues. Cette table conduit à un taux de remplissage moyen, tous types de mobilité confondus, de 1,77, ce qui est très proche de la valeur de 1,85 utilisée par la Commission des Comptes des Transports de la Nation pour ses calculs. On peut également comparer le taux de remplissage moyen par trajet³⁹ obtenu en mobilité locale de 1,25 avec le chiffre fourni par l'enquête globale transports en Ile de France en 2001 de 1,30 [DREIF 2005].

³⁸ Cela introduit certainement un léger biais dans la mesure où il est fort probable que la part de trajets accompagnés par des personnes extérieures au ménage soit plus importante pour des célibataires que pour des familles avec enfants

³⁹ Les taux utilisés précédemment sont des moyennes sur la distance parcourue

Type ménage	Part ménages	Nombre personnes moyen	Taux ML	Taux LD	Taux TLD
Célibataire	33%	1,0	1,00	1,00	1,00
Couple ss enfant	27%	2,0	1,34	1,71	1,91
Monoparentale	11%	2,4	1,43	1,82	1,81
Couple av enfants	29%	3,7	2,47	2,14	2,51

Tableau 3.6 : Taux de remplissage des voitures par type de ménage et par type de mobilité

On parvient ainsi à établir le nombre de véhicule-kilomètres effectués par ménage. Afin de déterminer la consommation de carburant il convient ensuite de connaître la consommation spécifique de carburant du véhicule ainsi que le type de voiries empruntées. Tout d'abord concernant l'efficacité du véhicule on utilise les renseignements issus de la carte grise des véhicules et fournis par les répondants dans le questionnaire « ménages » pour le véhicule principal. Cela introduit donc un biais dans la mesure où l'on fait ainsi l'hypothèse que la totalité des véhicule-km sont effectués avec le véhicule principal, ce qui a tendance à sous-estimer la consommation puisque les véhicules principaux sont en général plus récents et moins consommateurs que les véhicules secondaires. A partir de l'année de mise en circulation, du type de carburant utilisé, du poids total à vide ainsi que de la puissance fiscale, la consommation mixte pour 100km est estimée par régression multilinéaire. La base de donnée qui sert de support à cette analyse provient de la collecte de données constructeurs pour différents modèles, marques et années. Il s'agit donc de la consommation de carburant affichée par les constructeurs obtenue à partir d'un cycle normalisé. Une distinction dans la régression est opérée entre les modèles antérieurs à 1998 et ceux postérieurs à 1998, dans la mesure où la méthode de calcul de la puissance fiscale a été modifiée cette année là⁴⁰. Il est assez aisé de déduire la consommation urbaine et extra-urbaine des différents véhicules une fois la consommation mixte de carburant obtenue. En effet le coefficient de corrélation entre consommation mixte et consommation urbaine ou consommation mixte et consommation extra-urbaine se situe entre $R^2=0,95$ et $R^2=0,99$ en fonction du type de carburant et du type de véhicule.

Il est ensuite nécessaire de formuler des hypothèses sur le type de voirie empruntée par les véhicules pour déduire une consommation d'énergie. A partir de la longueur des trajets effectués ainsi que du type de tissu urbain de résidence, on construit un jeu d'hypothèses sur le type de voirie le plus fréquemment utilisé et on applique ensuite la consommation

⁴⁰ Voir annexe 3.4 pour les détails sur les régressions.

spécifique à ce type de voirie. Le tableau 3.7 présente les hypothèses effectuées par type de trajet et type de tissu urbain de résidence.

Tissu urbain	< 300m	300m-1km	1-5km	5-10km	10-25km	25-50km	50-100km
Rural	Urbain	Urbain	Mixte	Ex-urbain	Ex-urbain	Ex-urbain	Ex-urbain
Périurbain	Urbain	Urbain	Urbain	Mixte	Ex-urbain	Ex-urbain	Ex-urbain
Banlieue	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Mixte	Mixte	Ex-urbain
Ville-centre	Urbain	Urbain	Urbain	Urbain	Mixte	Mixte	Ex-urbain

Tableau 3.7 : Type de consommation spécifique envisagée en fonction de la distance du trajet

La consommation spécifique est alors appliquée pour chaque type de trajet et on peut en déduire une consommation globale de carburant pour le ménage. Enfin, par souci d'obtenir des données de consommation plus réalistes, un correctif moyen est appliqué afin de tenir compte de l'écart existant entre les consommations affichées par les constructeurs automobiles et les consommations réelles. Cet écart est relativement significatif puisque l'on constate une différence de 11% entre les deux pour l'année 2008⁴¹. La mobilité collectée dans l'enquête puis transformée en consommation de carburant provient de la mobilité locale d'une semaine extrapolée à 52 semaines, de la mobilité longue-distance du mois de juillet 2009 extrapolée à 12 mois ainsi que de la mobilité très longue distance de juillet 2008 à juillet 2009. Les dépenses de carburant sont calculées sur la base des prix moyens des carburants pour la période de juillet 2008 à juillet 2009 soit 1,275 euros par litre d'essence et 1,094 euros par litre de gazole⁴².

Les figures 3.4 et 3.5 donnent la composition du parc de véhicules particuliers ainsi que les consommations de carburant issues de l'enquête d'une part et des comptes transports de la nation pour 2008 d'autre part. On constate que les résultats obtenus à partir des données de l'enquête sont cohérents en terme d'équipement automobile et de consommation de carburant avec les chiffres issus des comptes des transports de la nation.

⁴¹ A partir d'un modèle de parc automobile réalisé en interne à EDF R&D, la valeur moyenne de consommation pour le parc issue des données constructeur est de 158gCO₂/km, tandis que la CCTN affiche une valeur moyenne de 175gCO₂/km, pour des parts essence et gazole identiques.

⁴² Source base de données PEGASE-DGEMP

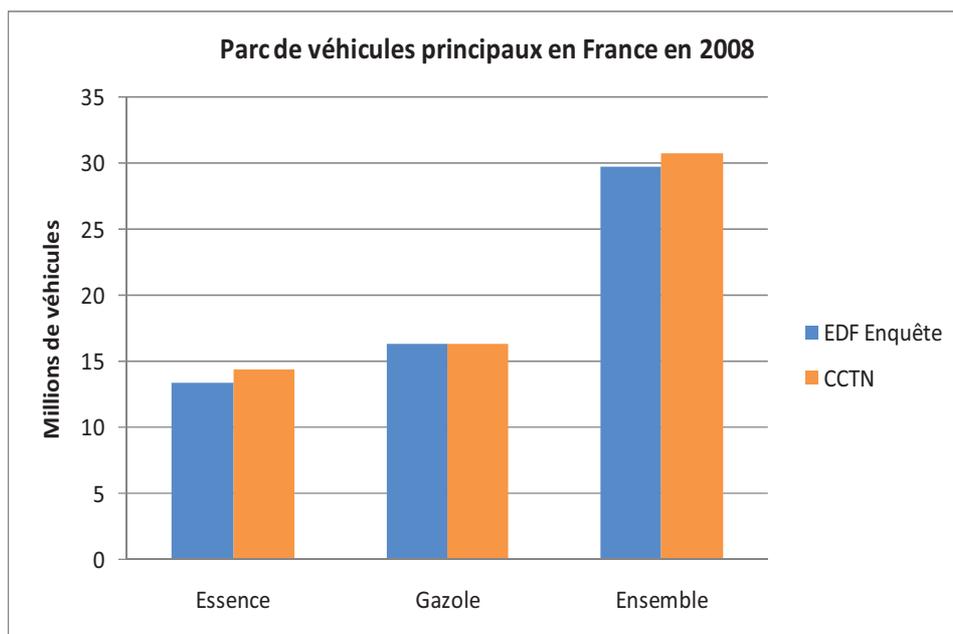


Figure 3.4 : Composition du parc de véhicules particuliers

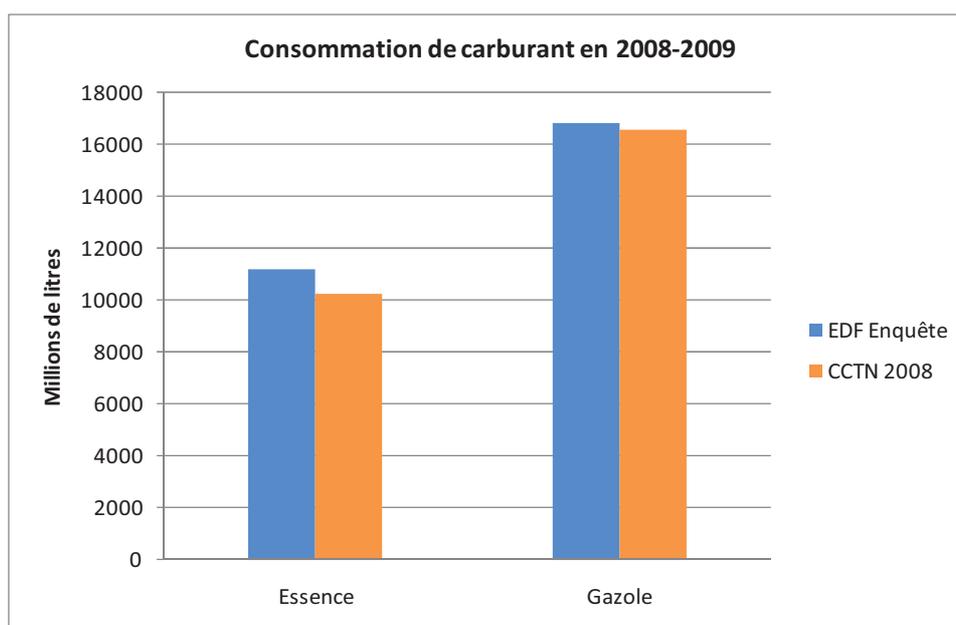


Figure 3.5 : Consommation de carburants des véhicules particuliers

Le traitement des données brutes de l'enquête a permis d'obtenir la consommation d'énergie des ménages par source d'énergie et par usage final. Les figures présentées dans les deux paragraphes précédents montrent que les résultats obtenus par cette enquête, tant en terme d'équipement que de consommation d'énergie, sont globalement en ligne avec les chiffres obtenus par d'autres organismes nationaux de référence comme l'INSEE, le CEREN ou la CCTN. D'autre part, les variables de redressement choisies semblent de prime abord

permettre d'atteindre un niveau de représentativité nationale satisfaisant en terme de parts de marché et de consommations. Néanmoins cela ne garantit pas la validité des résultats et n'exclut en aucun cas l'existence de biais qui pourraient être présents dans des sous-échantillons de répondants, la somme de ces biais pouvant éventuellement s'annuler pour permettre de retomber sur les consommations nationales. Etant donné le faible nombre de répondants dans notre échantillon d'une part et le fait que les données sur des segments plus fins ne sont pas toujours disponibles d'autre part, il paraît assez difficile de creuser plus avant ce problème de la représentativité. On peut simplement conclure que le fait de retomber sur les valeurs avancées par différentes sources de référence obtenues avec des méthodes différentes, aussi bien pour le résidentiel que pour les transports, pour un certain nombre de grandeurs clés est assez rassurant pour la suite des analyses.

3.3 – Le budget-énergie des ménages présente de fortes inégalités

3.3.1 – Des postes budgétaires qui pèsent lourd sur les plus démunis

Le traitement des données présenté dans le paragraphe précédent permet de remonter aux dépenses des ménages en terme d'énergie domestique et de mobilité locale. Afin d'établir le budget-énergie des ménages, il convient d'ajouter les charges locatives ou de copropriété liées aux usages de chauffage et d'eau chaude sanitaire au poste de dépenses domestiques. De la même manière il convient d'ajouter les dépenses liées aux titres de transports en commun payés par le ménage à des fins de mobilité locale dans le poste des transports. En effet, les dépenses liées aux charges et aux transports en commun, si elles ne constituent pas un achat d'énergie ont pourtant toute leur place dans ce calcul de part budgétaire puisqu'il s'agit de dépenses engagées pour le même type de services. Ensuite, la part des dépenses de carburant pour des motifs de visites/loisirs de longue-distance est retranchée du budget transports et considérée à part. Ce type de dépenses correspond plus en effet à un bien de luxe qu'à un bien de première nécessité comme semble l'être l'énergie au quotidien. Ces distinctions ne sont malheureusement pas toujours prises en compte dans les calculs de dépenses énergétiques des ménages [ADEME 2008, INSEE 2008]. Pourtant cela contribue à accentuer fortement les conclusions de ces études en terme de précarité énergétiques et d'inégalités de parts budgétaires entre les déciles extrêmes de revenu. En effet, le fait de payer des charges locatives en logement collectif ou d'utiliser les transports en commun est bien souvent le lot des plus démunis, ce qui vient alors alourdir encore un peu plus la part que ceux-ci consacrent

à l'énergie. A l'inverse, le fait d'ôter la part des carburants pour la mobilité de longue distance vient diminuer la part des dépenses que les plus riches consacrent à l'énergie. Les inégalités entre ménages riches et pauvres sont donc en réalité encore plus saillantes que ne le montrent ces études. La figure 3.6 présente l'évolution des dépenses avec le revenu pour les ménages des différents déciles de revenu.

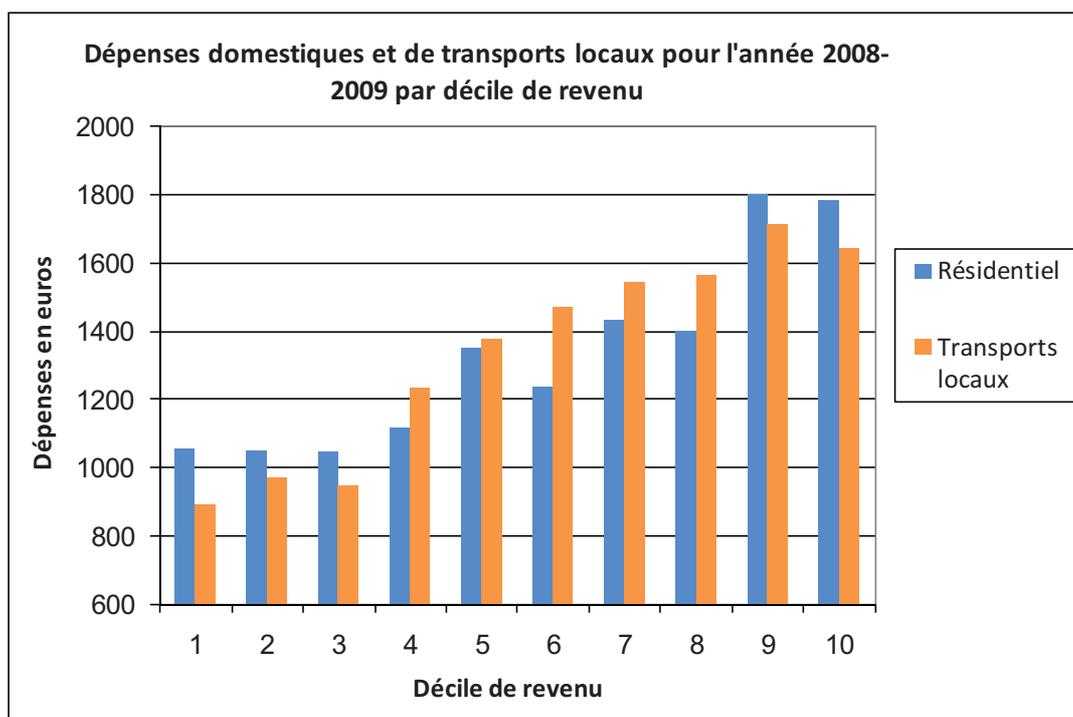


Figure 3.6 : Dépenses domestiques et de transports annuelles des ménages

Tout d'abord, on peut constater que l'ordre de grandeur des dépenses domestiques et des dépenses de transports locaux est à peu près identique, les deux postes ont la même importance dans le budget des ménages. Ensuite, l'évolution de ces dépenses avec le revenu est également similaire. En premier lieu on constate un palier minimum de consommation pour les ménages les plus modestes, puis une croissance à peu près linéaire des dépenses avec le revenu et enfin une plage de stabilisation des dépenses pour les plus hauts revenus. Cette figure laisse à penser que les ménages les plus démunis sont bien soumis à une contrainte énergétique, cette dépense correspondant aux besoins minimums auxquels il faut répondre. Tandis qu'à l'autre bout de la courbe on assisterait à un début de saturation auprès des ménages les plus riches. Ceci semble logique car après un certain niveau de dépenses, le confort maximal en terme de chauffage ou de déplacements quotidiens est atteint. La figure

3.7 présente ces mêmes dépenses sous l'angle des parts budgétaires que représentent ces deux postes.

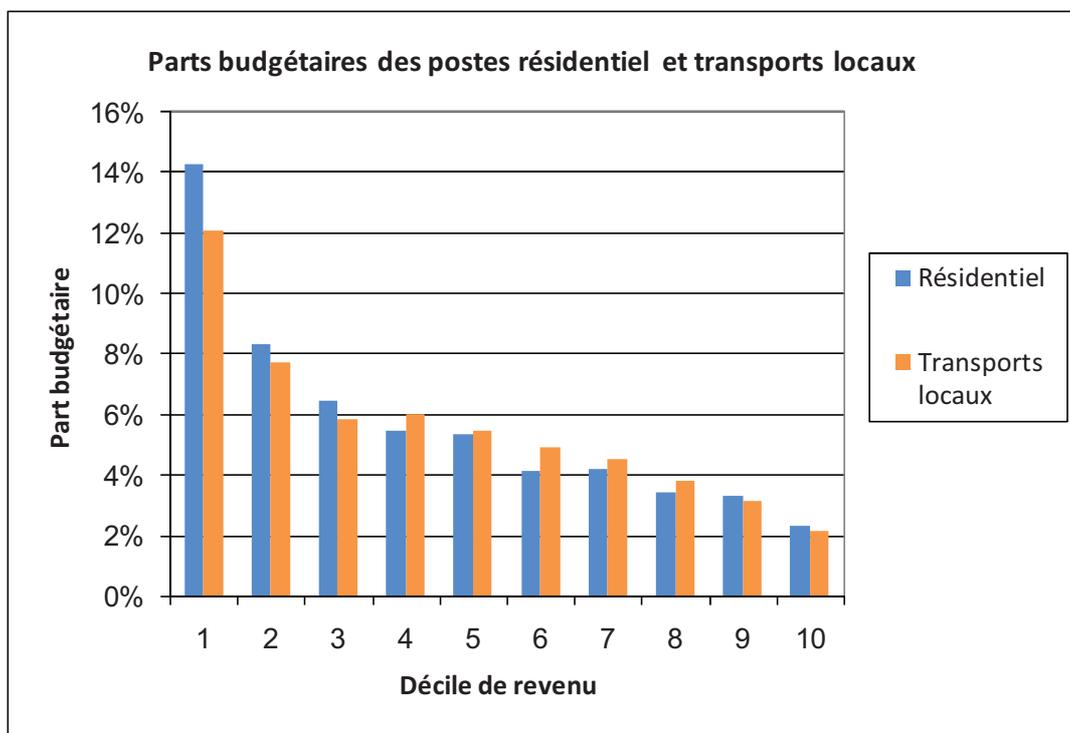


Figure 3.7 : Parts budgétaires des postes résidentiel et transports locaux

Tout d'abord, les valeurs des parts budgétaires obtenues peuvent sembler substantiellement plus élevées que celles obtenues par l'INSEE [2010] qui annonce 8,4% en moyenne alors que nous sommes plus proches de 10%. Ceci peut s'expliquer premièrement par le fait que l'année d'observation est différente, que le périmètre des dépenses considérées est différent ainsi que par le fait que les dépenses sont parfois calculées et ne prennent pas en compte d'éventuelles réductions de tarif liées à l'âge ou au revenu par exemple (voir annexe 3.8 pour une analyse plus détaillée de ces différences). On constate ensuite que ces parts budgétaires évoluent de manière similaire avec le revenu pour les deux secteurs et que celles-ci explosent pour les faibles revenus. La part budgétaire allouée au résidentiel et aux transports étant globalement bien maîtrisée par les autres catégories de ménages : entre 2% et 6%. L'existence d'un seuil de dépense minimale conjuguée à une forte croissance de la part budgétaire correspondante implique que les ménages les plus démunis consomment par nécessité et que la notion de contrainte énergétique est tout à fait adaptée dans leur cas. Ces ménages démunis sont d'ailleurs doublement contraints, puisque non seulement ils

consomment presque deux fois moins en valeur que les plus aisés, mais en plus cela leur revient environ 2,5 fois plus cher.

Si l'on s'intéresse à présent aux dépenses liées aux déplacements de longue distance au motif de visites et loisirs écartés du budget transports locaux, la situation est toute autre. La figure 3.8 présente la structure des dépenses de longue distance. Cette fois-ci, on ne constate pas de seuil de dépense minimum, et peut être un début de saturation⁴³. De la même manière, la part budgétaire semble bien maîtrisée par l'ensemble des ménages et croît même pour les hauts revenus, ce qui est typique d'un bien de luxe.

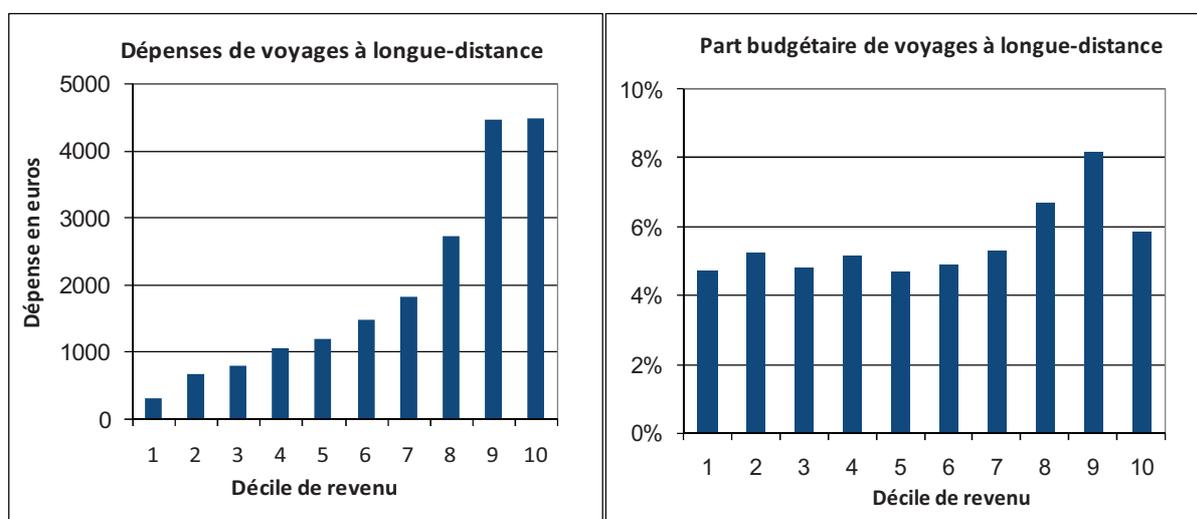


Figure 3.8 : Structure des dépenses de voyages à longue distance pour motif visites/loisirs

La comparaison de ces figures met en lumière le contraste qui existe entre la consommation de services énergétiques en résidentiel et en transports locaux d'une part et en consommation de déplacements à longue distance d'autre part. Les premiers sont des biens de première nécessité, les ménages les plus pauvres sont contraints à un minimum de consommation qui leur revient très cher tandis que le second est un bien de luxe et ne pose pas de problème de contrainte énergétique.

3.3.2 - Un facteur de service de chauffage fortement guidé par le revenu

⁴³ Certainement lié au fait que la consommation de ce bien nécessite un budget-temps, qui lui n'augmente pas avec le revenu.

L'analyse menée sur les dépenses des ménages en fonction de leur revenu met en évidence de très fortes disparités. Néanmoins il semble intéressant de poursuivre l'analyse en terme de service énergétique consommé et de niveau de confort atteint.

Le gouvernement français a mis en place en 2006 un système d'étiquettes de performance énergétique du bâtiment [MECSL 2006]. L'établissement de l'étiquette repose sur un calcul thermique qui se base sur les caractéristiques techniques du bâtiment en supposant un scénario comportemental normatif identique pour tous les logements. Cette méthode dite DPE-3CL suppose en effet que le logement est chauffé dans son intégralité à 18°C et ce durant toute la saison de chauffe. L'application de cette méthode à notre échantillon nous fournit donc un besoin de chauffage théorique que nous pouvons comparer au besoin de chauffage estimé par la méthode décrite au paragraphe 3.2.1. Le détail du calcul thermique DPE-3CL ainsi que l'utilisation des variables correspondantes est décrit en annexe 3.4. La figure 3.9 montre l'évolution du ratio consommation estimée/consommation théorique avec le revenu.

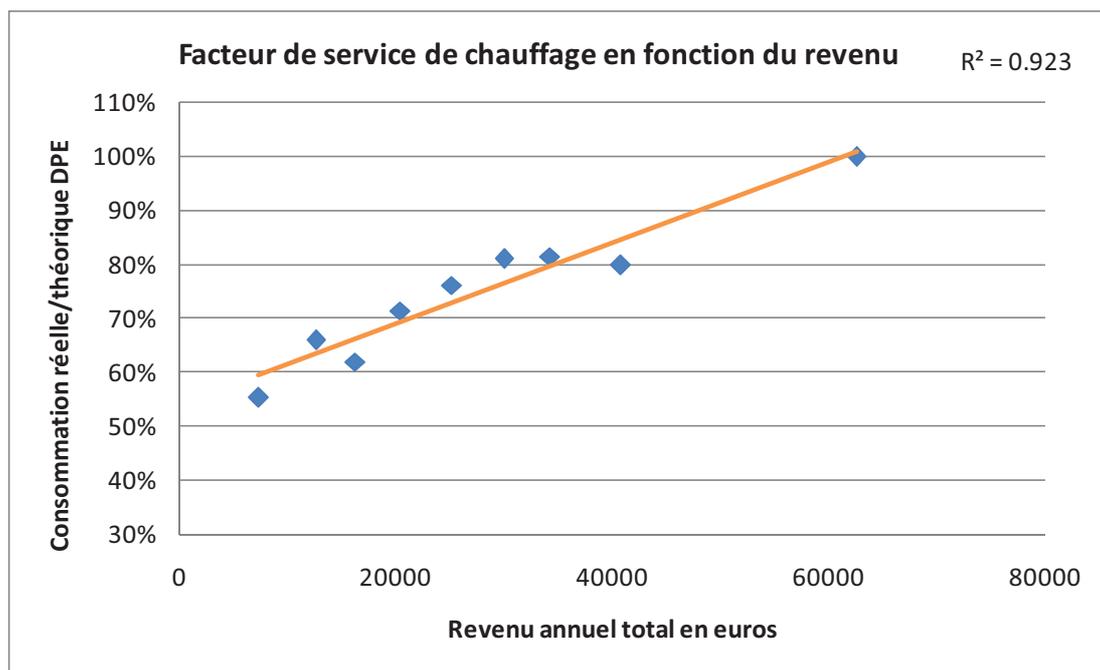
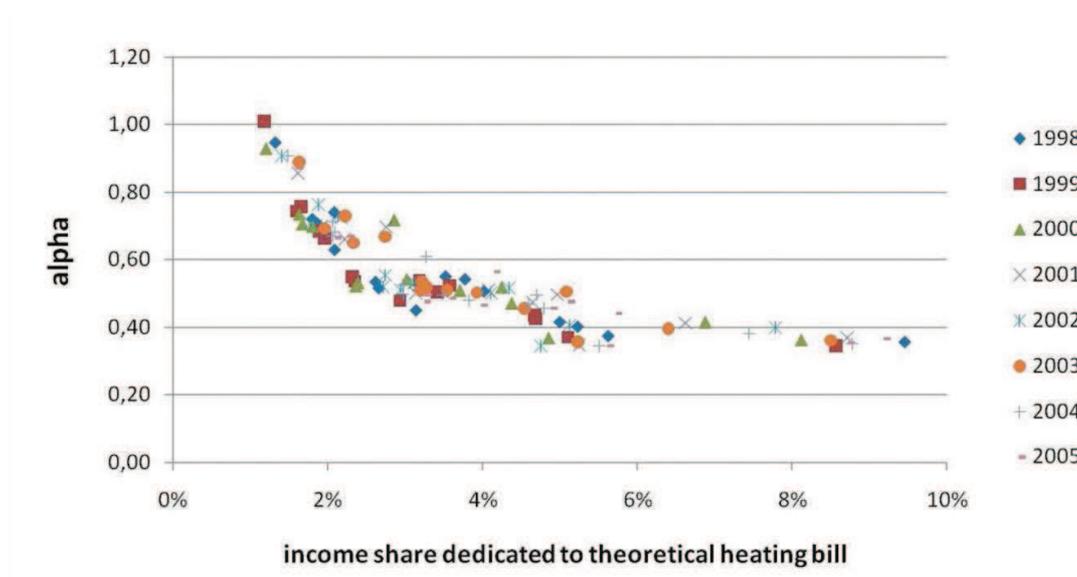


Figure 3.9 : Evolution du facteur de service de chauffage avec le revenu

Ce ratio de consommation renvoie à la notion de facteur de service évoquée par Haas et alii [2000] pour quantifier l'effet rebond. S'il est difficile de parler d'un niveau de satisfaction des besoins à partir de cet indicateur puisque le choix de la consommation de référence est absolument discutable, il est intéressant de se pencher sur l'évolution de cet

indicateur avec le revenu. On constate que ce ratio croît linéairement avec le revenu et qu'il existe un facteur 2 entre les déciles de revenu extrêmes⁴⁴. La méthode de calcul utilisée comporte des biais dans la mesure où elle surestime la consommation des logements les plus anciens, de plus certaines variables utilisées sont seulement estimées puisque leur collecte est particulièrement difficile par la méthode des questionnaires papier. Mais si une partie de l'écart constaté peut éventuellement être attribuée à ces approximations, l'essentiel de cette disparité peut être attribuée au comportement domestique des ménages et notamment au niveau de confort choisi par les ménages.

Ce constat est par ailleurs tout à fait cohérent avec un travail précédent réalisé par Allibe [2009]. Il s'intéresse à l'évolution de ce facteur de service (alpha sur la figure 3.10), obtenu à l'aide d'un modèle thermique proche de la méthode DPE-3CL, avec la part budgétaire théorique que représenterait cette consommation calculée. Il utilise pour cela une série temporelle de données issues du CEREN pour des segments de logements basés sur l'année de construction et le type d'énergie de chauffage notamment.



Source : Allibe [2009]

Figure 3.10 : Evolution du facteur de service avec la part budgétaire théorique

Cette figure montre tout d'abord que l'on obtient bien une relation quasiment bijective entre la part budgétaire théorique et le facteur de service. Cela signifie que quelle que soit l'année de construction ou l'énergie de chauffage du logement, le ménage occupant semble

⁴⁴ Faute d'un nombre suffisant de répondants pour les déciles 9 et 10, ceux-ci ont été regroupés et correspondent au dernier point de la courbe.

adopter le même comportement d'ajustement de son niveau de confort. En effet, plus il est coûteux théoriquement pour le ménage de chauffer son logement plus celui-ci va adopter en réalité un niveau de confort moindre⁴⁵ de manière à ce que l'ampleur du poste chauffage reste raisonnable. L'idée d'une gestion du niveau de confort choisi relativement à l'importance du poste budgétaire dans le budget du ménage se trouve ainsi renforcée par l'observation de ce même phénomène à partir de deux jeux de données différents.

Une fois fixées les caractéristiques techniques du logement et du système de chauffage, les différences de consommation proviennent de la quantité de service énergétique consommé. Cela signifie donc que pour un même logement le revenu du ménage peut en moyenne impacter son niveau de confort d'un facteur 2. Cette conclusion laisse alors à penser que le facteur 2 entre les déciles de revenu relevé précédemment en matière de dépenses énergétiques est en grande partie imputable au niveau de confort fixé par le ménage.

Afin de valider cette hypothèse il serait intéressant de mener le même type d'analyse pour les autres services énergétiques, néanmoins nous ne disposons pas des données relatives aux postes ECS, cuisson et électricité spécifique dans la mesure où celles-ci ont été estimées par régression. D'autre part s'agissant des transports il n'existe pas non plus de scénario de besoin normatif utilisé officiellement permettant une comparaison avec le niveau de mobilité réellement consommé ou avec les dépenses de transports locaux.

3.4 – Quelle impact du comportement dans la consommation de chauffage ?

Comme évoqué précédemment, les déterminants potentiels de la consommation d'énergie sont nombreux. Le plus souvent les études et enquêtes sur la consommation d'énergie ne disposent que de l'information relative au parc de bâtiments, ou que de l'information relative aux occupants et à leurs pratiques. Un des intérêts principaux de cette enquête réside dans le fait qu'elle offre la possibilité de comparer l'impact de déterminants non-techniques sur la consommation d'énergie toutes choses égales par ailleurs. Cela signifie par exemple que nous pouvons étudier quantitativement l'impact de la gestion spatio-temporelle du chauffage étant donné un certain niveau d'isolation et une certaine efficacité du système de chauffage. En effet, bien souvent, les études qui s'intéressent à l'impact des déterminants non-techniques sur les consommations d'énergie [Vringer et alii 2007] ou aux

⁴⁵ Soit en chauffant moins, ou en adoptant des pratiques de réduit en fonction des pièces et au cours du temps.

caractéristiques des ménages économes en énergie [Barr et alii 2005] interrogent les répondants sur leurs pratiques, estiment des consommations d'énergie mais ne prennent pas la peine de se renseigner sur l'efficacité des composants techniques du logement. Cela peut conduire à biaiser l'importance de ces déterminants, par exemple, l'âge du répondant peut certes être à l'origine d'un niveau de demande de service élevé, mais considéré indépendamment, il masque l'impact de l'âge du logement et par là-même le niveau de performance du bâti, ceux-ci étant fortement corrélés.

Le comportement de consommation intervient à deux niveaux : sur l'achat d'équipement et sur le niveau de consommation de service. La consommation d'énergie pour un usage donné dépend donc de la possession ou non de l'équipement qui fournit ce service. Aussi, estimer la consommation d'énergie dans sa globalité nécessite, d'un point de vue statistique, d'élaborer un modèle de choix discret/continu tel que celui présenté par Dubin & McFadden [1984] qui permet de tenir compte du choix d'achat d'équipement puis du choix de consommer le service associé de manière continue. Etant donné la complexité de ce genre de modèles et le fait que l'usage de chauffage, présent dans tous les ménages, représente la majeure partie de la consommation d'énergie, il a été décidé de se limiter à l'explication de la consommation de chauffage. Nous utilisons donc un outil de régression multilinéaire, à partir du logiciel SAS, afin d'obtenir d'une part le pouvoir explicatif maximal contenu dans les variables renseignées dans l'enquête, et d'autre part l'importance des variables liées au comportement dans l'explication de la variance. Notre but en nous livrant à ces analyses statistiques n'est pas de construire un modèle prédictif de la consommation d'énergie, mais bien de montrer le poids des différentes familles de déterminants impliqués dans la consommation d'énergie⁴⁶. Une première régression multilinéaire est donc menée à partir de 17 variables représentant un total de 28 degrés de liberté, afin d'expliquer la consommation de chauffage du ménage extraite des consommations, tel que présenté dans la section 3.3.1, sur un échantillon de 923 répondants. La taille de l'échantillon peut sembler faible mais elle est due au fait que certains répondants n'ont pas de facture puisque leur consommation de chauffage est incluse dans les charges et que certains répondants n'aient pas déclaré de facture. De plus, les ménages pour lesquels la consommation d'énergie finale de chauffage

⁴⁶ C'est notamment pour cette raison que nous avons utilisé la totalité de l'échantillon disponible, sans isoler de sous-échantillon à des fins de validation.

n'était pas comprise entre 20 et 400 kWh/m² ont été exclus de l'analyse⁴⁷. Le tableau 3.8 donne les résultats des tests de Fisher. Toutes les variables sont relativement significatives puisque toutes ont plus de 80% de chance d'être explicatives de la variance de la consommation (on a $Pr > F < 0.2$) et une grande partie de ces variables sont significatives au seuil de 1%. Le modèle est globalement robuste puisque le test de Fisher donne $F=32.43$ avec une $p\text{-value} < 0.0001$.

Définition	Degrés de liberté	Pr > F
Variables techniques et liées à l'environnement		
Surface habitable	1	<0.0001
Année de construction	5	<0.0001
Type de logement	1	<0.0001
Nombre de pièces	1	<0.0001
Existence d'un thermostat	1	0.0087
Heating degree hours HDH *	1	<0.0001
Déperditions surfaciques *	1	0.0002
Efficacité du système de chauffage	1	0.0070
Variables liées aux pratiques		
T°C dans la pièce principale	1	<0.0001
Gestion de la température *	1	0.0001
Durée d'aération hebdomadaire *	1	0.1785
Part du logement non chauffé *	1	0.1091
Jours d'absence du domicile *	1	0.0344
Variables socio-démographiques		
Revenu	1	0.0195
Type de logement	1	<0.0001
Age du chef de famille	3	0.1550
Taille du ménage	6	0.0602
Prix de l'énergie de chauffage principale	1	<0.0001

*: Variables construites à partir des variables de l'enquête : voir annexe 3.6 pour le détail

Tableau 3.8 : Niveau de significativité des variables utilisées

Le tableau 3.9 donne les p-values ($Pr > |t|$) des variables ainsi que la valeur des coefficients (Estimate). Tous les coefficients ont le signe attendu à l'exception du prix de l'énergie de chauffage. Une explication possible peut provenir du fait que le prix est directement lié à la source d'énergie et donc à un système de chauffage en particulier. La variable de prix est donc fortement corrélée à la variable d'efficacité du système, ce qui peut introduire un biais mutuel sur leur coefficient.

⁴⁷ Ces valeurs correspondent aux bornes que représentent un logement récent qui suit la dernière réglementation thermique et à un ancien logement mal isolé [DGHUC, 2006]

Définition	Estimate	Pr > t
Constante	-15.80	<0.0001
Surface habitable (m2)	0.048	<0.0001
Année construction < 1914	1.27	<0.0001
Année construction 1915-1948	0.64	0.0673
Année construction 1949-1974	0.83	0.0039
Année construction 1975-1988	-0.33	0.2576
Année construction 1989-2000	-0.71	0.0603
Type de logement - Maison	0.79	<0.0001
Nombre de pièces	0.62	<0.0001
Existence d'un thermostat	-0.34	0.0087
Degrés-heure de chauffage HDH* (K.h)	0.000061	<0.0001
Déperditions surfaciques* (W/Km2)	1.08	0.0002
Efficacité du système de chauffage	-0.58	0.0070
T°C dans la pièce principale (°C)	0.40	<0.0001
Gestion de la température*	0.14	0.0001
Durée d'aération hebdomadaire* (min)	0.0028	0.1785
Part du logement non chauffé*	-1.39	0.1091
Jours d'absence du domicile*	-0.19	0.0344
Revenu (keuros)	0.024	0.0195
Age du chef de famille - <30 ans	0.10	0.6967
Age du chef de famille - 30-45 ans	-0.34	0.1708
Age du chef de famille - 46-60 ans	-0.26	0.2376
Taille du ménage - 1 personne	1.95	0.0128
Taille du ménage - 2 personnes	1.49	0.0373
Taille du ménage - 3 personnes	0.81	0.2706
Taille du ménage - 4 personnes	0.89	0.2218
Taille du ménage - 5 personnes	0.90	0.3193
Taille du ménage - >5 personnes	3.01	0.1061
Prix énergie de chauffage (euros/kWh)	0.20	<0.0001

* : variables issues d'un calcul (présenté en annexe 3.6)

Tableau 3.9 : Impact des variables sur la consommation de chauffage

La régression multilinéaire permet d'expliquer 50% de la variance de la consommation de chauffage, ce qui est assez proche de la valeur de 46% que trouvent Santin et alii [2009] dans une étude similaire sur des logements hollandais. Une première régression multilinéaire incluant la totalité des variables disponibles, y compris celles qui sont statistiquement non significatives, nous conduisait à une explication totale de 57%. Ensuite plusieurs régressions sont conduites incluant uniquement certaines catégories de variables, afin de déterminer l'importance respective de chacun des groupes de variables. Le tableau 3.10 fournit la part de variance expliquée par chaque catégorie de variables et leur part dans l'explication globale de la variance.

Type de variable	R ² ajusté	Part
Total	0.50	100%
Techniques + Environnement	0.33	66%
Socio-démographiques + Pratiques	0.17	33%
dont socio-démographiques	0.13	75%
dont pratiques	0.04	25%
Techniques + Environnement + Pratiques	0.37	74%

Tableau 3.10 : Part explicative des différentes catégories de déterminants

Ces résultats appellent plusieurs commentaires. Tout d'abord, on constate que les variables relatives aux occupants du logement expliquent un tiers de la variance de chauffage contre deux tiers pour les caractéristiques techniques du logement et les aspects météorologiques. Cela donne donc un ordre de grandeur de l'importance du comportement et justifie quantitativement l'importance que l'on peut lui accorder dans le cadre d'un exercice de prospective. Cette valeur est assez éloignée de celle de 4,2% que trouvent Santin et alii [2009] mais est assez proche de celle de 32% obtenue par Sonderegger [1977] sur des logements américains. La faible valeur obtenue par Santin et alii [2009] vient probablement du fait, comme ils l'expliquent eux-mêmes, qu'ils ne disposent presque pas de variables continues. Mais le fait qu'ils se soient focalisés sur la présence au domicile et non sur les aspects spatio-temporels de gestion de la réduction de température vient sans doute renforcer cet écart, puisque cette variable semble jouer un rôle important dans notre étude.

Ensuite, il est assez surprenant que parmi ces variables liées au ménage occupant, une si faible part corresponde aux pratiques déclarées (25%), tandis que les variables socio-démographiques jouent un si grand rôle (75%) alors qu'elles n'ont pas d'impact thermique direct. En réalité le fait qu'elles jouent un grand rôle dans la consommation est le fruit de deux phénomènes. D'une part, comme nous l'avons évoqué au chapitre 2, la combinaison d'attributs socio-démographiques comme l'âge, le revenu ou le type de famille dessinent des classes sociales qui possèdent un certain projet de vie impliquant un certain mode de vie. La logique de ce projet de vie invitera le ménage à effectuer des arbitrages entre coût et confort suivant ses priorités [Moussaoui 2005]. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que ces différentes

variables socio-démographiques dans la mesure où elles impactent l'intensité de service énergétique consommé jouent un fort rôle explicatif dans la consommation. Ce qui l'est plus en revanche, c'est qu'elles continuent de jouer ce rôle alors que des pratiques quotidiennes explicites sont également renseignées. En effet, d'un point de vue thermique, seules comptent la température de confort, les différents réduits et l'aération du logement. Le statut d'occupation ne devrait jouer aucun rôle en théorie. Cela signifie donc que le niveau de détail des pratiques renseigné est largement insuffisant pour décrire la consommation effective et de ce fait, les variables socio-démographiques continuent d'avoir un rôle important. On peut également évoquer la possibilité de biais déclaratifs. Ceux-ci peuvent être liés au caractère orienté des questions ou bien à la désirabilité sociale, concept suivant lequel les ménages très peu chauffés ou très fortement chauffés auraient honte de leurs pratiques et biaiserait volontairement leur réponse afin de correspondre à la norme. Néanmoins nous observons une large gamme de réponses allant de 12°C à 25°C pour la température de chauffage dans la pièce principale, les répondants ne semblent donc pas gênés de répondre des valeurs très basses. De plus, les questions ont été élaborées de manière à être les plus objectives et neutres (voir partie C du questionnaire en annexe 3.2) pour espérer réduire au maximum ce biais. En effet, ce type de biais apparaît le plus souvent lors de questions orientées du type « Pensez-vous avoir accompli le mois dernier au moins un geste pour préserver l'environnement ? ». Ensuite, on peut évoquer la présence de biais déclaratif lié à la mauvaise connaissance des pratiques réellement effectuées. Il y a cette fois-ci plus de chance pour que les réponses en soient entachées. Nous avons volontairement essayé de poser des questions simples en proposant des réponses comprises dans des fourchettes afin de limiter l'incertitude et de faciliter la réponse, mais il n'est pas aisé de se souvenir de ses actions passées, et les réponses obtenues ne correspondent qu'à des habitudes, des comportements effectués dans la majorité des cas. A notre avis le problème se situe réellement ici. Afin de ne poser que des questions auxquelles les individus interrogés sont censés pouvoir répondre, la complexité et la précision ont volontairement été réduits. Pour connaître le comportement pertinent en matière de gestion de la température il aurait fallu en réalité demander aux ménages de tenir un carnet de bord dans lequel seraient consignées les températures de chacune des pièces pendant tous les jours de l'année et avec un pas de temps horaire très fin. Bien entendu ce genre d'information est très compliqué à obtenir et le degré de précision collecté, même si il est conforme aux pratiques, ne permet pas d'expliquer une forte part dans la variance de chauffage. On touche alors du doigt une limite de la méthode des questionnaires papier pour la collecte des pratiques et pour quantifier le comportement de manière précise.

En revanche, cette analyse valide le fait que les variables socio-démographiques ont un bon pouvoir explicatif de la consommation de chauffage et peuvent alors constituer de bonnes variables proxies du comportement de consommation.

3.5 - Les pratiques domestiques: entre intensité de service et gestion de l'énergie

A partir des pratiques de consommation quotidienne et des gestes d'attention énergétiques déclarés, il est possible d'établir un profil plus ou moins énergivore des ménages. L'analyse des déterminants à l'origine d'une pratique de consommation donnée est particulièrement complexe comme nous l'avons vu dans le chapitre 2. Elle nécessite de renseigner de manière détaillée plusieurs déterminants psychosociologiques tels que l'attitude, la perception de faisabilité de l'action ou encore la désirabilité sociale. Le contenu du questionnaire adressé aux ménages ne permet absolument pas la quantification de ces éléments. Il semble donc vain de se pencher sur les déterminants d'un geste en particulier. En revanche il est possible d'essayer d'expliquer le caractère globalement économe ou énergivore du ménage en considérant les gestes dans leur ensemble. Les différentes pratiques renseignées sont quantifiées⁴⁸ et une note leur est attribuée : de 1 pour un profil économe à 4 pour un profil énergivore. L'ensemble des notes relatives aux pratiques est ensuite sommée pour attribuer une note globale suivant deux types de pratiques : l'intensité de service consommé et la gestion de l'énergie. L'intensité de service correspond à la quantité de service énergétique consommé, il s'agit par exemple de la température de chauffage, du nombre de douches ou du nombre de cycles de machine à laver. La gestion renvoie plus à de l'attention énergétique et à une sorte de lutte contre le gaspillage, elle se compose de gestes qui permettent d'économiser de l'énergie sans réduire le service énergétique fourni. Le tableau 3.11 récapitule l'ensemble des gestes considérés pour le secteur résidentiel⁴⁹.

⁴⁸ Voir annexe 3.5 pour plus de détails sur le calcul

⁴⁹ Le contenu du questionnaire ne nous permet de mener le même type d'analyses. Il serait néanmoins intéressant de caractériser d'autres gestes pour le secteur des transports et de comparer les résultats.

Description	1	2	3	4	Type
Température de la pièce principale en hiver	≤16 °C	17-19 °C	20-22 °C	≥23 °C	Intensité
Part du logement non chauffé	>50 %	25-50 %	0-25 %	0 %	Intensité
Réduction de la température durant 1/2j d'absence	Toujours	Souvent	Parfois	Jamais	Gestion
Réduction de la température durant 2j d'absence	Toujours	Souvent	Parfois	Jamais	Gestion
Réduction de la température durant une semaine ou plus d'absence	Toujours	Souvent	Parfois	Jamais	Gestion
Réduction de la température durant la nuit	Toujours	Souvent	Parfois	Jamais	Gestion
Durée hebdomadaire d'aération	≤35 min	36-105 min	106-135 min	≥135 min	Gestion
Nombre de bains par personne par semaine	0	0.5	1	>1	Intensité
Durée totale de douches par personne par semaine	≤35 min	36-70 min	71-105 min	≥135 min	Intensité
L'eau continue à couler pendant toute la durée de la douche	Non	De temps en temps		Oui	Gestion
La fraîcheur de la nuit et du matin est utilisée pour rafraîchir le logement en été	Souvent	De temps en temps		Non	Gestion
Les volets sont fermés durant la journée pour réduire la chaleur du logement en été	Souvent	De temps en temps		Non	Gestion
La lumière est allumée dans une pièce inoccupée	Jamais	Rarement	De temps en temps	Régulièrement	Gestion
La lumière est utilisée pendant la journée	Jamais	Rarement	De temps en temps	Régulièrement	Gestion
Nombre d'utilisations de la machine à laver par semaine	<1	1	2-6	≥7	Intensité
La machine à laver est pleinement remplie avant utilisation	Oui	Peu importe		Non	Gestion
Température des cycles de la machine à laver	≤30 °C	40 °C	60 °C	90 °C	Gestion
Nombre d'utilisation du lave-vaisselle par semaine	<1	1	2-6	≥7	Intensité
Le lave-vaisselle est pleinement rempli avant utilisation	Oui	Peu importe		Non	Gestion
Durée d'utilisation de TV et d'ordinateur	≤3 h	4-5 h	6-7 h	≥8 h	Intensité
La TV est allumée lorsque personne ne la regarde	Eteinte	En veille		Allumée	Gestion
L'ordinateur est allumé lorsque personne ne l'utilise	Eteint	En veille	Ecran éteint	Allumé	Gestion

Tableau 3.11 : Evaluation des pratiques domestiques

Les figures 3.11 et 3.12 montrent l'évolution de la note d'intensité et de la note de gestion avec le revenu pour les différents déciles de revenu.

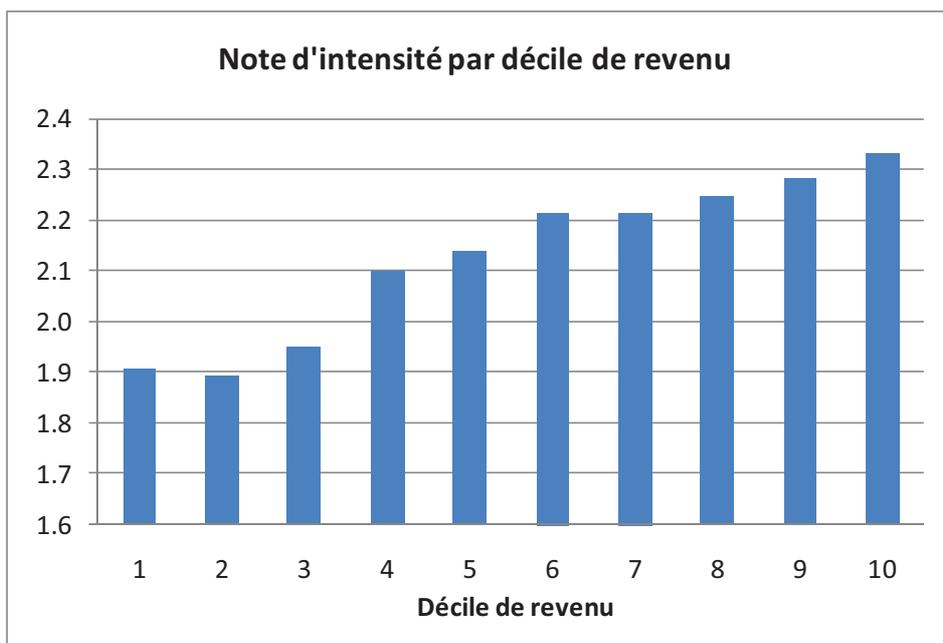


Figure 3.11 : Evolution de la note d'intensité avec le décile de revenu

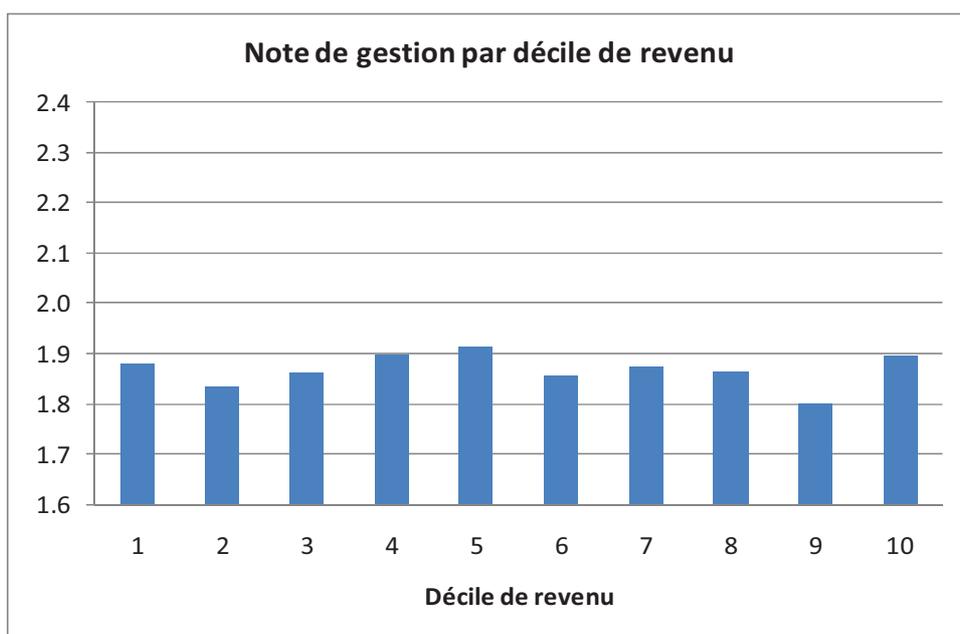


Figure 3.12 : Evolution de la note de gestion avec le décile de revenu

L'impact du revenu sur les deux notes est bien différent, dans le premier cas on observe une croissance linéaire assez évidente de la note d'intensité de service avec le décile de revenu, indiquant une consommation accrue de service énergétique. Dans le second cas la note de gestion reste globalement constante avec l'évolution du revenu, ce qui semble indiquer que la gestion de l'énergie n'a pas de lien avec le revenu. Cette analyse repose sur une méthodologie assez qualitative et fragile dans la mesure où l'on introduit une

quantification d'éléments qualitatifs. Néanmoins ce type d'approche est de plus en plus employée dans les études récentes sur l'impact du comportement [Barr et alii 2005, Vringers et alii 2007]. Le contraste entre les deux effets observés est relativement saisissant mais se justifie assez bien d'un point de vue théorique. Dans le cas de l'intensité, on traite de la consommation d'un bien qui sont les services énergétiques, il semble donc assez logique de retrouver un impact important du revenu : plus l'on est riche plus l'on consomme et ce jusqu'à la saturation des besoins. En revanche, dans le cas de la gestion on a affaire à une notion d'attention énergétique qui ne modifie pas le niveau de bien consommé. La logique d'action est donc certainement plus à chercher du côté de l'éducation, de la culture, des normes sociales ou encore des valeurs, que l'on peut regrouper sous le terme de variables « amont ». Pour valider ce constat deux régressions multilinéaires sont menées afin d'expliquer ces deux notes⁵⁰. La note d'intensité s'explique en partie ($R^2=0,2$) et à l'aide de variables socio-démographiques. Tandis que la note de gestion s'explique très mal ($R^2=0,05$) et à la limite ce sont les valeurs de l'individu qui semblent jouer le plus fort rôle explicatif⁵¹.

Ce résultat demande à être confirmé par d'autres études et notamment il serait intéressant de chercher à caractériser les déterminants de cette note de gestion à partir de données plus complètes sur l'éducation ou les normes. Mais il permet d'éclaircir le paradoxe apparent selon lequel des individus de haut statut social avec un fort niveau d'études et qui se disent concernés par l'environnement consomment plus que la moyenne [Pierre 2008]. En effet, les variables socio-démographiques influencent le niveau de besoin satisfait par le ménage, qui est élevé dans le cas de l'exemple. Tandis que les préoccupations environnementales pourraient influencer l'intensité des gestes d'attention adoptés par le ménage, qui dans le cas de l'exemple vient amoindrir la consommation énergétique, celle-ci restant néanmoins élevée au regard de la moyenne nationale. Ce résultat implique également que le niveau de corrélation entre le niveau de préoccupations environnementales et le niveau de service énergétique sera sans doute très faible, ce qui pourrait expliquer le résultat d'une récente étude du CREDOC sur le lien entre température de chauffage et sensibilité écologique [Dujin & Maresca, 2010]. Ces variables attitudinales jouant certainement plus sur la gestion de l'énergie⁵².

Beaucoup d'études sur le comportement échouent à trouver un lien statistique entre les variables « amont » et la consommation globale du ménage [Vringer et alii 2007, Hezemans

⁵⁰ Le détail est donné en annexe 3.7

⁵¹ Voir l'annexe 3.6 pour plus de détail sur les valeurs de l'individu

⁵² Même si certains types de mouvements écologistes préconisent une baisse de la consommation y compris en terme de service.

2005] et l'on pourrait être alors tenté de disqualifier l'importance de ces variables. En réalité leur impact n'est peut être pas à corrélérer directement à la consommation d'énergie totale du ménage, celle-ci étant largement guidée par les besoins, et donc les variables socio-démographiques, et les caractéristiques techniques des équipements. De plus ces variables psychosociologiques sont difficiles à quantifier et leur impact difficile à apprécier, l'adoption de telle ou telle pratique résultant de mécanismes cognitifs assez complexes.

3.6 – L'importance du revenu dans l'achat d'équipements

Après avoir observé l'impact du revenu du ménage sur son niveau de consommation énergétique, il semble tout aussi important d'étudier son impact sur l'autre facette comportementale que constitue l'achat d'équipements énergétiques. Dans le volet « ménages » du questionnaire, le répondant qui est aussi le principal responsable des achats dans le ménage, est invité à répondre à des questions concernant des choix d'achat hypothétiques ainsi que ses principaux critères d'achat. En particulier il lui est demandé s'il serait prêt à changer son système actuel pour un système d'un montant donné, plus efficace du point de vue énergétique. Et à partir de quel montant d'économie sur sa facture il serait prêt à en faire l'acquisition (voir annexe 3.2 pour le détail des formulations). Le nouveau système est évoqué de manière générale afin de ne pas générer d'attraits ou de répulsions propres aux autres caractéristiques d'un système donné, et ne considérer ainsi que l'aspect économique lié à ce nouveau système. Celui-ci est caractérisé par un prix d'achat cohérent avec le marché de manière à ce que la proportion de réponses positives et les montants exigés soient réalistes par rapport aux technologies actuellement sur le marché. En ce qui concerne le véhicule particulier les panélistes devaient indiquer au préalable une fourchette de prix du futur achat qu'ils comptaient effectuer, étant donné que le prix de base d'un véhicule varie beaucoup avec la gamme et la taille du véhicule considéré⁵³, le surcoût du véhicule efficient proposé étant de 2000 euros par rapport à cette base. A partir du montant d'économies déclaré, ainsi que des valeurs de prix initial et de durée de vie, il est ainsi possible de remonter à la valeur du taux de rentabilité exigée a qui annule la valeur actuelle nette.

$$VAN = -Coût + \sum_{i=1}^{Duréedevie} \frac{Economies}{(1+a)^i} = 0 \quad (1)$$

⁵³ La taille du véhicule dépendant en grande partie de la taille du ménage.

Equipement	Prix	Durée de vie	Valeur moyenne du taux de retour
Chauffage	7000 €	20 ans	11.6 %
Réfrigérateur	400 €	15 ans	25.3 %
Voiture particulière	+ 2000 €	20 ans ⁵⁴	8.7 %

Tableau 3.12 : Caractéristiques des équipements

Cette valeur a fait référence à ce que Greene et alii [2004] appellent un « required rate of return », c'est à dire un taux de retour sur investissement minimum exigé par le ménage. En effet, il ne s'agit pas d'un taux d'actualisation ou d'escompte à proprement parler puisqu'il n'est pas question de percevoir des intérêts de placement certains en accordant une valeur au futur. Il s'agit pour le ménage de proposer une contrepartie financière étant donné un montant initial d'investissement, et ce dans le contexte d'un achat d'équipement. Cet équipement devant également répondre à d'autres critères qui rentrent en compétition avec le critère de coût de fonctionnement du système. Ce taux est donc plus à rapprocher du taux d'actualisation apparent ou « hurdle rate », mais il s'en écarte également un peu dans la mesure où ce dernier prend en compte tous les problèmes liés aux marchés réels: information disponible, disponibilité des équipements à la vente ou encore divers coûts de transaction⁵⁵.

⁵⁴ La durée de vie de 20 ans est donnée à titre indicatif, celle-ci dépend en réalité du kilométrage annuel de chaque véhicule.

⁵⁵ Bien qu'en toute rigueur les personnes interrogées peuvent en anticiper certains (comme par exemple des coûts liés à l'installation du système de chauffage) et les prendre en compte au moment de répondre.

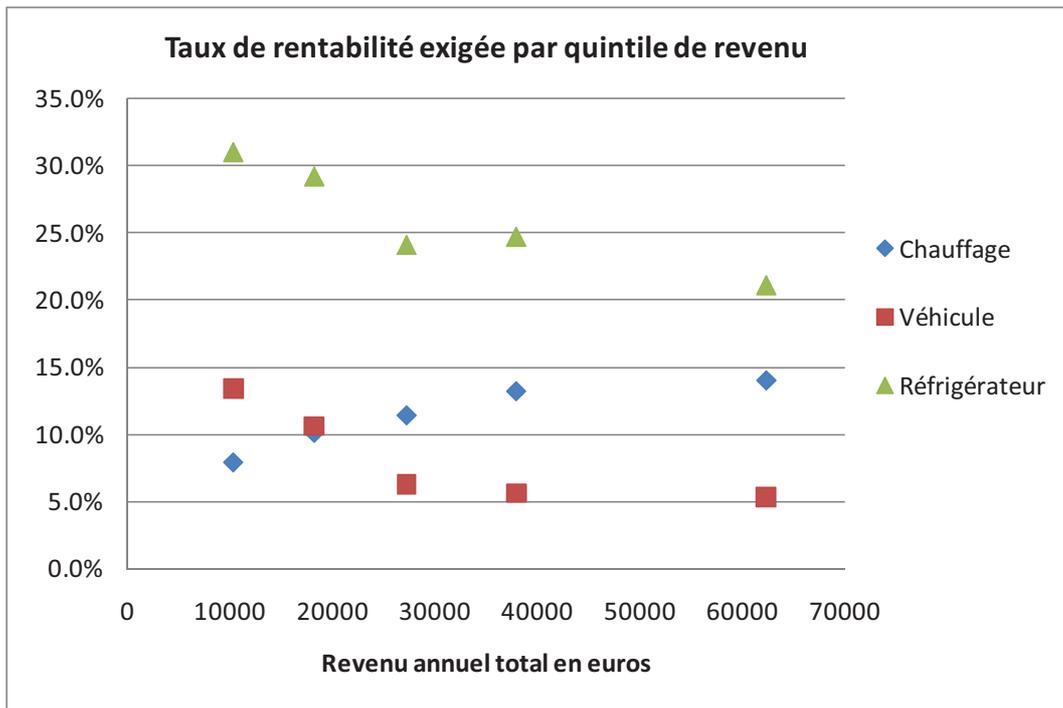


Figure 3.13 : Evolution du taux de retour exigé avec le revenu par type d'équipement

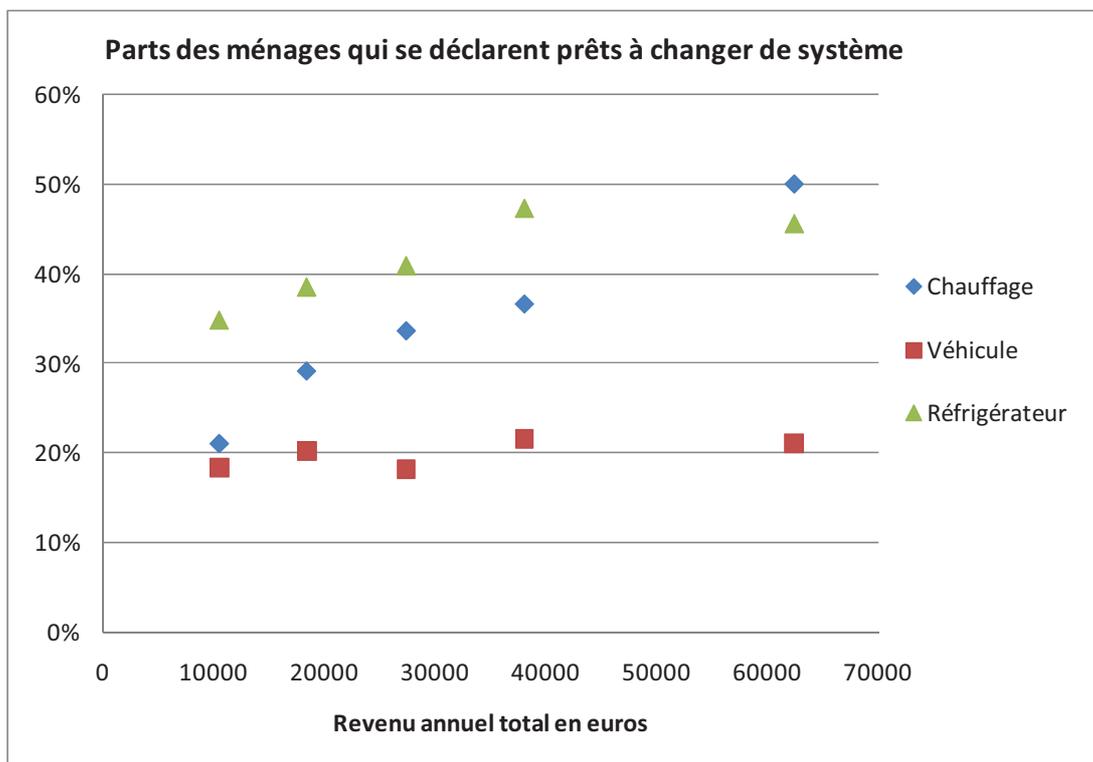


Figure 3.14 : Evolution avec le revenu de la proportion de ménages prêts à changer de système

Les figures 3.13 et 3.14 présentent d'une part la variation de ce taux avec le revenu, et d'autre part l'évolution du taux d'intention de remplacement, c'est-à-dire la proportion de ménages qui se disent prêts à changer de système dans l'année qui suit. Tout d'abord, il faut rappeler que les valeurs ainsi obtenues ne sont que déclaratives et ne fournissent absolument pas de certitudes sur le comportement des ménages en situation réelle d'achat d'équipements. Et ce en raison notamment de la différence entre ce taux déclaratif et un taux d'actualisation implicite obtenu par une méthode de préférences révélées⁵⁶ qui prend en compte les imperfections des marchés réels. Néanmoins il semble que les valeurs obtenues par ce type de méthode et celles obtenues par la méthode des préférences révélées ne sont en général pas très éloignées, comme le note Train [1985] dans une revue de littérature sur le sujet. De plus bien qu'une grande attention ait été accordée à la formulation des questions, il est inévitable que les réponses fournies soient sujettes à des biais psychologiques et des effets de cadrage [Kahneman 2003]. Cependant, les montants d'économies renseignés ne dépassent le plus souvent pas le montant de la facture et certains ménages ont préféré répondre qu'ils ne changeraient pas de système plutôt que de renseigner des montants irréalistes. Il semble donc que les ménages aient conscience d'une part du caractère limité des économies que peuvent générer l'achat d'un nouveau système, et d'autre part de leurs propres contraintes financières en matière d'investissement. On peut donc penser que les ménages ont bien contextualisé les questions qui leur ont été posées dans le cadre de leur situation actuelle au moment de répondre et ont ainsi rempli le questionnaire d'une manière qui leur semblait réaliste.

Concernant l'achat d'un réfrigérateur, on peut tout d'abord noter que le taux de retour exigé assez très élevé : entre 20 et 30% avec une valeur moyenne de 25%, tandis que le taux d'intention de remplacement augmente légèrement avec le revenu. Cette valeur semble très proche de celle obtenue par Hausman [1979] dans son travail sur les climatiseurs, ainsi que de celle obtenue par Houston [1983] pour des « bien durables non testés, permettant d'économiser de l'énergie » avec une méthode similaire par questionnaires papier. Le point commun à ces études réside dans le fait que le coût de l'équipement est du même ordre de grandeur, entre 100 et 1000 euros, renvoie à des usages liés à l'électricité spécifique et dont le coût d'utilisation est relativement faible et inconnu du ménage⁵⁷. Les ménages ne sont pas gênés par les dépenses de froid et ne semblent pas particulièrement intéressés à faire des

⁵⁶ Même si cette méthode comporte ses propres biais comme par exemple l'estimation des gains liés aux économies d'énergie.

⁵⁷ En effet, les ménages ne peuvent pas connaître la consommation d'électricité d'un appareil en particulier puisqu'ils ne disposent que d'une facture globale.

économies d'énergie par le biais d'un remplacement précoce de leur équipement ou à payer un surcoût lors du remplacement de leur équipement pour se procurer un système plus économe. Un choix d'équipement est en réalité un choix entre plusieurs ensembles d'attributs, tels que la taille, la facilité d'entretien, la fiabilité ou encore l'apparence. Et le critère d'économie d'énergie n'est parfois qu'un critère d'achat secondaire [Desjeux et alli 1996]. Pour le réfrigérateur, la faible importance accordée à l'efficacité énergétique se justifie assez économiquement compte tenu du faible poids du poste de froid dans la facture d'électricité.

Pour le système de chauffage, la valeur moyenne du taux de retour exigé est d'environ 11%. Cette valeur est assez voisine de celle de 9% obtenue par Sadler [2003], également au moyen de questionnaires. Mais elle est assez éloignée des valeurs habituellement obtenues pour cet usage qui se situent plus autour de 20-25% [Jaffe et Stavins 1994, Dubin et McFadden 1984]. Cependant, ce qui est le plus surprenant surtout est le fait que la valeur obtenue augmente avec le revenu. En réalité, la valeur de ce taux doit être mise en perspective avec le fait que le taux d'intention de remplacement augmente très fortement avec le revenu, passant de 20% pour les ménages les plus pauvres à 50% pour les ménages les plus aisés, comme le rappelle la figure 3.15.

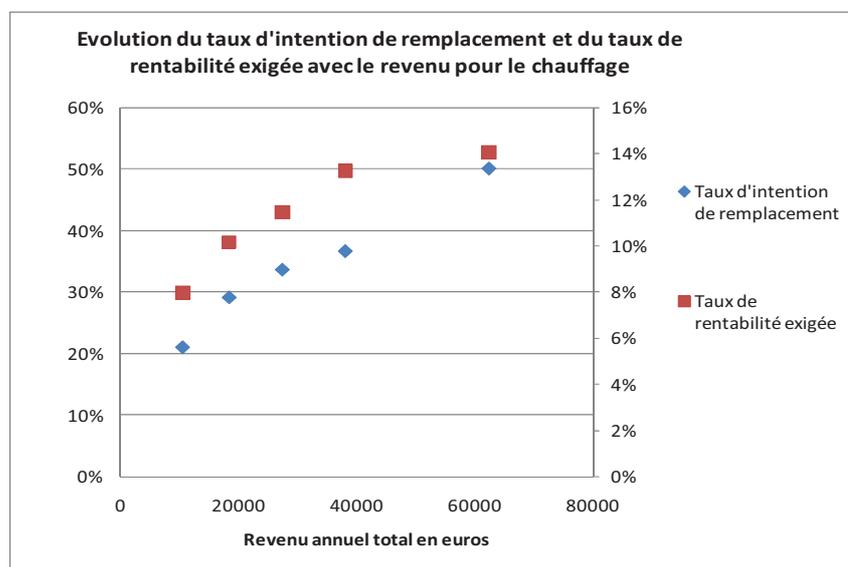


Figure 3.15 : Rappel de l'évolution du taux d'intention de remplacement et du taux de rentabilité exigée avec le revenu pour le chauffage

Ces deux courbes s'expliquent conjointement par deux facteurs principaux. D'une part, les ménages les moins aisés manifestent un vif intérêt dans la réduction de la facture d'un

poste qui leur coûte cher, comme nous l'avons vu au paragraphe 3.2.3 pour rejoindre également Sadler [2003]. Ce qui est en ligne avec les faibles valeurs observées pour le premier quintile de revenu. Néanmoins, ces ménages sont contraints par l'accès au capital et à seulement 20% sont prêts à investir. D'autre part, les ménages aisés sont eux prêts pour 50% à changer de système, ce qui signifie qu'une grande partie d'entre eux sont prêts à remplacer leur équipement de manière anticipée, c'est à dire avant la fin de sa durée de vie. Pour les ménages dont le système est en fin de vie, le coût de l'investissement proposé est perçu comme un surcoût par rapport à d'autres systèmes moins onéreux. Mais pour les autres dont le système est plus récent il existe une valeur d'option à attendre [Pindyck 1991, Hassett et Metcalf, 1993]. Cela explique que les ménages qui décident de remplacer leur système de manière anticipée aient une exigence de rentabilité plus élevée dans la mesure où ils auraient pu placer leur argent ailleurs et de manière moins risquée.

On peut ainsi imaginer que ce taux globalement croissant est la somme des deux taux utilisés par deux catégories de ménages. D'une part, un taux assez faible utilisé par les 20% de ménages qui ont prévu de changer prochainement de système, et dont la valeur pourrait diminuer avec le revenu, de la même manière que pour l'automobile. Et d'autre part, un taux assez élevé utilisé par les ménages qui changent de manière anticipée et qui considèrent l'achat d'un nouvel équipement comme un investissement classique. Le comportement exigeant des investisseurs, non contraints en capital viendrait ainsi expliquer la valeur à la hausse de ce taux. Il serait intéressant pour creuser cette hypothèse de reposer la même question en y incluant cette fois des éléments sur l'âge perçu du système de chauffage actuel ainsi que le nombre d'années que le ménage compte attendre avant de renouveler son équipement.

Enfin en ce qui concerne le véhicule particulier, le taux d'intention de remplacement reste constant avec un revenu autour de 20% et le taux de retour exigé décroît avec le revenu pour une valeur moyenne de près de 9%. Ce qui semble un peu faible par rapport aux valeurs obtenues par d'autres études sur le sujet: 11-17% [Dreyfus & Viscusi, 1995] et 4-40% [Greene, 1983]. Dans le cas de la voiture, les résultats obtenus laissent à penser que le renouvellement de l'équipement n'est pas considéré comme un investissement, en dépit de la part budgétaire élevée que représentent les carburants. Cela s'explique en grande partie par le fait que des critères d'achat comme la gamme, le confort, la puissance du moteur, la marque et l'image de soi véhiculée par l'équipement sont beaucoup plus importants que la consommation de carburant [Clochard et al. 2008]. En effet comme le notent Douglas &

Isherwood [1979], «les objets sont toujours impliqués dans les processus sociaux de distinction culturelle, la construction identitaire et d'appartenance qui dépassent de loin leur simple fonction matérielle». Et cela est particulièrement vrai dans le cas de la voiture, qui est un bien très visible pour les autres.

Pour résumer, les graphes de taux de retour exigé et de taux d'intention de renouvellement doivent impérativement être mis en regard l'un de l'autre. Le fait que le taux de retour exigé varie en fonction des usages finaux n'est pas une incohérence, il illustre simplement le fait que le critère de l'efficacité énergétique - le seul aisément quantifiable - n'a pas le même poids au sein des autres critères de décision pour ces différents usages [Winer, 1997]. Ensuite, plus que les valeurs absolues de ces taux et parts de renouvellement obtenus par cette méthode, ce qui nous paraît particulièrement intéressant, c'est leur évolution avec le revenu. En particulier dans le cas du chauffage, l'évolution croissante de la part des ménages prêts à changer de système reflète parfaitement l'ampleur de la contrainte de capital subie par les ménages les moins aisés. Cette contrainte d'accès au capital restreint le montant global de dépenses que le ménage peut consentir, ce qui se traduit par une restriction des technologies accessibles. Cela implique également des arbitrages entre usages, les ménages ne pouvant pas en même temps entreprendre des travaux de rénovation et changer de voiture.

L'utilisation des données issues de cette enquête croisant des données techniques et comportementales pour les deux secteurs a permis d'obtenir un ordre de l'impact du comportement des ménages dans la consommation d'énergie au quotidien. Ce comportement semble néanmoins assez difficile à caractériser lorsque l'on rentre dans le détail des pratiques. En effet, d'une part celles-ci sont très nombreuses et chacune d'elles a un impact relativement faible sur la consommation totale. D'autre part, elles sont difficiles à saisir par voie de questionnaire et leur effectivité peut être variable dans le temps alors que l'on ne peut avoir accès qu'à des habitudes ou à des tendances. Ces deux éléments expliquent en grande partie le fait qu'il est difficile de quantifier l'impact du comportement dans le détail des pratiques sur le plan statistique. De plus, les déterminants expliquant l'adoption de telle ou telle pratique sont nombreux, difficilement quantifiables et il est assez ardu de proposer des scénarios pour leur évolution future.

En revanche, les caractéristiques socio-démographiques des ménages à un niveau plus agrégé ont un fort impact sur la consommation d'énergie au quotidien. Des variables comme le revenu, la taille du ménage ou le type de logement expliquent bien le niveau de service

énergétique consommé et notamment les arbitrages effectués entre coût et confort. Ces variables permettent également d’apporter un éclairage sur le comportement plus occasionnel d’achat d’équipement. Enfin, ces variables ont l’immense avantage de faire l’objet de scénarios d’évolution solides, tels que ceux proposés par l’INSEE.

Les analyses menées à partir des données de l’enquête permettent ainsi de valider l’échelle de modélisation à adopter afin de prendre en compte le comportement. Un niveau d’approche microéconomique basé sur une vision détaillée du comportement ne permet pas de proposer des mécanismes du comportement solides statistiquement ni de se projeter dans le temps, tandis qu’une approche trop macroéconomique ne permet pas de rendre compte de l’hétérogénéité des ménages.

La figure 3.16 donnée à titre d’illustration, montre la baisse de la consommation d’eau chaude individuelle avec la taille du ménage⁵⁸. On peut constater qu’au sein d’un segment de ménages donné les variations de consommation entre les ménages sont très importantes. En revanche, entre les différentes classes de ménages il est possible de tirer une relation claire et robuste entre la consommation et le nombre de personnes.

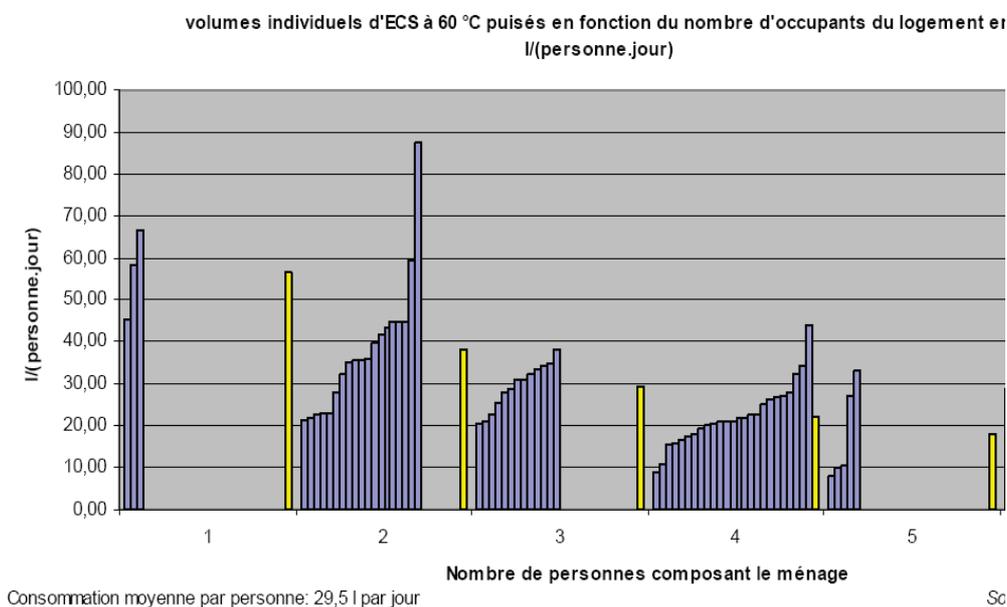


Figure 3.16 : Volume d’eau chaude puisé par personne en fonction de la taille du ménage

Cette figure illustre parfaitement l’intérêt de se placer à une échelle d’étude plus agrégée afin de tirer des relations robustes entre les attributs du ménage et sa consommation. Si le rôle des

⁵⁸ Celle-ci s’explique par deux phénomènes : le fait que la consommation d’énergie liée à la mise en route du chauffe-eau est mutualisée et la compétition pour l’accès à la salle de bain [Laurent 2010]

variables socio-démographiques ne semble pas prépondérant à l'échelle individuelle pour expliquer le comportement, celui-ci étant tiré par des variables plus qualitatives, il le devient à une échelle plus agrégée.

Ainsi, l'exercice de modélisation devra se baser sur un niveau de représentation en catégories de ménages en adoptant un point de vue mésoscopique. Ces classes prendront ainsi en compte les principales variables socio-démographiques explicatives de la consommation d'énergie, et en particulier le revenu qui semble jouer un rôle de premier plan. C'est en effet par son prisme que se lit le problème de la contrainte énergétique, qu'il s'agisse du niveau de service, de l'accès au capital pour renouveler ses équipements et de l'importance qu'occupe l'énergie dans les finances du ménage. Il conviendra donc d'être particulièrement attentif à l'impact que peut avoir la mise en place d'outils politiques visant à limiter les émissions de CO₂ sur l'amplification de cette contrainte énergétique.

CHAPITRE 4

Elaboration d'un modèle TIMES-Ménages pour la France

Les chapitres précédents établissent un certain nombre de constats sur la consommation d'énergie des ménages dont il faut tenir compte, autant que faire se peut, au cours de l'exercice de modélisation. Néanmoins toute modélisation n'est par essence pas exempte de présupposés méthodologiques. Le paradigme à l'origine du fonctionnement du modèle vient influencer la façon dont les hypothèses des scénarios se traduisent dans le modèle et dont les variables interagissent. Ce chapitre propose tout d'abord un bref retour historique sur les modèles de prospective en général et sur la famille de modèles TIMES/MARKAL en particulier, puis il s'attachera à décrire le mode de représentation de la demande d'énergie des ménages ainsi que l'implémentation du comportement dans le modèle TIMES-Ménages.

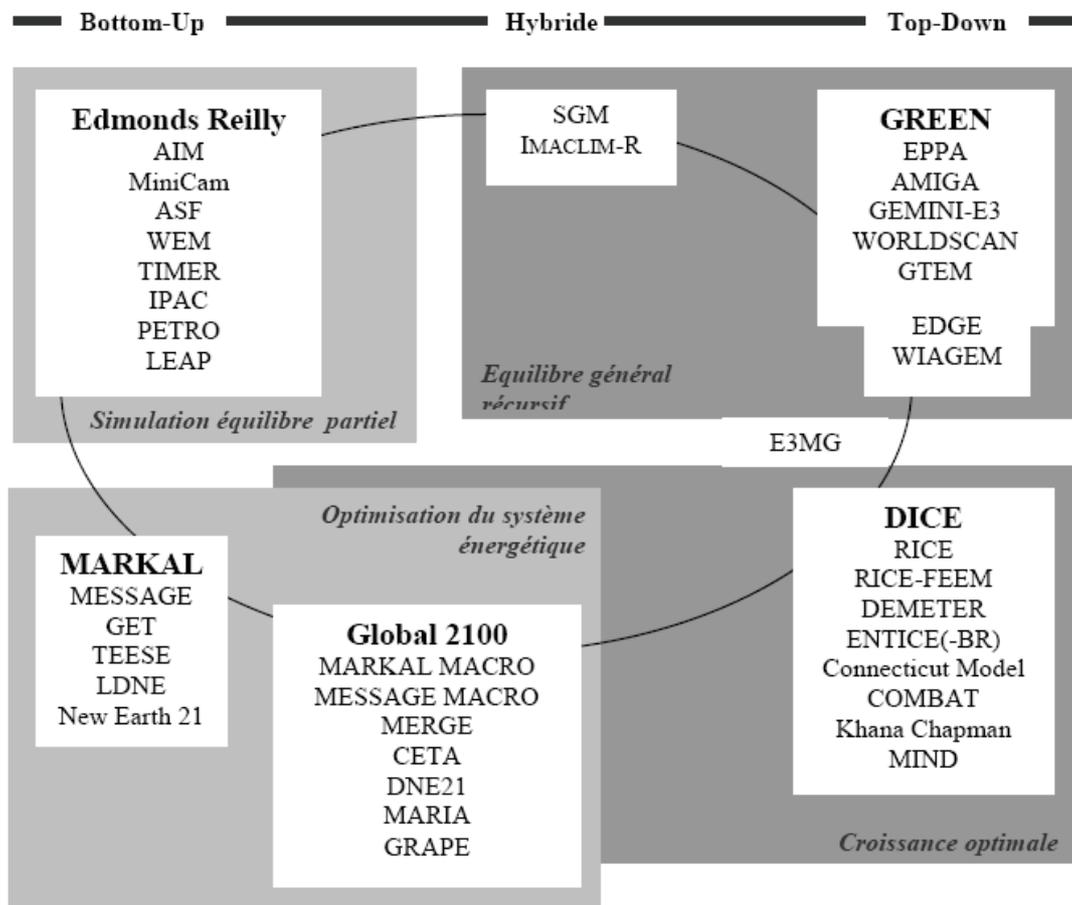
4.1 – Présentation des modèles utilisés en prospective énergétique

4.1.1 – Bref aperçu historique des modèles et de leur logique de fonctionnement

La question de la prospective énergétique a pris véritablement son essor à partir de la fin des années 70 et la publication du rapport du Club de Rome « Limits to Growth ». Ce club s'est donné pour ambition de quantifier l'impact des activités humaines sur la planète. Ils se sont basé pour cela sur le modèle World 3 développé par J.Forrester et D.Meadows [Meadows et alii 1972], celui-ci emprunte à la cybernétique dans sa représentation du système « Terre » et explicite les flux physiques à l'horizon 2100. Les conclusions de ce rapport délivrent un message politique radical en prônant la décroissance, y compris économique, et ont bien évidemment un impact retentissant dans les médias et le monde scientifique. Mais au-delà de ses résultats très controversés, cette étude a permis, comme le souligne P.Matarasso[2007], d'enclencher deux phénomènes extrêmement importants pour la modélisation : la prise en compte des flux physiques et de leur impact à très long-terme dans les représentations de l'économie mondiale et la nécessité de proposer des évolutions futures en rupture avec les

évolutions passées. Deux grands modèles voient ainsi le jour sous l'impulsion des travaux de William Nordhaus et d'Alan Manne principalement : le modèle DICE pour Dynamic Integrated Climate-Economy et le modèle MARKAL pour MARKET ALlocation. Le premier se base sur le modèle de Ramsey et représente l'économie de manière globale. Celle-ci repose sur un nombre restreint de variables agrégées : le capital K, le travail L, les matières premières M et l'énergie E. Le modèle représente les flux à partir d'un équilibre général calculable qui suppose un sentier de croissance économique optimal. Le second se base sur le modèle de von Neumann-Sraffa et adopte une représentation de l'économie orientée vers l'analyse d'activités. Celle-ci propose une représentation de l'économie très désagrégée : les différents processus technologiques y sont représentés explicitement. Ces processus permettent de visualiser les biens qui sont consommés et ceux qui sont produits en faisant intervenir les flux physiques de matières premières et d'énergie. Cette représentation permet également de prendre en compte les productions jointes et les différentes alternatives de production pour produire un bien de manière explicite. Ces deux modèles s'opposent donc fondamentalement dans la représentation de l'économie qu'ils proposent, l'un traitant de grands agrégats macroéconomiques : vision top-down et l'autre représentant les échanges physiques de matières premières et d'énergie au cours de processus technologique détaillés : vision bottom-up. Ces modèles ont néanmoins en commun de reposer tous les deux sur un paradigme d'optimisation et supposent un sentier de croissance optimal et/ou des anticipations parfaites des prix et des besoins futurs. Beaucoup de modèles utilisés aujourd'hui conservent cette ligne directrice proposée par ces deux modèles, ceux-ci ont en effet été de véritables précurseurs en matière de modélisation. D'autres ont gardé le même type de représentation mais se sont en revanche davantage orientés vers une approche tournée vers la simulation. Ainsi il existe aujourd'hui des modèles top-down en simulation qui sont les modèles d'équilibre général récursif, et des modèles bottom-up qui sont les modèles en équilibre partiel, ceux-ci se basent le plus souvent sur des approches économétriques. La question de la modélisation prospective s'est donc considérablement étoffée depuis la parution du rapport du Club de Rome, sous l'impulsion conjointe de la montée en puissance de la question climatique d'une part, et de la croissance exponentielle de la puissance de calcul des outils informatiques qui permettent de prendre en compte des relations complexes entre des variables endogènes toujours plus nombreuses d'autre part. Il existe ainsi aujourd'hui des dizaines de modèles traitant de la question énergie/climat utilisés à travers le monde et un nombre à peu-près dix fois plus grand de scénarios utilisés en entrée de ces

modèles. La figure 4.1 établie par R.Crassous [2008] dresse une classification des principaux modèles utilisés.



Source : Crassous 2008

Figure 4.1 : Cartographie des principaux modèles de prospective

On constate effectivement que ces modèles se distinguent les uns des autres sur deux points principalement : le niveau de détail représenté top-down/bottom-up et le paradigme utilisé par la modélisation : simulation/optimisation. On peut également signaler l'existence de plusieurs exercices de modélisation hybrides relativement récents, qui tentent de combiner les apports des approches bottom-up et top-down. Tous ces modèles ont bien entendu leurs avantages et leurs limites et le choix d'utiliser l'un ou l'autre de ces modèles ne dépend pas du fait que l'un soit meilleur que l'autre intrinsèquement, mais du fait qu'il soit adapté ou non à la problématique à traiter. Dans le cas de la problématique soulevée dans ce travail de thèse l'utilisation d'un modèle de la famille MARKAL présente plusieurs avantages clés qui en font certainement l'outil le plus adapté comme nous allons le voir par la suite. Mais il est

également certain que l'utilisation d'un modèle top-down permettrait d'apporter des éclairages complémentaires sur la question et d'élargir la problématique.

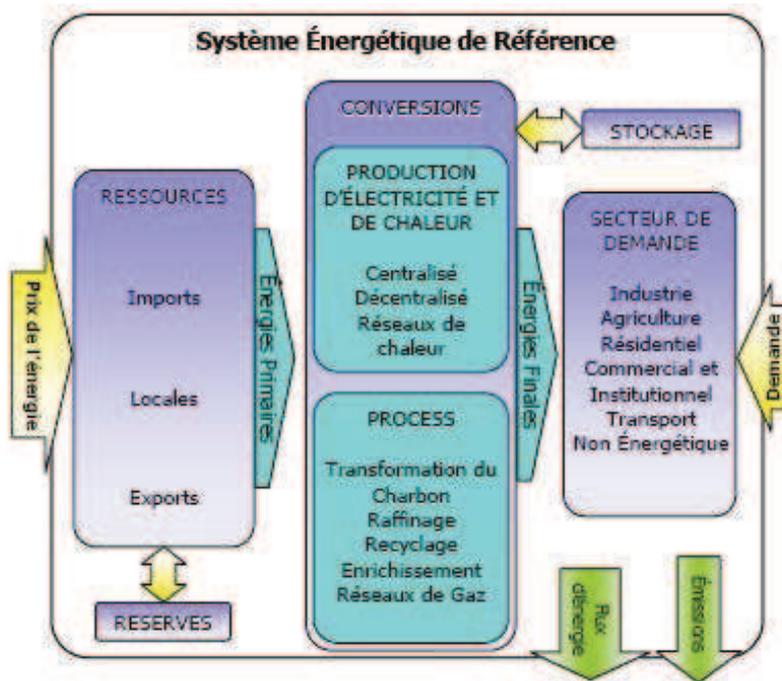
4.1.2 – Le modèle TIMES/MARKAL

Le générateur de modèles MARKAL est un formalisme d'optimisation développé par le programme ETSAP (Energy Technology Systems Analysis Program) de l'AIE au début des années 80. Cette plate-forme de modélisation est utilisée aujourd'hui par plus de 150 équipes de recherche à travers plus de 50 pays. Cette caractéristique communautaire donc d'échanger sur différentes thématiques de modélisation tout en conservant une base commune en ce qui concerne la logique de modélisation et contribue à améliorer l'architecture de modélisation. Son successeur TIMES, pour The Integrated MARKAL-EFOM System, conserve la même logique que MARKAL mais inclut des fonctions qui permettent de traiter notamment la question du changement technologique induit et la question de l'élasticité de la demande [Loulou et alii 2005]. Comme nous l'avons évoqué, TIMES repose donc sur une représentation technologique explicite que constituent les briques ou process élémentaires du système énergétique de référence. Celles-ci consommant divers inputs pour produire divers outputs, conformément à l'analyse d'activités.



Figure 4.2 : Représentation des process dans l'architecture TIMES

Le principe de la modélisation repose alors sur la description du système énergétique de référence, composé des suites de technologies qui répondent à une demande finale étant donné des prix des énergies primaires suivant le principe de la figure 4.3.

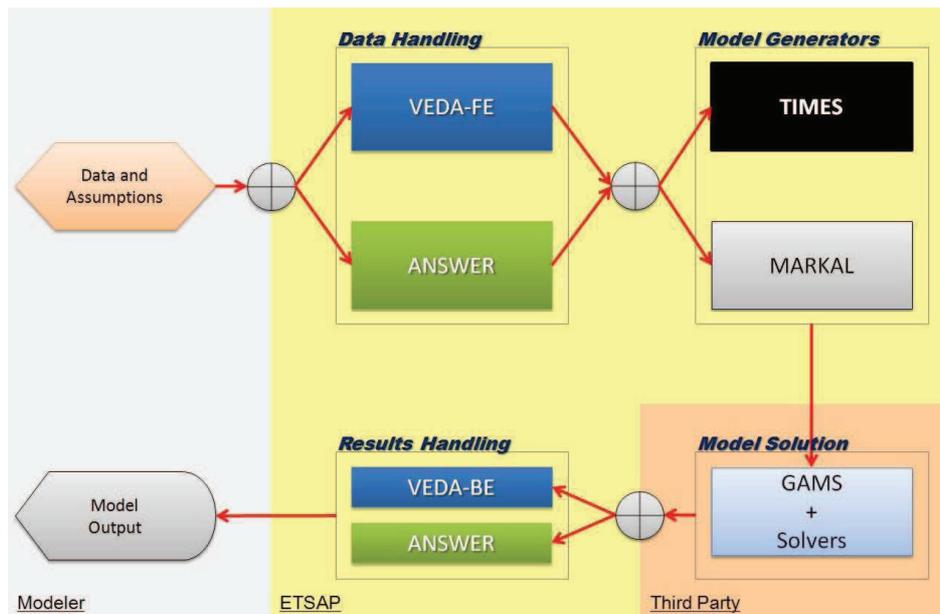


Source : Assoumou 2006

Figure 4.3 : Principe de fonctionnement de TIMES/MARKAL

TIMES permet ensuite de proposer le cheminement technologique qui minimise le coût global du système énergétique de référence tout en satisfaisant les demandes finales, et ce sur l'ensemble de la période modélisée⁵⁹. Concrètement, la modélisation se fait ensuite via l'interface VEDA composée de classeurs Excel qui constituent les bases de données auxquelles se réfère le solveur. Ces bases de données contiennent toutes les différentes technologies représentées, les valeurs des paramètres associés, les prix des énergies et niveaux de demande exogènes ainsi que les contraintes et les différents scénarios proposés. A partir de ces données une architecture du système énergétique est créée : le RES (Reference Energy System). Enfin, le solveur GAMS permet de minimiser le coût global actualisé de ce RES et renvoie les résultats optimaux à l'utilisateur. La figure 4.4 reprend ce principe.

⁵⁹ Voir Assoumou [2006] pour une description plus détaillée des équations utilisées par TIMES



Source : ETSAP

Figure 4.4 : Principe de fonctionnement de la modélisation VEDA-TIMES

L'architecture TIMES offre donc un cadre de modélisation qui permet une très grande désagrégation de la demande et des processus technologiques. Ce point est donc crucial pour permettre de représenter l'hétérogénéité des ménages. Elle propose également un déploiement du système énergétique de référence qui correspond à un optimum, ce qui permet de visualiser les gisements d'économie les plus rentables et donc de cibler les politiques d'accompagnement pour atteindre ces gisements. De plus un tel modèle permet de se rendre compte que certaines solutions technologiques peuvent être rentables a priori mais ne pas être considérées par le modèle si il existe des solutions plus rentables encore. Ou si, en vertu d'inerties liées aux effets de stock, cette technologie n'est rentable que pendant une courte fenêtre temporelle qui ne lui permet pas de se développer correctement. Typiquement, un véhicule hybride rechargeable peut être rentable pour un ménage étant donné sa demande de mobilité à un instant donné, mais il peut être plus rentable dans les faits pour ce ménage, d'attendre que son véhicule thermique soit désuet et de le remplacer à ce moment là par un véhicule plus efficace encore.

Le principe d'utiliser un modèle d'optimisation pour rendre compte du comportement des consommateurs peut sembler en forte opposition avec ce qui apparaît comme réaliste à la lecture du chapitre 2. Cependant, le comportement du ménage peut être traduit dans TIMES au travers des niveaux de demande finale et du taux de rentabilité exigée, et ces éléments peuvent être différenciés pour tenir compte de la spécificité de chacune des catégories de

ménages et ainsi modéliser le comportement de manière plus réaliste. Enfin, si l'on s'intéresse aux contraintes subies par les ménages en terme de part budgétaire et de réduction des émissions, il est nécessaire de considérer le maximum des opportunités d'adaptation de chaque ménage à ces contraintes en visualisant son comportement optimal étant données ses ressources. En effet, le fait par exemple d'avoir ou non une attitude favorable aux transports en commun est certainement explicatif du choix modal effectué, et de ce point de vue permet une interprétation réaliste, mais n'exprime en aucune manière une contrainte objective subie par le ménage en terme de marge de manœuvre. Une telle visualisation des opportunités et des contraintes nécessite donc le recours à un modèle d'optimisation.

Les paragraphes suivants décrivent la façon dont sont traités de manière conjointe le résidentiel et les transports, ainsi que la segmentation opérée dans chacun de ces secteurs dans le modèle TIMES-Ménages.

4.2 – Une description des ménages commune aux secteurs résidentiel et transports

Afin de prendre en compte la contrainte énergétique qui pèse sur les ménages conjointement pour le secteur résidentiel et pour le secteur des transports, les ménages sont segmentés selon l'importance de la part budgétaire que représentent ces deux secteurs dans leurs dépenses selon le périmètre défini dans le chapitre 3. Ce découpage est effectué sur la base des variables socio-démographiques considérées comme pertinentes dans la consommation d'énergie : le quintile de revenu, le type de logement, le tissu d'habitation, le statut d'occupation, le statut d'activité de la personne de référence ainsi que le type de famille. Il s'agit d'obtenir à la fois des classes de ménages homogènes quant à leurs caractéristiques et dont la part budgétaire allouée aux dépenses énergétiques est significativement différente. Le recours à un modèle statistique basé sur un arbre de régression paraît tout adapté à cette problématique. De plus, afin de ne pas considérer de sous-ensemble de ménages qui seraient certes très différents en matière de consommation d'énergie mais qui ne correspondraient qu'à une frange minoritaire de la société, il est décidé de ne conserver qu'un nombre réduit de sous-ensembles faisant chacun une taille suffisante. Cela permet également de s'assurer d'une certaine représentativité statistique de la valeur de la part budgétaire pour les classes considérées. Certains répondants peuvent ne pas déclarer de consommation domestique ou de transports comme cela a été évoqué au chapitre 3. Afin de ne pas biaiser l'exercice de segmentation lié à la non-réponse pour l'un ou l'autre poste, seul l'échantillon de répondants déclarant à la fois une consommation domestique et une consommation de transports est

conservé. La figure 4.5 présente l'évolution de l'erreur du modèle en fonction du nombre de segments considéré. On constate qu'au delà de 15 classes l'erreur ne diminue plus beaucoup, ce qui permet de s'affranchir d'une représentation plus fine et donc plus lourde des caractéristiques des ménages.

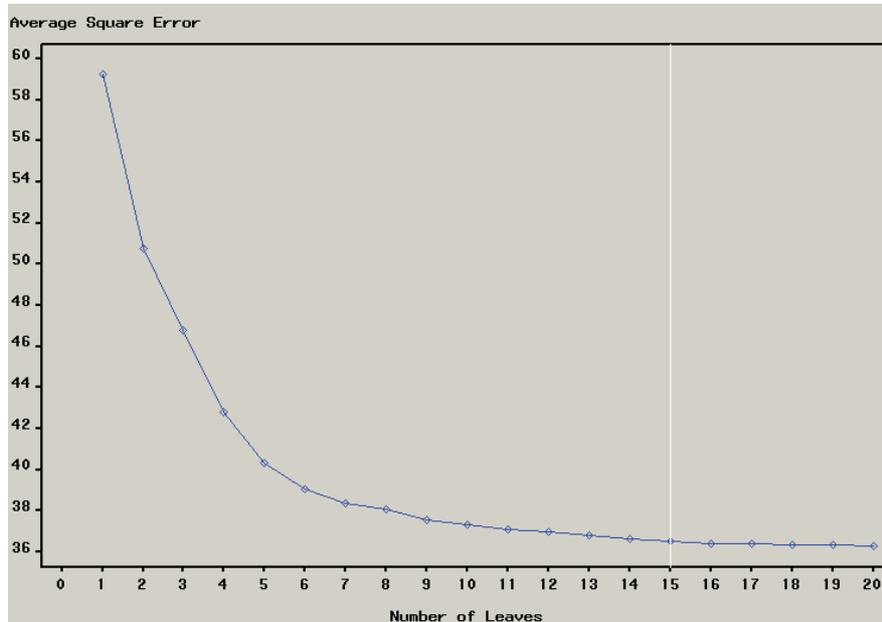
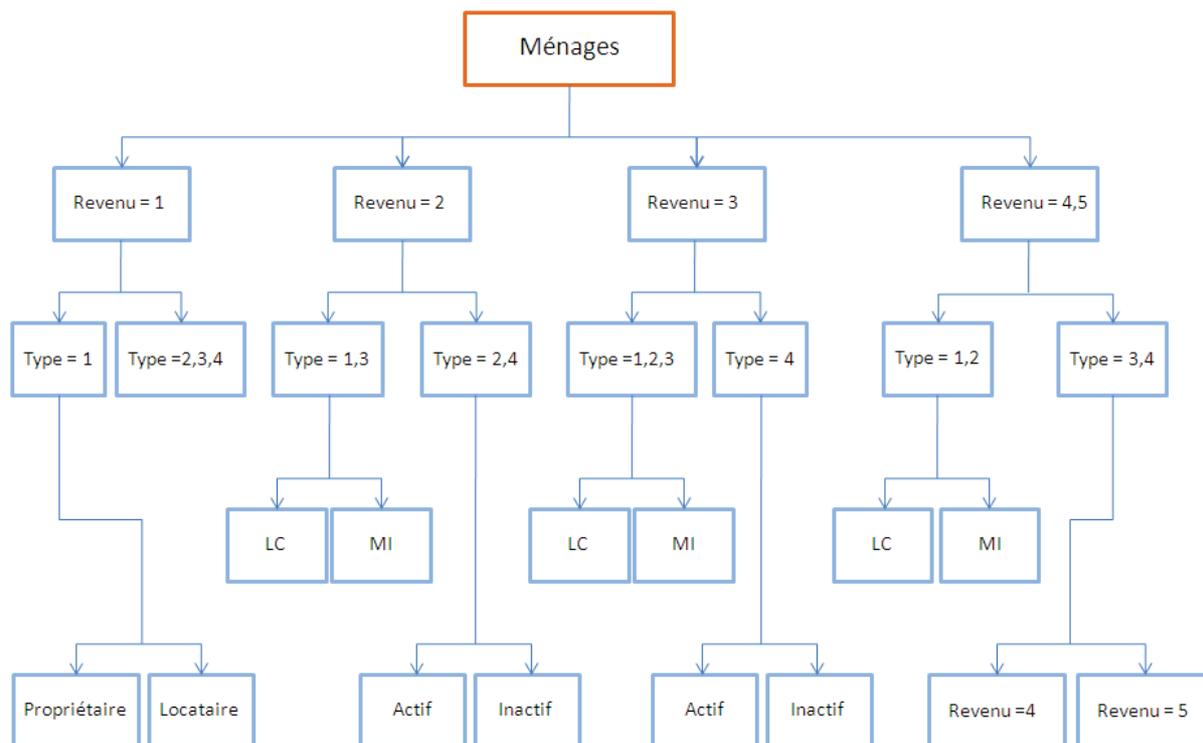


Figure 4.5 : Evolution de l'erreur avec le nombre de feuilles de l'arbre de régression

Le coefficient de détermination du modèle retenu est de $R^2=0,37$ à partir d'un échantillon final composé de 1595 répondants et toutes les classes retenues dans le modèle contiennent au moins 50 répondants.

La figure 4.6 présente la classification hiérarchique correspondant à ces 15 classes et le tableau 4.1 donne la composition des classes ainsi que les parts budgétaires correspondantes.



où Type1=célibataire, Type2=couple sans enfant, Type3=famille monoparentale, Type4= couple avec enfants
MI : Maison individuelle , LC : Logement collectif

Figure 4.6 : Classification hiérarchique des ménages explicative de la part budgétaire

N° Cluster	N	Part pop	Quintile revenu	Type ménage	Type logement	Statut activité	Statut occupation	Part résidentiel	Part transports	Part totale
1	119	5,0%	1	2,3,4				10,5%	13,4%	23,9%
2	52	5,5%	1	1			Prop	9,5%	5,7%	15,2%
3	72	9,3%	1	1			Loc	5,7%	3,8%	9,5%
4	132	7,6%	2	1,3	LC			4,0%	3,7%	7,7%
5	78	4,8%	2	1,3	MI			5,9%	5,1%	11,0%
6	152	3,9%	2	2,4		Actif		5,7%	8,7%	14,4%
7	92	3,7%	2	2,4		Inactif		6,4%	6,7%	13,1%
8	112	6,8%	3	1,2,3	LC			2,7%	4,3%	7,0%
9	75	3,6%	3	1,2,3	MI	Inactif		4,4%	7,3%	11,7%
10	94	3,9%	3	1,2,3	MI	Actif		5,3%	4,2%	9,5%
11	148	5,4%	3	4				4,6%	5,4%	10,0%
12	98	7,3%	4,5	1,2	LC			2,1%	2,7%	4,8%
13	147	12,3%	4,5	1,2	MI			3,0%	3,6%	6,6%
14	161	9,6%	4	3,4				3,4%	4,5%	7,9%
15	70	11,2%	5	3,4				2,7%	2,8%	5,5%

Tableau 4.1 : Composition des classes de ménages retenues

On constate que la classe de revenu et le type de ménage, et donc la taille de ce ménage par conséquent, sont les deux variables qui influencent le plus largement la part budgétaire énergétique totale. Ensuite le type de logement joue à plein pour la facture résidentielle et englobe peut être l'influence du statut d'occupation et du type de tissu urbain, ces variables étant en général corrélées. On peut remarquer que les variables d'âge et de tissu urbain n'interviennent pas dans le découpage. Globalement l'intérêt d'une telle analyse réside dans le fait que l'on va pouvoir étudier les ménages à partir d'un socle commun en connaissant la consommation d'énergie pour les deux postes. Cela permet notamment de dépasser la représentation de la consommation à partir de deux distributions de consommation disjointes sans savoir si les effets de pointe se cumulent ou se compensent. Autrement dit sans savoir si les ménages contraints dans le secteur résidentiel le sont également pour le poste transports ou non et si certains arbitrages entre les deux postes existent.

Cependant, les variables socio-démographiques servant de support à la segmentation sont en général assez corrélées entre elles et peuvent être éventuellement reliées à des situations technologiques explicatives de la consommation. Par exemple, le type de logement et le type de tissu vont de pair et ce dernier est en général explicatif de la possession ou non d'une voiture et du recours possible aux transports en commun. De la même manière l'âge de la personne de référence et l'âge du logement par exemple sont également fortement corrélés. Il n'est donc pas possible d'attacher avec certitude le rôle explicatif de la consommation d'énergie à ces variables socio-démographiques directement. L'architecture de cette classification n'est par conséquent pas incontestable et l'introduction de nouvelles variables explicatives dans le modèle d'arbre de régression viendrait sans doute modifier l'ordre et la nature des séparations constatées sur la figure 4.6.

L'intérêt majeur de ce type de classification réside dans la mise en évidence des classes de ménages qui sont en situation de précarité énergétique⁶⁰ et des situations d'inégalités entre les ménages. En effet, environ si deux tiers des ménages consacrent moins de 10% de leur budget pour l'énergie domestique et les transports locaux, 20% des ménages environ y consacrent entre 10 et 15%, et enfin 10% des ménages y consacrent plus de 15 à 20%. Grâce à ce découpage il sera donc possible de repérer l'évolution avec l'instauration d'outils politiques, tels qu'une taxe carbone, de ces inégalités et de ces contraintes budgétaires supportées par les ménages

⁶⁰ Puisque l'on a défini un nombre de classes qui permettent de zoomer sur les ménages ayant une part budgétaire élevée

La logique de modélisation TIMES se base sur le critère de la minimisation du coût actualisé du système énergétique. A ce titre, pour chaque catégorie de ménages, le modèle permettra d'effectuer le choix technologique dont le coût actualisé est le plus faible pour répondre à une demande finale au sein d'un panier de technologies disponibles. Et ce choix technologique est ainsi particulièrement sensible à trois: l'accès aux substituts technologiques, le niveau de demande finale et le comportement en matière de consommation et d'achat d'équipements qui se matérialise par un taux de rentabilité exigée. La segmentation initiale présentée plus haut doit donc être affinée pour représenter au mieux l'hétérogénéité des ménages au vu de ces trois critères influençant les choix technologiques dans le modèle.

4.3 – Modélisation du secteur résidentiel avec TIMES

4.3.1 – Segmentation de la demande résidentielle

Dans le secteur résidentiel l'usage prépondérant en terme de consommation d'énergie et d'émissions de CO₂ est le chauffage, la segmentation retenue se base donc principalement sur une représentation désagrégée de cet usage. Chacun des 15 clusters initiaux est donc segmenté à nouveau en fonction du type de logement, de la surface, du niveau d'isolation initial et du statut d'occupation du ménage. Le tableau 4.2 présente le découpage retenu pour le secteur résidentiel ainsi que son impact sur la modélisation.

Rôle	Variable	Segmentation	Effet
Accès aux technologies	Type de logement	Maison/Appartement	Panier de technologies autorisées
	Statut d'occupation	Propriétaire/Locataire	Pas d'isolation bâti pour les locataires
Niveau de demande	Surface	MI : 70m ² /100m ² /150m ² LC : 42m ² /67m ² /94m ²	Niveau de demande de chauffage, d'éclairage
	Niveau isolation	3 niveaux de qualité	Performance thermique initiale des murs, du toit, des fenêtres, de la VMC
	Revenu	5 quintiles de revenu	Niveau de demande de chauffage, taux d'équipements
	Type de ménage	Seul/Couple av/ss enfants	Niveau de demande d'ECS, de cuisson, de froid, de lavage
Comportement d'achat	Revenu	5 quintiles de revenu	Taux d'actualisation implicite Contrainte de capital

Tableau 4.2 : Segmentation de la demande pour le secteur résidentiel

En effet, en matière d'accès aux technologies le type de logement et le statut d'occupation déterminent le type de système de chauffage et les opérations d'isolation autorisées. Un locataire ne sera pas en mesure de modifier l'enveloppe du bâti et il ne sera pas possible d'installer une pompe à chaleur haute température dans un appartement par exemple. La qualité d'isolation initiale du bâti permet d'estimer le gisement d'économies d'énergies potentiellement réalisables avec les opérations d'isolation et influence également fortement le niveau de besoin de chauffage initial, de même que la surface du logement.

Ce nouveau découpage conduit donc mathématiquement à 378 segments de ménages mais certains segments auront bien entendu des effectifs beaucoup plus fournis que d'autres. Le nombre de répondants de l'enquête menée ne permet pas d'utiliser un découpage si fin, il faut donc se tourner vers l'enquête nationale logement 2006 de l'INSEE pour collecter les effectifs de ces 378 segments. En élaguant les segments qui contiennent moins de 40 répondants ou qui représentent moins de 0,15% du nombre de ménages on ne conserve que 180 segments représentant 88% du total. Cet élagage permet donc de ne conserver que des données valides statistiquement parlant tout en diminuant par 2 la complexité de la représentation des ménages à prendre en compte dans le modèle. Cependant il convient en retour de ventiler les ménages ainsi élagués au sein des segments conservés afin de ne pas diminuer artificiellement le nombre de ménages à représenter. Cette ventilation des ménages se fait par plus proches voisins en considérant la classe de ménage dont les attributs sont les plus proches, et ce suivant la hiérarchie: cluster > type de logement > tranche de surface > qualité d'isolation > statut d'occupation. Cette hiérarchie signifie que si pour un ménage élagué il existe par exemple un segment conservé qui diffère par la tranche de surface et un autre qui diffère par le statut d'occupation, toutes choses étant égales par ailleurs, alors on choisira de placer ce ménage dans le segment qui ne diffère que par le statut d'occupation. Ce classement est censé refléter la divergence qu'il peut y avoir en matière de consommation et on essaie par ce reclassement de minimiser cette divergence.

Concernant les tranches de surface, celles-ci correspondent aux valeurs moyennes des tertiles de surface, pour chaque type de logement, obtenues à partir des données de l'enquête logement 2006. Pour la qualité d'isolation, on se base sur la valeur moyenne des tertiles de

dépense surfaciques⁶¹ (ENV), celles-ci étant déterminées à partir du calcul thermique proposé par la méthode DPE-3CL déjà utilisée et présentée en annexe 3.3. Ensuite une fois ces classes de niveau d'isolation déterminées pour les maisons et les appartements, on analyse les caractéristiques thermiques moyennes du bâti pour chacune de ces catégories. Cela permet de connaître les coefficients de déperdition des murs, de la toiture, des fenêtres, les pertes par aération dues au mode de ventilation ainsi que la valeur moyenne de divers facteurs de forme du bâti.

4.3.2 – Niveaux de demandes utiles

Le modèle TIMES choisit les technologies qui permettent de répondre à moindre coût à des besoins exprimés en énergie utile. L'efficacité des équipements choisis conduisant ensuite à une consommation d'énergie finale. On doit donc déterminer le niveau de demande utile pour chacun des différents usages considérés en fonction des caractéristiques des ménages pour refléter leur influence sur ce niveau de besoin. Pour les usages de chauffage, d'ECS et de cuisson on se base sur la consommation d'énergie finales constatées dans l'enquête étant donné que les consommations sont désagrégées et l'on remonte à la consommation d'énergie utile à partir des équipements déclarés. En revanche pour les usages spécifiques de l'électricité on ne possède pas le détail de ces consommations, et l'on évalue donc la demande en énergie finale à partir du besoin et de l'efficacité des équipements utilisés a priori pour remplir cette demande.

Chauffage :

On se base sur la demande normative de chauffage en énergie utile obtenue par la méthode de calcul DPE-3CL pour chacun des segments, à laquelle on applique un facteur de service. Ce facteur de service est obtenu à partir de la figure 3.9 présentée dans le chapitre 3, et corrige donc cette demande de chauffage normative en fonction du quintile de revenu.

⁶¹ En pratique les dépenses surfaciques sont calculées bien plus précisément grâce au jeu de données provenant de notre enquête, on détermine ainsi les valeurs seuil à partir de ces données. Ensuite on effectue le même type de calcul thermique sur le jeu de données provenant de l'enquête logement. Néanmoins la différence entre les deux valeurs seuil déterminant les tertiles étant suffisamment grande, il est possible de déterminer les effectifs même à partir de données plus approximatives.

Eau chaude sanitaire et cuisson :

Pour l'ECS et la cuisson les consommations sont déduites à l'aide d'une régression proposée par le CEREN, présentée au chapitre 3, il n'est donc pas possible de trouver d'autres variables de dépendance que celles qui ont servi à son obtention. On traduit cette consommation d'énergie finale en énergie utile. A l'aide des modes de production d'ECS et de cuisson déclarés par les ménages et des efficacités de ces systèmes on remonte à un besoin utile par ménage. Ces besoins évoluent bien sur de manière totalement linéaire avec le nombre de personnes puisque les régressions ont été faites à partir de cette variable⁶².

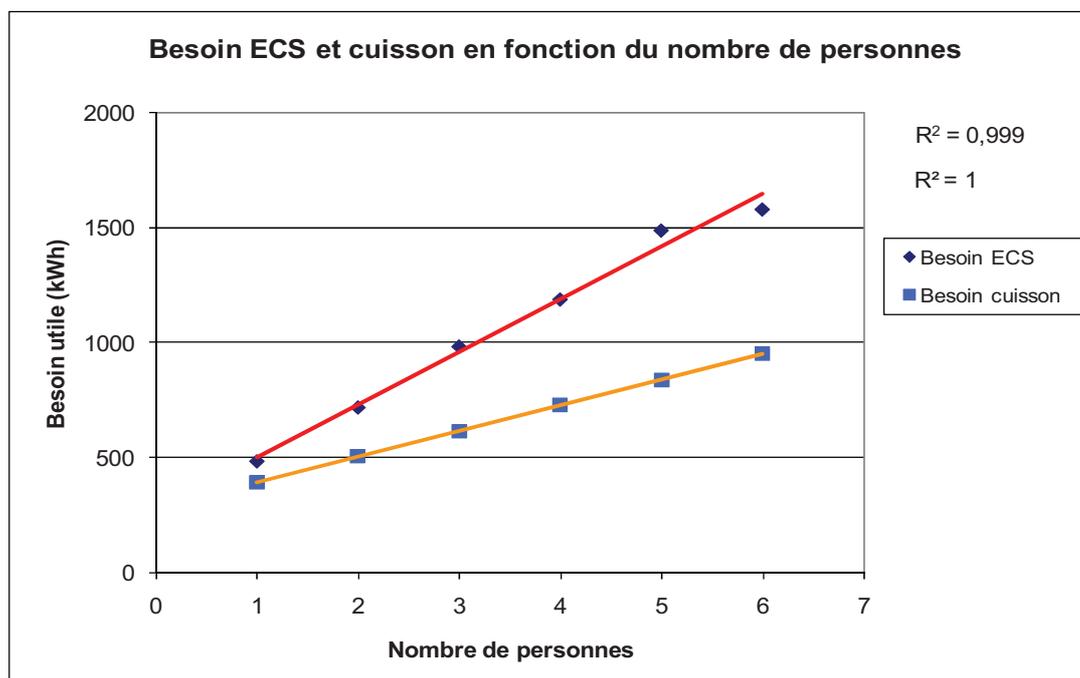


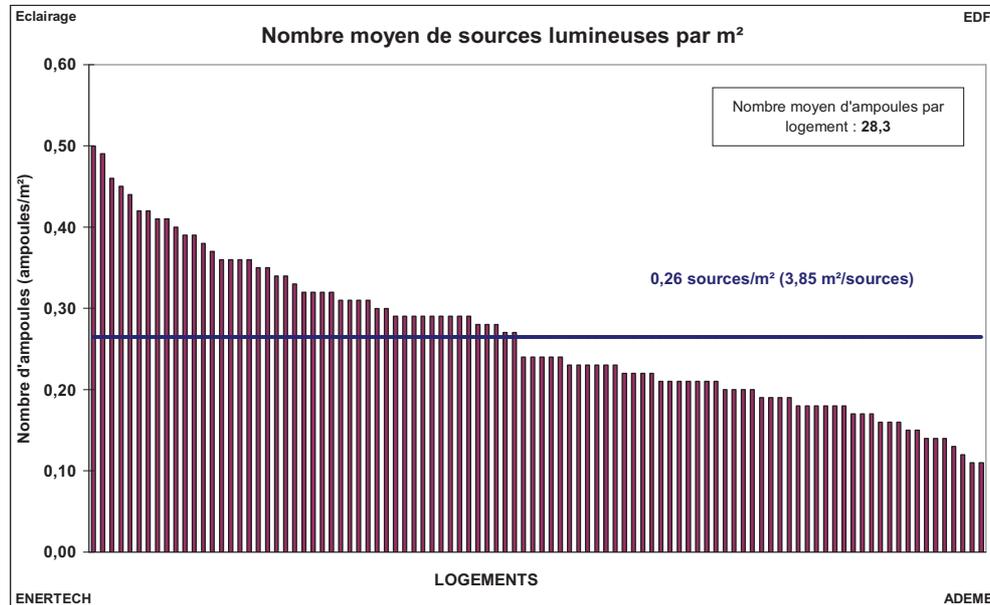
Figure 4.7 : Evolution du besoin utile en eau chaude sanitaire et en cuisson avec la taille du ménage

Eclairage :

La demande d'électricité en éclairage dépend du nombre de points lumineux présents, de l'intensité d'utilisation de ceux-ci et de la puissance des sources. La puissance des sources est plus à relier à des attributs des différentes technologies d'éclairage qu'à une différenciation du besoin. Pour simplifier le problème et par manque de données, on ne prend en compte que le nombre d'ampoules utilisées et on considère une durée d'utilisation égale pour toutes les sources, omettant ainsi l'impact du nombre de personnes et du type d'activité par pièce. Ce nombre d'ampoules est directement relié à la surface du logement comme le montre la figure

⁶² Cela montre juste qu'il n'y pas de biais lié au mode de chauffage

4.8 issue d'une campagne de mesures Enertech [2004]. On retient donc un besoin correspondant à $0,26^{63}$ ampoules par m² de surface habitable et l'on considère une durée de fonctionnement égale pour toutes ces ampoules.



Source : Enertech et ADEME/EDF

Figure 4.8 : Nombre d'ampoules moyen par m²

Froid :

La demande de froid correspond aux postes de réfrigération et de congélation. L'efficacité énergétique de ces équipements correspond à l'énergie consommée pour refroidir un volume d'un litre. Ces équipements étant généralement utilisés toute l'année, le besoin correspond donc principalement à des litres de réfrigération et de congélation. On considère donc les volumes des équipements renseignés par les ménages en ventilant le volume des appareils combinés suivant le ratio déclaré entre réfrigération et congélation. Et cette demande évolue linéairement avec le nombre de personnes du ménage comme le montre la figure 4.9.

⁶³ Cette chiffre est relativement robuste puisqu' il était de 0,23amp/m² lors de la campagne Ecodrôme

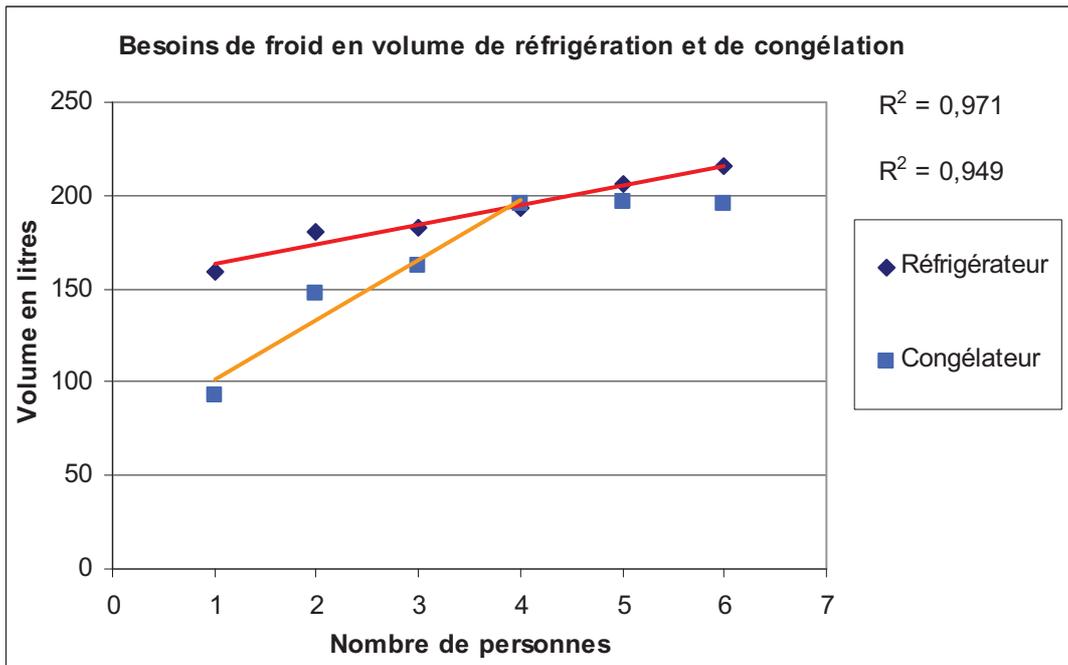


Figure 4.9 : Evolution de la demande de froid avec la taille du ménage

Lavage :

La consommation d'énergie à des fins de lavage renvoie principalement à la consommation du lave-linge et du lave-vaisselle. L'efficacité énergétique de ces équipements correspond à l'énergie utilisée pour réaliser un cycle de lavage du linge ou de la vaisselle. La demande utile correspond donc au nombre de cycles consommés par le ménage. Comme pour le froid, cette demande varie linéairement avec le nombre de personnes du ménage comme le montre la figure 4.9.

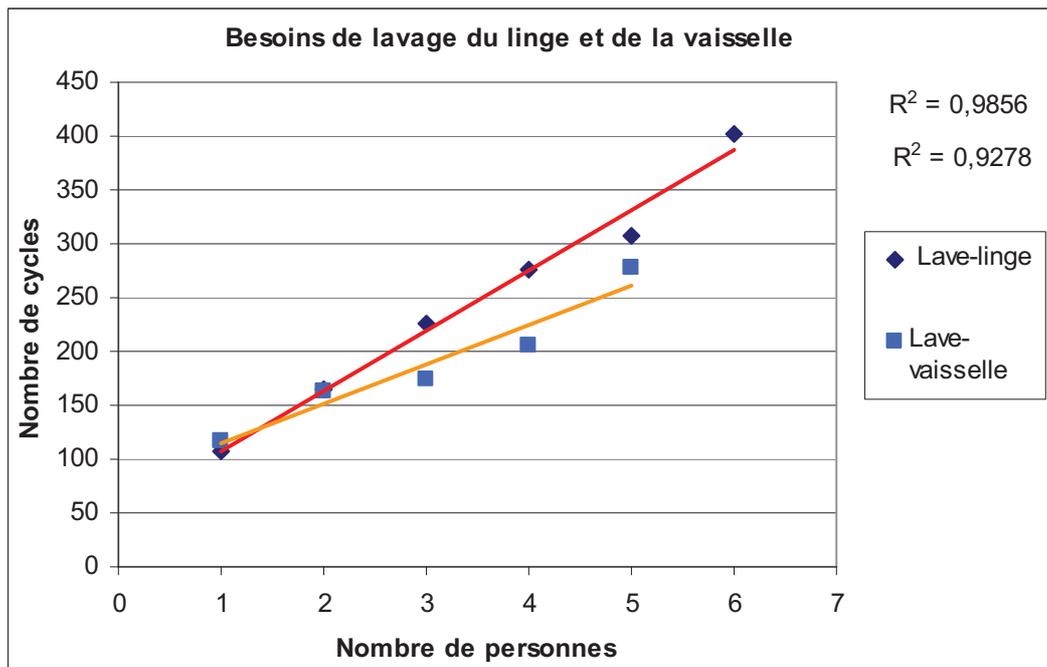


Figure 4.10 : Evolution de la demande de lavage avec la taille du ménage

Néanmoins, contrairement aux usages mentionnés précédemment, tous les ménages ne sont pas équipés de lave-vaisselle, le besoin exprimé en terme de cycles dépend donc de l'intensité d'utilisation mais il inclut également le taux de possession de l'équipement.

Produits bruns:

La consommation liée aux produits bruns, c'est à dire répondant à des fonctions multimédia comme un écran plasma ou un ordinateur portable, est assez difficile à appréhender en termes de besoins. La variable la plus discriminante entre les ménages n'est pas l'efficacité énergétique de l'équipement, ni la durée d'utilisation mais plutôt le taux d'équipement. Pour ces produits bruns on estime donc un taux d'équipement qui dépend de la classe de revenu comme le montre la figure 4.11 plutôt que d'un besoin.

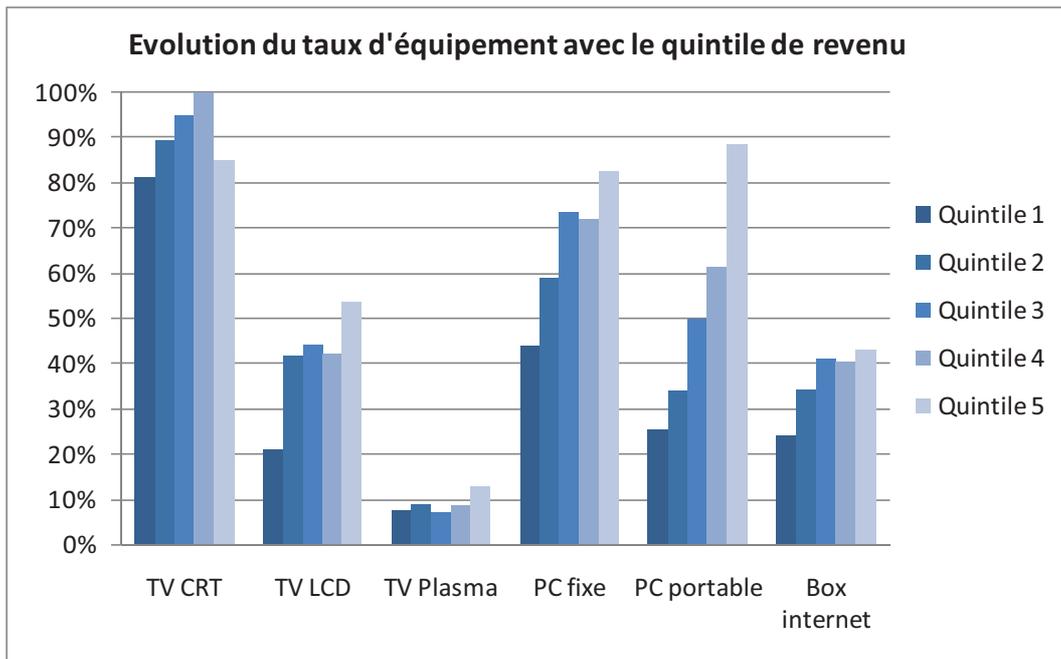


Figure 4.11 : Evolution du taux d'équipement en produits bruns avec le revenu

Pour les autres équipements consommant de l'électricité spécifique ce constat reste valide, mais en plus les équipements sont très diversifiés et chacun des équipements représente une consommation assez faible. La représentation technologique de ce reliquat n'est pas explicitée puisque ce poste résiduel renvoie à une multitude de petits objets pour lesquels la notion de besoin est encore plus floue que pour les produits bruns et pour lesquels il est encore plus difficile d'acquérir des données pertinentes. Le tableau 4.3 récapitule les usages finaux considérés, les variables pertinentes d'évaluation des besoins ainsi que les déterminants de la demande.

Usage	Unité besoin	Déterminant besoin
Chauffage	kWh utile	Bâti, Revenu
ECS	kWh utile	Taille ménage
Cuisson	kWh utile	Taille ménage
Eclairage	Ampoules	Surface
Froid	Litres	Taille ménage
Lavage	Cycles lavage	Taille ménage
Produits Bruns	Taux équipement	Revenu

Tableau 4.3 : Synthèse de la demande en besoin énergétique dans le résidentiel

Enfin, en ce qui concerne les ménages qui résident dans des logements neufs on relie les niveaux de demande utiles à la taille du ménage, à la surface et au revenu comme présenté dans le tableau 4.3. La seule exception concerne le chauffage puisque dans le cas des logements neufs le niveau de performance du bâti et l'efficacité du système de chauffage sont notablement plus élevés que pour le parc existant réduisant ainsi drastiquement le coût du chauffage. On considère donc un niveau de consommation de chauffage égal à ce que prévoient les réglementations thermiques successives qui guident les performances dans le neuf.

4.3.3 – Achat d'équipements domestiques

Une fois établis les demandes finales des différents usages énergétiques, il nous faut estimer tout d'abord les parts de marché et les efficacités initiales des différentes technologies existantes. Pour les parts de marché des technologies de chauffage, d'ECS et de cuisson on se base sur les données de l'enquête logement. Pour l'état du bâti et pour les équipements liés à l'électricité spécifique, l'enquête logement ne disposant pas de ces informations, on se base sur des données obtenues par notre enquête. On ventile ensuite ces caractéristiques par niveau d'isolation pour le bâti et par cluster pour les équipements. Ensuite, les nouvelles technologies sont caractérisées par leur prix, leur efficacité, leur durée de vie et leur coût de

fonctionnement le cas échéant⁶⁴. Le tableau 4.4 recense les différentes technologies considérées pour les usages énergétiques domestiques.

Usage	Technos existantes	Nouvelles technologies
Isolation	X	Isolation murs ITI Isolation murs ITE Isolation combles Fenêtres double-vitrage VMC
Chauffage	Chaudière gaz Chaudière fuel Convecteur Insert bois Chaudière collective Réseau chaleur	Chaudière gaz Chaudière fuel Convecteur PAC air/air PAC haute température Insert bois Chaudière bois
ECS	Chaudière gaz Chaudière fuel Ballon électrique Chauffe-eau gaz individuel Chaudière collective Réseau chaleur	Chaudière gaz Chaudière fuel Ballon électrique Chaudière bois Chauffe-eau solaire individuel
Cuisson	Cuisson gaz Cuisson GPL Cuisson élec	Cuisson gaz Cuisson GPL Cuisson élec Induction
Eclairage	Incandescent LBC Halogène	Incandescent LBC Halogène LED
Froid	Réfrigérateur Combiné Congélateur	Réfrigérateur B Réfrigérateur A+ Réfrigérateur A++
Lavage	Lave-linge Lave-vaisselle	Lave-linge B Lave-linge A+ Lave-vaisselle C Lave-vaisselle A

Tableau 4.4 : Technologies du secteur résidentiel

Pour les opérations d'isolation du bâtiment, grâce à la connaissance désagrégée des caractéristiques du bâti on est en mesure d'estimer correctement le gain d'économie en énergie utile apporté par une opération concrète sur le bâti. Par exemple une opération d'isolation thermique par l'intérieur conduira à une nouvelle valeur de déperdition surfacique U' pour les murs et apportera donc une amélioration par rapport à la situation précédente en

⁶⁴ Ces valeurs sont obtenues à partir des travaux d'expertise des chercheurs sur l'énergie et les bâtiments dans les territoires (ENERBAT) à EDF R&D et sont malheureusement confidentielles.

venant modifier la valeur globale ENV' des déperditions, cette modification étant proportionnelle au gain en énergie utile⁶⁵.

$$Gain = A \times D_h \times Surf(ENV - ENV') = A \times D_h \times \frac{S_{murs}(U - U')}{2,5}$$

où D_h représente le nombre de degré-heures de chauffe et A une constante

Chaque geste d'isolation permet donc un gain en énergie utile mais ce gain est sous-additif avec les gestes, il faut donc considérer les différents packs d'options de rénovation pour estimer correctement le gisement d'économies et la rentabilité de ces gestes. Par exemple il est possible que l'isolation des murs ou l'isolation des combles soit rentable mais que l'ensemble isolation des murs et des combles ne le soit pas puisqu'une fois les combles isolés le besoin en énergie utile a diminué et les économies générées par l'amélioration des murs ne soient pas suffisantes pour rentabiliser son prix initial.

Les ménages disposent donc d'un stock technologique qu'ils doivent renouveler au plus tard à la fin de leur durée de vie, et d'un panier de technologies accessibles dont ils doivent estimer la rentabilité. Le calcul économique repose sur le critère classique de maximisation de la valeur actuelle nette (VAN) pour les différentes solutions technologiques. Dans le cas d'un renouvellement anticipé du système ce critère conduit à :

$$Max(VAN) = Max(-P_0 + \sum_{i=1}^{LT} \frac{p_i \times Demande_{utile}(Eff - Eff')}{(1+a)^i})$$

où P_0 est le prix initial du système, p_i est le prix de l'énergie utilisée à l'année i , LT la durée de vie du système, Eff et Eff' les efficacités des systèmes anciens et récents et a le taux d'actualisation implicite.

Les ménages vont donc minimiser leurs dépenses totales composées des factures énergétiques annuelles et des coûts d'investissement dans les différents systèmes sur l'horizon de la période considérée étant donné les évolutions des prix des énergies, des prix des technologies

⁶⁵ Le calcul DPE-3CL implique clairement plusieurs occurrences de non-proportionnalité entre la variable ENV et le besoin en énergie utile de chauffage. Néanmoins dans les faits le besoin de chauffage peut s'écrire $B_{ch} = A \times Surf \times ENV \times D_h$. Voir l'annexe 3.3 pour la justification.

disponibles et des durées de vie des systèmes. Ce comportement d'achat dont il a été question au chapitre 3 se traduit par les différentes valeurs de ce taux d'actualisation implicite qui varie en fonction des usages et du revenu notamment. A ce titre, les valeurs relatives aux travaux d'isolation, aux équipements de chauffage et d'eau chaude sanitaire sont assimilées à celles obtenues pour les équipements de chauffage. Tandis que les valeurs relatives aux équipements de cuisson, de froid et de lavage sont assimilées à celles obtenues pour le réfrigérateur. A cette valeur de taux d'actualisation implicite, qui reflète le comportement d'investissement du ménage, vient s'ajouter comme déjà mentionné la dimension liée à la contrainte de capital. Cette contrainte de capital se traduit par un montant maximum d'investissement annuel admissible et varie avec le revenu. La valeur de cette contrainte est basée sur des données de dépenses des ménages dans ces équipements issues de l'enquête Budget des Familles 2006 de l'INSEE.

4.4 – Modélisation du secteur transports avec TIMES

4.4.1 – Segmentation de la demande de transports

Dans le secteur des transports, l'usage de la voiture particulière constitue un peu le pendant du chauffage puisqu'elle est responsable de plus de 75% des émissions du secteur. Le découpage retenu doit donc permettre de représenter finement la demande pour cette technologie. Chacun des 15 clusters initiaux est donc segmenté à nouveau en fonction du type de tissu urbain, du statut d'activité de la personne de référence du ménage et de la possession ou non de véhicule particulier. Le tableau 4.5 présente le niveau de désagrégation retenu ainsi que l'impact des variables sur le modèle.

Rôle	Variable	Segmentation	Effet
Accès aux technologies	Tissu urbain	Ville-centre / banlieue / périurbain / rural	Offre en transports en commun
	Possession de VP	Oui/Non	Accès à l'automobile
Niveau de demande	Tissu urbain	Ville-centre / banlieue / périurbain / rural	Distance aux aménités
	Statut d'activité	Actif/Inactif	Intensité des besoins de déplacement
	Taille du ménage	Seul/Couple av/ss enfants	Nombre de trajets Taux de remplissage
Comportement d'achat	Revenu	5 quintiles de revenu	Taux d'actualisation implicite Contrainte de capital

Tableau 4.5 : Segmentation de la demande pour le secteur des transports

En effet, le fait d'habiter en centre-ville d'une grande agglomération donne accès aux réseaux de transports en commun pour certains types de trajet et conduit à parcourir une faible distance pour se rendre de son domicile aux aménités. Tandis qu'un ménage résidant en zone rurale n'aura certainement que la voiture à sa disposition pour se déplacer et devra parcourir des distances plus élevées. Ensuite, le fait pour un individu d'être actif ou inactif a un impact très important sur l'agenda de ses activités et donc le besoin de mobilité de la personne. On observe un rapport supérieur à 2 dans le nombre de kilomètres hebdomadaires effectués entre un individu actif et un individu inactif résidant au même endroit. Afin de limiter le nombre de cas de figures envisageables, on se limite au statut d'activité de la personne de référence et on considère le fait que le statut d'activité du conjoint éventuel est très corrélé à celui de la personne de référence en raison de l'âge principalement⁶⁶. Enfin le fait de posséder une voiture conditionne bien sur fortement l'accès à l'automobile.

Ce nouveau découpage conduit à considérer 240 segments, mais de la même manière que pour le secteur résidentiel, beaucoup de ces segments correspondent à des cas de figure assez rares. En se basant sur les données de l'enquête nationale transports et déplacements 2008 de l'INSEE, on collecte les effectifs de ménages de ces différents segments. En ne conservant que les segments représentant 0,15% de l'effectif total et comportant au moins 25 répondants on ne conserve que 121 segments représentant 94% de l'effectif total. Comme

⁶⁶ Si deux personnes vivent en couple elles ont généralement un âge proche et l'on a beaucoup plus de chances d'avoir un couple d'actifs ou d'inactifs plutôt qu'un actif et un inactif.

pour le secteur résidentiel, cet élagage conduit à une réduction par deux de la complexité de la représentation de la demande. Il convient ensuite de ventiler la population des segments élagués dans les segments conservés. Pour cela on se base sur les plus proches voisins en adoptant la hiérarchie suivante : cluster > statut d'activité > tissu urbain > possession de voiture. Posséder une voiture étant plutôt le lot commun, cette réaffectation des effectifs sous-représentés se fait généralement en faveur de la possession de voiture, conduisant ainsi à une légère surestimation du taux de possession : 82% contre 79% en réalité. Concernant le type de tissu urbain, le fait de se baser sur l'enquête transports ne nous permet pas d'utiliser le critère de la distance au centre de l'aire urbaine⁶⁷, le type de tissu renvoie donc à une définition un peu différente basée sur des définitions de l'INSEE et présentée en annexe 3.1, le périmètre ainsi décrit est néanmoins relativement proche du critère de la distance au centre de l'aire urbaine.

4.4.2 – Niveaux de demandes utiles

Les distances parcourues par les différents membres du ménage généralement agglomérées et exprimées en passagers-km sont ici découpées par gamme de distance. Et ce notamment, afin de pouvoir exprimer un besoin qui soit pertinent en terme d'offre et d'efficacité des différents modes de transport. Ces gammes de distance correspondent aux tranches de distance utilisées dans l'enquête. La demande en mobilité locale du nombre de déplacements à une distance donnée pour un individu dépendent du statut d'activité, du type de tissu urbain et de la possession de voiture comme décrit dans le chapitre 3. La demande totale du ménage pour chaque type de déplacement correspond à la somme des demandes individuelles des différents membres du ménage dont les caractéristiques sont collectées via l'enquête transports. Plus précisément, le statut d'activité influence l'intensité des activités et le besoin de déplacement, tandis que le tissu semble plutôt influencer la distance de ces déplacements, comme le montre le tableau 4.6.

Tissu urbain	Part Dist1	Part Dist2	Part Dist3	Part Dist4	Part Dist5	Part Dist6	Part Dist7
Rural	9%	12%	24%	10%	23%	12%	9%
Périurbain	7%	11%	22%	20%	24%	11%	5%
Banlieue	4%	14%	36%	20%	19%	4%	3%
Ville-centre	11%	18%	37%	14%	11%	6%	3%

Tableau 4.6 : Part des déplacements par distance en fonction du tissu urbain

⁶⁷ En effet dans la version de l'enquête fournie, les codes communes INSEE ne sont pas disponibles

En ce qui concerne les déplacements à longue-distance, la demande est tirée par le revenu du ménage. La figure 4.12 montre l'évolution de la demande de mobilité à longue-distance et très longue distance avec le revenu⁶⁸.

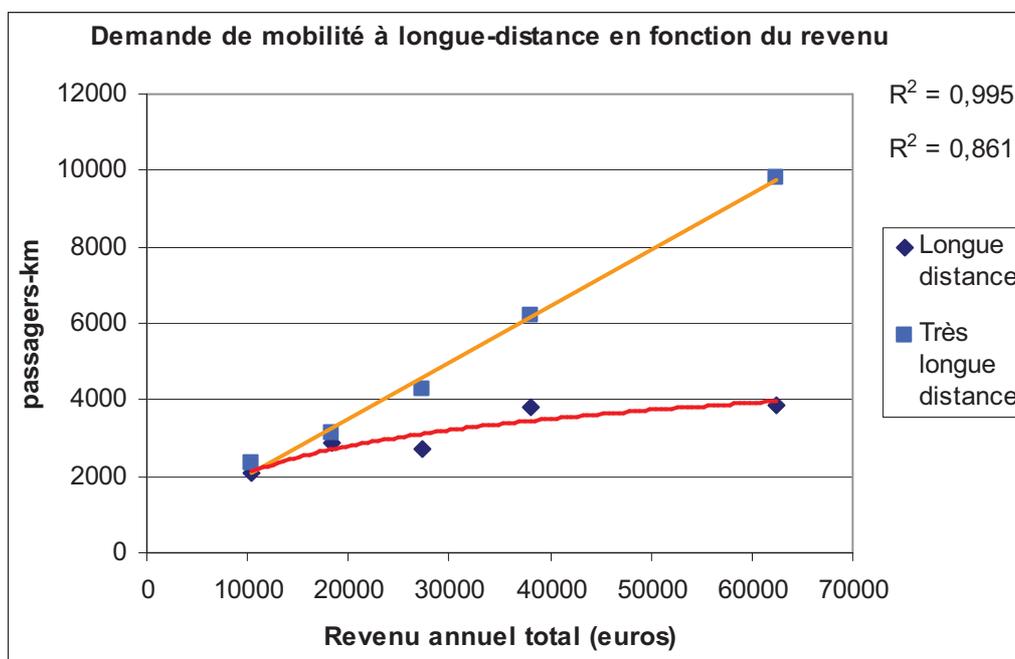


Figure 4.12 : Evolution de la demande de mobilité longue-distance avec le revenu

4.4.3 – Achat de véhicules

Tout d'abord il faut signaler que le remplacement des véhicules ne s'adresse qu'aux ménages qui possèdent déjà une voiture, on fait ainsi l'hypothèse que le taux de possession reste stable dans le temps. Aussi les ménages qui ne possèdent pas de véhicule au départ sont supposés continuer à utiliser les transports en commun et les modes doux pour répondre à leur demande de mobilité. Ensuite l'attrait pour les différents modèles de véhicules se fait sur la base des économies en carburant générées par l'achat d'un nouveau système, du prix de ce système et du taux d'actualisation implicite, comme expliqué dans le paragraphe sur le secteur résidentiel. Le taux d'actualisation utilisé est celui correspondant à l'achat de véhicule efficace observé à partir des données de l'enquête, il varie donc avec le revenu. Ce taux

⁶⁸ La très longue distance varie de manière linéaire et la longue distance de manière logarithmique, ce que l'on constate encore mieux avec les déciles de revenu.

s'accompagne également d'une contrainte de capital dont la valeur est obtenue via l'enquête Budget des Familles 2006 et qui varie également avec le revenu.

En ce qui concerne les consommations de carburant des différentes demandes de déplacement, celles-ci dépendent de l'efficacité du véhicule pour les différentes catégories de déplacement et du taux de remplissage. Le taux de remplissage dépend lui du type de mobilité : locale, longue-distance ou très longue-distance et de la taille du ménage. Les valeurs utilisées correspondent à celles obtenues à partir de l'enquête et présentées dans le tableau 3.8 du chapitre 3. Ensuite, l'efficacité du véhicule dépend du type de voirie pratiquée : ville, route ou autoroute. On fait l'hypothèse que le type de voirie empruntée en fonction des catégories de trajet varie avec le tissu urbain de résidence du ménage. Les différentes consommations spécifiques utilisées correspondent à celles présentées dans le tableau 3.9 du chapitre 3.

Enfin le prix du système varie bien sûr avec le type de technologie de la voiture mais également avec la gamme du véhicule. En effet, un petit véhicule urbain sera moins coûteux et consommera moins de carburant qu'un monospace par exemple. Aussi le choix technologique effectué par le modèle d'optimisation se portera systématiquement vers les petits véhicules si ceux-ci sont mis en concurrence. Il convient donc de spécifier à priori les gammes de véhicules qui seront adaptées au ménage, et en particulier à sa taille. Si il est possible d'imaginer un gain de consommation en passant d'un véhicule tout-terrain à une petite citadine pour un célibataire, il est en revanche plus difficile d'imaginer que des familles avec enfants utilisent ce même type de véhicule pour partir en vacances à longue-distance. Les différents véhicules sont donc segmentés en trois gammes : petites citadines, berlines moyennes et grands véhicules, on se basant notamment sur la taille, le poids et la puissance fiscale des véhicules. On ajuste le besoin en gamme de véhicule en faisant l'hypothèse que les ménages de plus de trois personnes ne peuvent pas utiliser de petits véhicules et que les ménages de plus de quatre personnes ne peuvent pas utiliser de véhicules moyens.

Gamme de voiture	Longueur moyenne	PTAV	Puissance fiscale	Taille ménage	Part de marché	Part essence	Véhicule-type
Petite	3,5 m	< 1000 kg	< 5 CV	< 3 pers	19%	75%	Renault Twingo
Moyenne	4 m	1000-1400kg	5-7 CV	< 4 pers	57%	38%	Citroën C3
Grande	4,5 m	> 1400 kg	> 7 CV	Tous	24%	28%	Peugeot 407

Source : Patrice Nogues et Jean-Michel Cayla

Tableau 4.7 : Caractéristiques des gammes de voiture

Les parts de marché initiales des différentes gammes de véhicules sont ensuite obtenues pour les différents segments. On distingue au sein de ces trois gammes les véhicules efficaces des véhicules peu efficaces en prenant comme référence des émissions de 120gCO₂/km, 140gCO₂/km et 160gCO₂/km respectivement afin de pouvoir mieux estimer le gisement d'économies d'émissions lié au remplacement des véhicules. On considère ensuite principalement quatre types de nouvelles technologies de voiture en remplacement du parc actuel: la voiture thermique classique, le véhicule au gaz naturel (GNV), le véhicule hybride rechargeable (VHR) avec 30 km ou 50 km d'autonomie et le véhicule tout électrique (VE) avec 80 km ou 150 km d'autonomie. Tous ces véhicules sont ensuite caractérisés par leur prix, leurs efficacités, leur durée de vie et leur coût de fonctionnement. Les valeurs de ces paramètres et leur évolution au cours du temps reposent sur les travaux du CAS [Syrota et Hirtzman 2008], de l'AIE [2009], de l'académie des sciences américaine [NAS 2009] et de travaux issus d'EDF R&D.

4.4.4 – Report vers les autres modes de transport

L'utilisation de modes doux pour répondre à une demande de déplacement ne comportant ni coût fixe ni coût variable, il est bien évident que leur part dans la satisfaction de la demande repose sur une hypothèse a priori et non sur le résultat d'un arbitrage technico-économique. Le recours à ces modes aura donc comme impact de réduire la demande à satisfaire par les autres modes. Dans un premier temps on considère constantes les parts de marché de ces modes pour les déplacements courts : 47% pour les déplacements inférieurs à 300m, 53% pour les déplacements compris entre 300m et 1km et 18% pour les déplacements compris entre 1 et 5km. En revanche il est possible pour les ménages d'arbitrer sur la base des coûts entre l'utilisation de leur voiture et le recours aux transports en commun. Il est donc

possible de rendre compte de ces choix de manière explicite dans le modèle en décrivant les trajets disponibles et les prix de ces trajets pour les différents modes de transports en commun.

4.4.4.1 – Potentiel de report modal

La question du potentiel de report modal est très complexe puisqu'elle dépend de la distance d'accès aux différents réseaux de transports en commun, des destinations desservies par les différentes lignes de transport et des horaires auxquels le déplacement doit être effectué. Et ce, en considérant une augmentation acceptable de la durée et du prix du trajet. Il n'est pas aisé de quantifier ce report simplement, sans entrer dans le détail des déplacements. Un potentiel exprimé en nombre de places*kilomètres offerts pour une agglomération donnée ne rend pas compte du fait que certains ménages peuvent résider très loin des stations de transports par exemple. De plus la cadence et la taille des véhicules peuvent être en effet très importantes mais ne pas permettre une desserte convenable pour tout le monde. En effet, comme c'est le plus souvent le cas en île de France, les itinéraires desservis peuvent être principalement radiaux de la périphérie vers le centre et ne permettent ainsi pas de répondre à la totalité de la demande de déplacements des ménages résidant en banlieue. Une étude très intéressante menée par Massot et alii [2004] propose une estimation du potentiel de report de la voiture vers les transports en commun en fonction de l'ampleur de l'augmentation du budget-temps considérée. Elle est basée sur des simulations alimentées par des déplacements réels et prennent en compte les origines et destinations des boucles de déplacement étudiées⁶⁹. Les auteurs obtiennent un report modal potentiel de 12% du trafic pour le grand Lyon et de 9% du trafic pour la petite couronne parisienne en autorisant une augmentation du budget-temps de 25%. On retient donc les valeurs annoncées par cette étude qui constituent à notre connaissance la seule source de données quantifiées et reposant sur une méthodologie robuste. Il s'agit ensuite de généraliser ce constat à l'ensemble des ménages français et surtout de décliner ce potentiel par mode et par gamme de distance de déplacement. Pour les différents types de tissus urbains on estime l'offre de transports en commun par mode relativement à celles de la petite couronne parisienne et du grand Lyon. L'accès aux réseaux de transports en commun est caractérisé par la distance à la gare la plus proche, et la desserte potentielle des différents modes est limitée aux gammes de distances pertinentes. La méthode est détaillée

⁶⁹ Voir annexe 4.1 et Massot et alii [2004] pour plus de détails sur la méthode

dans l'annexe 4.1. Le potentiel retenu, obtenu par l'étude sur Paris et Lyon en considérant une augmentation de 25% du budget-temps, est ensuite ventilé par mode, par gamme de distance et par type de tissu afin et est présenté dans le tableau 4.8.

Gamme de distance	Type tissu	Bus/Car	Méto/RER	Train TER
< 300m	Rural	0%	0%	0%
< 300m	Périurbain	0%	0%	0%
< 300m	Banlieue	0%	0%	0%
< 300m	Ville-centre	0%	0%	0%
300m–1km	Rural	0%	0%	0%
300m–1km	Périurbain	0%	0%	0%
300m–1km	Banlieue	0%	0%	0%
300m–1km	Ville-centre	0%	0%	0%
1-5km	Rural	0,1%	0,0%	0%
1-5km	Périurbain	0,6%	0,1%	0%
1-5km	Banlieue	2,2%	0,7%	0%
1-5km	Ville-centre	18,6%	9,0%	0%
5-10km	Rural	0,1%	0,0%	0%
5-10km	Périurbain	0,6%	0,1%	0%
5-10km	Banlieue	13,1%	6,8%	0%
5-10km	Ville-centre	17,1%	11,4%	0%
10-25km	Rural	0,1%	0,0%	0%
10-25km	Périurbain	0,7%	0,1%	0%
10-25km	Banlieue	13,1%	2,4%	0%
10-25km	Ville-centre	19,9%	8,6%	0%
25-50km	Rural	0%	0,0%	0,0%
25-50km	Périurbain	0%	0,3%	13,6%
25-50km	Banlieue	0%	1,1%	19,3%
25-50km	Ville-centre	0%	5,4%	18,9%
50-100km	Rural	0%	0%	6,5%
50-100km	Périurbain	0%	0%	14,5%
50-100km	Banlieue	0%	0%	8,9%
50-100km	Ville-centre	0%	0%	30,9%

Tableau 4.8 : Potentiel de report modal par mode, par distance et par tissu

Le potentiel de report modal vers les transports en commun ainsi autorisé pour des besoins de mobilité locale représente ainsi 24,5% du trafic contre 16% actuellement, ce qui constitue une augmentation raisonnable.

4.4.4.2 – Prix et consommations des transports en commun

On fait l'hypothèse que les ménages ne possédant pas de voiture font tous leurs déplacements en transports en commun, ceux-ci payent donc un abonnement annuel pour leurs déplacements. En revanche, pour les ménages possédant un véhicule l'utilisation des transports en commun ne se fera qu'à la marge et on suppose qu'ils utiliseront alors plutôt des tickets unitaires. Les prix unitaires sont calculés par mode de transport, en traitant à part l'île de France pour les transports locaux, à partir des données issues des enquêtes du GART [2008, 2009], de l'enquête TCU du CERTU [2009], des données du STIF [2005, 2009] pour les transports en commun locaux. Pour les transports en commun répondant à des demandes de mobilité à longue-distance, on se base sur le tarif kilométrique appliqué par la SNCF⁷⁰ pour le train, et les données du CETO [2008, 2009] pour l'aviation. Pour les bus et les cars on considère un prix du ticket forfaitaire qui ne dépend donc pas de la distance du déplacement et pour le métro/RER, le train de type TER et le train de type TGV on considère des prix du km en seconde classe qui décroissent avec la distance⁷¹ parcourue. Enfin, pour l'avion on considère également un prix du kilomètre en se basant sur les moyennes de prix pratiquées par les différentes compagnies⁷². Pour les consommations associées aux transports en commun, on se base sur les efficacités des modes de transports et des taux de remplissage moyens issus du rapport Enerdata [2004] sur l'efficacité des modes de transport⁷³. Le tableau 4.9 regroupe les prix et les consommations de ces modes de transport en fonction de la gamme de déplacement.

⁷⁰ <http://www.sncf.com>

⁷¹ Les prix ont été obtenus à partir de plusieurs sources

⁷² Ce prix moyenne les différents tarifs utilisés pour vols secs et les vols aller/retour de différentes classes de voyage pratiqués par les compagnies en séparant les courts-courriers, les moyens courriers et les longs courriers. De ce fait la dispersion des prix pratiqués pour un même déplacement est très importante. Ce constat tend également à être de plus en plus vrai pour le train.

⁷³ Le fait que les taux de remplissage soient renseignés a priori alors que le trafic des transports en commun est une variable endogène est discutable. Néanmoins ces modes de transport émettent très peu de CO₂ et dans le cas de l'avion qui émet beaucoup, les taux de remplissage sont déjà très élevés et ne devraient pas être modifiés par l'augmentation du trafic.

Type TC	Bus/Car		Métro/RER		TER		TGV		Avion	
Distance	Prix/km	kWh/pkm	Prix/km	kWh/pkm	Prix/km	kWh/pkm	Prix/km	kWh/pkm	Prix/km	kWhkm
ML3	0,41	0,328	0,51	0,108	X	X	X	X	X	X
ML4	0,14	0,328	0,24	0,108	X	X	X	X	X	X
ML5	0,06	0,328	0,17	0,108	X	X	X	X	X	X
ML6	X	X	0,14	0,108	0,19	0,213	X	X	X	X
ML7	X	X	X	X	0,18	0,213	X	X	X	X
LD1	X	X	X	X	X	X	0,18	0,108	X	X
LD2	X	X	X	X	X	X	0,17	0,088	X	X
LD3	X	X	X	X	X	X	0,16	0,067	0,34	0,479
TLD1	X	X	X	X	X	X	0,14	0,067	0,16	0,488
TLD2	X	X	X	X	X	X	0,10	0,067	0,12	0,495
TLD3	X	X	X	X	X	X	X	X	0,11	0,347
TLD4	X	X	X	X	X	X	X	X	0,07	0,347

Tableau 4.9 : Prix et consommations des différents modes de transport en commun

L'option de report modal est alors intégrée au panier technologique et fait l'objet d'un arbitrage avec les différents types de véhicules pour répondre aux besoins de mobilité, dans la limite du potentiel de report modal précédemment décrit.

Le modèle ainsi présenté incorpore une représentation de la demande à un niveau très désagrégé à la fois pour le secteur résidentiel et transports, tout en utilisant un socle commun pour la description de ces deux secteurs relié à la part budgétaire que représentent ces deux postes. Ce niveau de détail permet de gagner en réalisme par rapport à une approche basée sur un ménage « moyen », notamment en représentant de manière différenciée l'accès aux substituts technologiques. Mais il permet également de gagner en robustesse par rapport aux incertitudes sur le futur testées dans les différents scénarios sur la nature des technologies qui vont se diffuser. La figure 4.13 présente l'enveloppe des solutions technologiques optimales pour les ménages en fonction du coût total⁷⁴ de fourniture de leur niveau de demande : prix de l'équipement et prix du service. Plus le prix d'achat d'une technologie croît, plus le coût d'utilisation décroît sur l'enveloppe des solutions technologiques optimales. Ainsi, pour

⁷⁴ Les coûts complets sont ici donnés à titre d'illustration

chaque niveau de demande de service énergétique il existe une technologie optimale qui minimise la valeur actuelle nette du coût total sur la durée de vie de l'équipement.

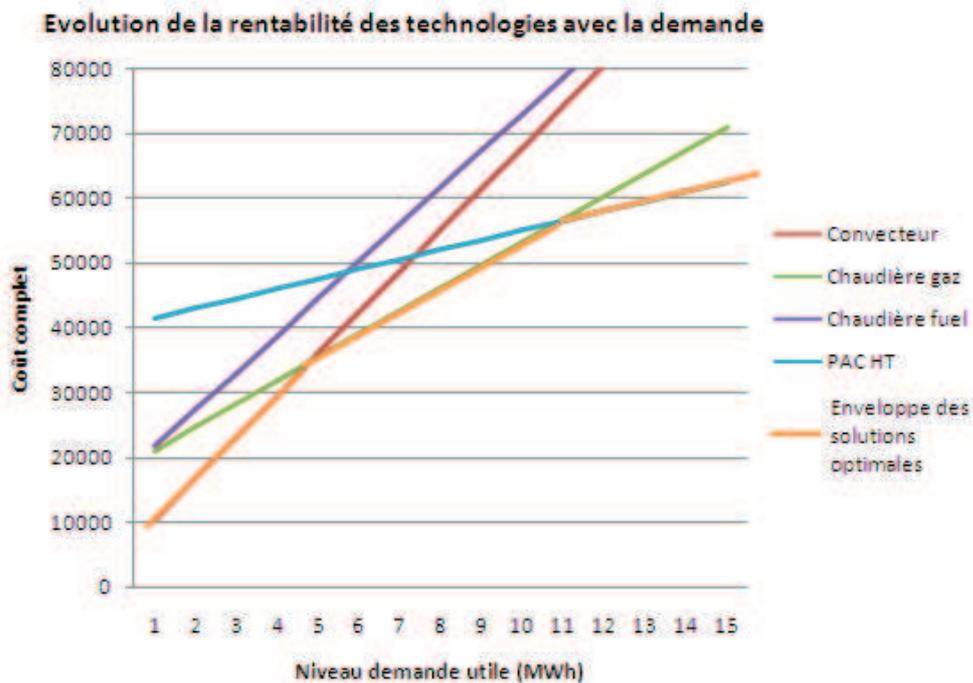


Figure 4.13 : Evolution de la rentabilité de technologies avec la demande

Une représentation de la demande avec un unique ménage moyen conduit alors à ne choisir qu'une et une seule nouvelle technologie à chaque période modélisée. Et ce choix unique est extrêmement sensible aux hypothèses de prix futurs des énergies et des nouvelles technologies. En effet, une modification des prix conduit donc à modifier l'enveloppe des solutions technologiques optimales par rapport à la demande, ou à déplacer les seuils de rentabilité de demande pour les différentes technologies. Et si l'on se trouve proche du seuil de rentabilité d'une autre technologie, on commet alors une erreur de 100% sur la nature des technologies diffusées durant la période de modélisation considérée. En revanche, dans le cas d'une demande fortement désagrégée on peut considérer que l'on a affaire à une distribution de la demande initiale en service. Dans ce cas un déplacement autour du seuil de rentabilité entre deux technologies n'aura qu'un impact limité sur la diffusion technologique globale de la période comme le montre la figure 4.14⁷⁵.

⁷⁵ La forme de l'enveloppe des solutions technologiques optimales est conservée à l'identique et l'on considère un déplacement de la demande pour plus de clarté.

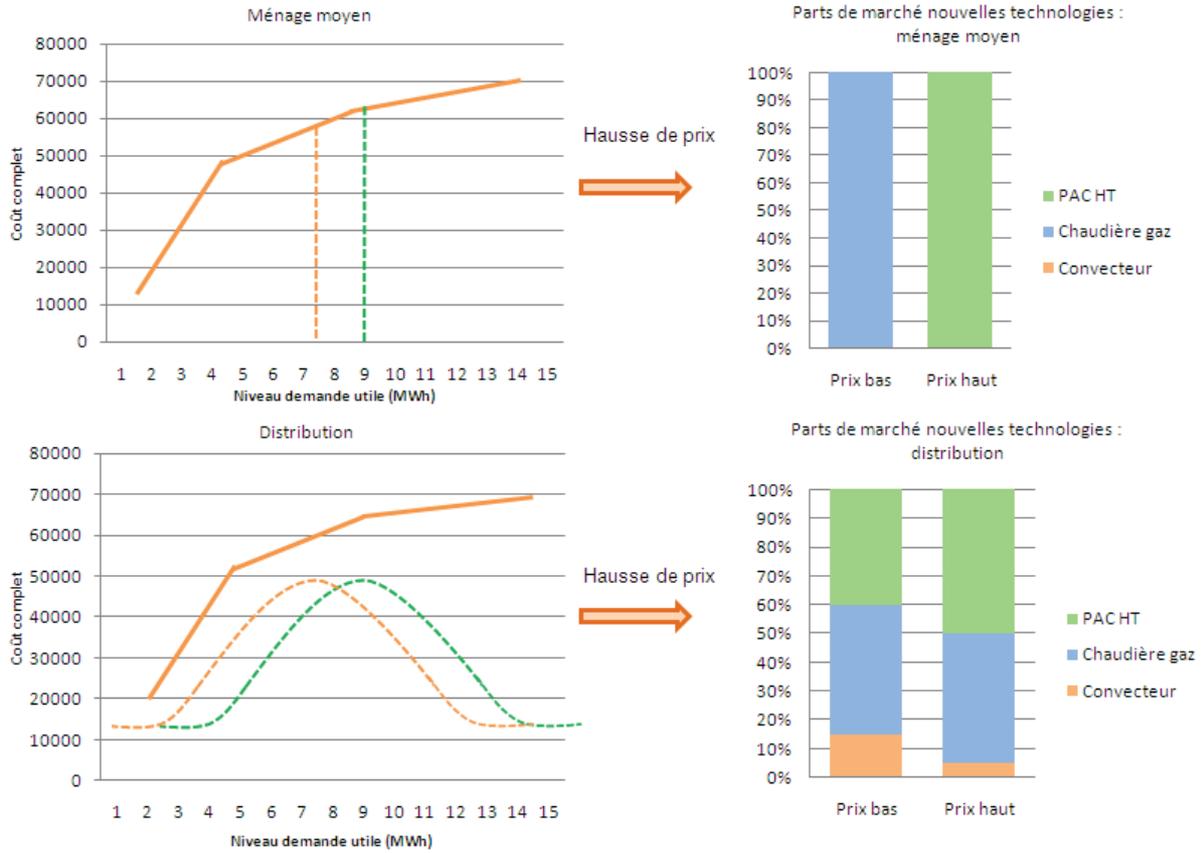


Figure 4.14 : Impact de la segmentation sur la robustesse des résultats de diffusion

Cette architecture très détaillée des consommations dans les secteurs résidentiel et transports permet de visualiser le comportement des ménages au cours du temps. Et il est ensuite possible de tester différents scénarios, et en particulier une forte contrainte de réduction des émissions de CO₂ dans ces secteurs.

CHAPITRE 5

Résultats des scénarios « Référence » et « Contrainte facteur 4 » : Quels efforts à fournir ?

5.1 – Hypothèses du scénario de référence Résidentiel-Transports

5.1.1 – Evolution des demandes unitaires en services énergétiques

Le modèle TIMES permet de choisir les solutions technologiques permettant de répondre à des demandes utiles en service énergétique. Ces demandes unitaires sont reliées de façon stylisée (et donc contestable) à des attributs du ménage. Et la demande totale variera ensuite avec l'évolution de ces attributs ; mais qu'en est-il de l'évolution de cette demande unitaire au cours du temps ? Ou pour le formuler plus explicitement comment peut on imaginer la variation du niveau de confort consommé ? L'aspect vital ou de première nécessité des services énergétiques n'a été abordé au chapitre précédent que sous le terme de demande utile le plus souvent sans soulever la question des besoins, de savoir si certaines dépenses seraient nécessaires tandis que d'autres le seraient moins. Les économistes bottent d'ailleurs le plus souvent en touche en expliquant que les ménages optimisent leur utilité sous contrainte de leur budget et ne portent pas de jugement sur le caractère « nécessaire » des différents types de consommation. Le caractère nécessaire d'un bien n'apparaît alors qu'en réponse à une variation de prix via l'élasticité-prix des consommateurs. Dans le cas des transports par exemple, la seule donnée disponible tangible est la consommation de carburant, mais rien ne permet de connaître la part allouée à des trajets domicile-travail de la part allouée aux voyages et aux loisirs à l'étranger. Les seules sources de données sont des valeurs déclaratives issues d'enquêtes relativement peu fréquentes⁷⁶. L'indicateur de la variation de consommation face à une montée de prix n'est pas un indicateur suffisant pour rendre compte du caractère primordial d'une dépense. Cette séparation entre consommation contrainte et consommation liée au plaisir est un débat qui a longtemps divisé. Les premières études sur le sujet, on peut notamment citer la pyramide des besoins de Maslow [1943], ont eu le mérite

⁷⁶ Il n'y a e que 2 vagues d'enquête nationale transport et mobilité entre 1990 et 2010.

d'aborder la question mais ont fait face à une réaction vive de la part des sociologues qui considèrent que les besoins primordiaux d'un individu ne se situent pas nécessairement uniquement d'un point de vue physiologique (comme se nourrir, se laver, dormir), mais que les relations sociales de l'individu et la création d'un tissu social de base sont également vitaux pour la construction de l'individu [Douglas & Isherwood 1979].

Ce travail n'a évidemment pas l'ambition de répondre à cette question, si tant est qu'il soit possible d'y répondre, mais la question doit être posée car les marges de manœuvre en terme de sobriété des modes de vie futurs dépendent de cette dimension « nécessaire » des besoins. En effet, beaucoup de scénarios dits « volontaristes », comme le scénario facteur 4 retenu par le centre d'analyse stratégique [Syrota et alii 2007] imaginent par exemple une baisse de la demande utile de mobilité. Mais cette baisse de la demande est elle structurelle, grâce à un réaménagement du territoire ou bien correspond elle à un effort de sobriété de notre société conduisant à une baisse des besoins ? Et auquel cas comment obtenir cette baisse des besoins ? Si ce besoin est « superflu » comme partir en vacances à l'étranger alors une taxe est susceptible de réorienter la structure des dépenses, mais si ce besoin est « nécessaire » comme se rendre au travail alors cette même taxe ne risque-t-elle pas de se traduire par une perte sèche de bien être ?

Si l'on s'intéresse à la question de la précarité énergétique des ménages, il faut bien d'une part faire un choix dans les usages énergétiques que l'on va prendre en compte dans l'évaluation de cette contrainte, compte tenu de ce qui apparaît comme nécessaire. Par exemple une hausse des dépenses d'électricité des écrans plasma des ménages ne traduit pas une augmentation de la « contrainte énergétique » des ménages. Et d'autre part, il est nécessaire de se baser sur des variables explicatives du comportement qui soient aussi objectives que possible et qui traduisent une contrainte aussi objective que possible. Par exemple se baser sur les valeurs d'un individu ou son attitude envers les transports en commun pour simuler son comportement de mobilité ne permet pas de rendre compte des contraintes objectivement subies ni des marges de manœuvre dont dispose l'individu. En revanche sa zone de résidence et la desserte en transports en commun représente bien une marge de manœuvre potentielle en terme de report modal. Cela explique donc le choix d'objectiver les demandes unitaires sur la base des variables socio-démographiques car ces variables soulèvent des contraintes assez mécaniques. Par exemple, plus on est nombreux, plus la consommation d'eau chaude et de mobilité augmente, ou encore, plus le revenu est élevé plus il est possible de financer un système coûteux.

Ensuite, même si les variables servant de support pour élaborer la valeur des besoins sont aisément mesurables et objectives, leur effet est nécessairement sujet à discussion. Pour reprendre l'exemple de la gamme de voiture autorisée en fonction de la taille du ménage, il n'est pas possible de prouver qu'au delà de trois personnes un véhicule de taille moyenne est nécessaire et qu'au delà de quatre personnes il faille absolument se doter d'un grand véhicule. Les valeurs avancées comme des « besoins » pour les ménages ne sont tout au plus que corroborées par les observations actuelles et n'ont pas valeur de référence pour le futur. Néanmoins ne pas soulever cette question et ne pas proposer de valeur revient à accepter tous les possibles et notamment les plus invraisemblables. Dans l'exemple de la gamme de véhicules, en laissant le modèle optimiser sans contraintes, cela revient à faire l'hypothèse que tous les ménages se déplaceront à l'avenir dans de petites voitures consommant 4 L/100km. Dans le cas du report modal, ne pas proposer de valeurs pour le potentiel de report par distance, par mode et par tissu – valeur qui sera nécessairement discutable – revient à autoriser les ménages habitant à la campagne à prendre le métro pour tous leurs trajets de 5km, puisque celui-ci est moins coûteux. Bien entendu, le travail mené au cours de cette thèse ne permet que d'aboutir à des valeurs moyennes, et un travail de prospective sociétale basé sur les modes de vie des ménages est susceptible d'apporter des éléments bien plus robustes sur le plan théorique pour appuyer les valeurs des besoins utilisées en entrée du modèle.

5.1.2 – Evolution de la structure des ménages

La demande globale en service énergétique repose donc sur les demandes unitaires telles que décrites précédemment dans le chapitre 4 ainsi que sur les effectifs des différents segments de demande représentés pour les secteurs résidentiel et transports. La question de l'évolution des effectifs de ménages pour les différents segments décrits dans le secteur résidentiel et dans les transports est éminemment importante et repose sur des considérations de prospective sociétale. Comme le problème a déjà été évoqué, l'un des intérêts d'une classification reposant sur des caractéristiques socio-démographiques repose sur le fait que l'évolution de ces variables peut être renseignée à partir d'études existantes relativement robustes. Tout d'abord on se base sur le scénario central de projection de la population à horizon 2050 de l'INSEE [INSEE Robert-Bobée 2006] et sur le scénario central de projection de ménages à horizon 2030 [INSEE Jacquot 2006] dont on se contente de prolonger les paramètres clés après 2030. Par exemple on ne considère pas de poursuite de la baisse de la taille moyenne des ménages, celle-ci reste constante et égale à 2 après 2030. Ces deux études permettent

d'obtenir l'évolution de la population en ménage par type de ménage ainsi que la taille de ces ménages à partir du nombre d'enfants et du taux de fécondité. La projection démographique permet également d'obtenir l'évolution de la part des moins de 15 ans, des actifs et des inactifs. Concernant le type de logement on fait la même hypothèse que le Centre d'Analyse Stratégique (CAS) et on ne considère pas d'évolution particulière de la structure du neuf : le ratio de maisons individuelles est considéré constant et égal à 57% des logements. En l'absence de données de référence sur les autres évolutions sociétales comme l'accès à la propriété, les mouvements de population dans les différents tissus urbains ou encore l'évolution des inégalités de revenu, on considère la répartition de ces variables comme étant constante dans le temps et on ventile les effectifs de ménages au prorata des effectifs initiaux. Enfin on considère un accès à l'automobile inchangé et une proportion des actifs qui varie de 65% en 2006 à 57% en 2050 d'après l'INSEE. On modifie ensuite les effectifs des ménages de manière à atteindre la composition des scénarios de l'INSEE en fonction des proportions initiales que représentent ces ménages.

5.1.3 – Evolution du prix des énergies

Les prix des énergies constituent une donnée d'entrée du modèle extrêmement importante pour l'évaluation de l'attractivité économique des technologies, mais leur évolution au cours du temps peut être très contrastée suivant les scénarios utilisés. On se base sur les projections basses et hautes de l'exercice World Energy Outlook 2010 (WEO) de l'AIE pour fixer les évolutions des prix après 2010. La projection basse est comprise entre le scénario « 450 » et le scénario « New policies », tandis que la projection haute est comprise entre le scénario « New policies » et le scénario « Current policies », ce qui correspond environ à une croissance annuelle moyenne de 1% et 2% respectivement du prix du baril de pétrole brut sur la totalité de la période 2010-2050⁷⁷. On peut par ailleurs constater que la croissance du prix du gaz naturel est plus élevée que celle du baril de pétrole dans le scénario bas et moins élevée que celle du baril de pétrole dans le scénario haut.

⁷⁷ On considère seulement les taux de croissance correspondant à ces scénarios que l'on applique aux prix 2010 et non les prix de ces scénarios eux-mêmes, ce qui peut expliquer certaines divergences avec les prix fournis par le WEO pour les différentes périodes.

Energie	2010	2020	2030	2040	2050
Pétrole brut (\$09/baril)	76	H:100 L:83	H:111 L:92	H:135 L:101	H:163 L:111
Gaz naturel (\$09/Mbtu)	8,6	H:10,2 L:9,4	H:12 L:10,3	H:14,2 L:11,2	H:16,7 L:12,2
Electricité (€/MWh PCI)	111	H:123 L:113	H:129 L:116	H:135 L:119	H:141 L:122
Bois (€/MWh PCI)	32	H:35 L:33	H:39 L:35	H:44 L:37	H:50 L:39
Essence (€/L)	1,17	H:1,39 L:1,21	H:1,49 L:1,26	H:1,60 L:1,31	H:1,70 L:1,37
Gazole (€/L)	1,02	H:1,26 L:1,06	H:1,38 L:1,12	H:1,50 L:1,17	H:1,62 L:1,23

Source: d'après World Energy Outlook 2010

Tableau 5.1 : Scénarios haut (H) et bas (L) de prix des énergies

5.1.4 – Hypothèses complémentaires

Evolution du parc de logements neufs

Concernant l'évolution du parc de logements, on considère que la construction neuve répond à deux besoins : celui des nouveaux ménages et celui du remplacement des logements détruits. La construction neuve est donc tirée par la croissance du nombre de ménages puisque leur nombre passe de 26 millions en 2006 à 34,5 millions en 2050. On peut considérer qu'un volume global de construction de logements neufs de l'ordre de 300000 logements/an constitue une hypothèse raisonnable en ce qui concerne le taux d'emploi de la filière du bâtiment. Cette hypothèse est globalement en ligne avec d'autres études [Syrota et al 2007, Trainel et Maizia 2001]. On fait l'hypothèse d'un taux de démolition des logements existants relativement modeste de l'ordre de 35000 logements en moyenne par an jusqu'en 2035, ce qui est plus faible que les valeurs actuelles qui se situent plus autour de 50000 logements par an [Trainel et Maizia 2001]. Cette hypothèse de démolition relativement modeste s'écarte des scénarios traditionnels qui proposent en général une forte hausse du nombre de logements démolis annuellement. Ce choix se justifie par le fait que les évolutions démographiques relatives au nombre de ménages à horizon 2050 proposées par l'INSEE impliquent déjà une croissance soutenue de la construction neuve si l'on veut parvenir à loger tous ces nouveaux

ménages. La démolition correspond au reliquat entre le nombre total de logements neufs construits au maximum par an et le nombre de logements neufs destinés à loger ces nouveaux ménages : l'accroissement du parc. On peut en effet penser qu'un accroissement du nombre de démolitions viendrait probablement créer une tension supplémentaire sur la filière du bâtiment dans la construction neuve. Ce taux moyen croît ensuite entre 2035 et 2050 pour atteindre des valeurs proches de celles des autres études.

Contrainte sur la filière de rénovation du bâtiment

L'amélioration énergétique du bâtiment grâce aux technologies d'isolation permet un gain annuel en énergie utile valable pendant la totalité de la durée de vie de ces technologies. Cette durée de vie étant longue, à l'échelle de la période de temps considérée dans cet exercice de modélisation, sa rentabilité se traduira par une adoption immédiate de cette technologie en cas de rentabilité et de disponibilité des ressources en capital. De la même manière que pour les logements neufs, le rythme de rénovation annuel est conditionné par la disponibilité de la filière du bâtiment dans la rénovation du parc de logements. Afin de rendre plus crédible ce rythme de mise en œuvre des travaux, on considère une contrainte sur le nombre de gestes d'isolation annuels admissible [OPEN 2006] : isolation des toitures, isolation des murs et pose d'ouvrants.

Disponibilité des biocarburants

Le recours à la biomasse pour une production de biocarburants de 1^{ère} et de 2^{nde} génération constitue une solution intéressante susceptible de contribuer à la réduction des émissions de CO₂ du secteur transports. Néanmoins l'estimation du potentiel des différentes ressources de biomasse accessible sans entrer en compétition avec les aspects alimentaires pose une première limite haute. Ensuite la compétition entre les différents usages énergétiques de la biomasse pose une seconde limite sur le volume de production dédié aux biocarburants. On se base sur les résultats obtenus dans le cadre du projet Valerbio [Assoumou et Guérassimoff 2010] pour estimer le volume global de biocarburants produits. Puis l'on se réfère aux travaux d'Assoumou et alii [2007] pour étudier la part de ces biocarburants qui sont alloués à l'usage du transport de passagers spécifiquement. Ce volume passe ainsi de 2Mtep en 2020 à 3Mtep en 2050.

Evolution des émissions du mix électrique

Le modèle présenté ici ne prend en compte que l'aspect portant sur la demande d'énergie, les émissions du secteur électrique sont donc exogènes au modèle. On se base sur les prévisions du bilan prévisionnel de RTE [2009] à l'horizon 2025. Le facteur d'émission passe alors de 63gCO₂/kWh en 2006 à 40gCO₂/kWh en 2025. On se contente de prolonger cette valeur à l'horizon 2050.

Toutes les hypothèses présentées ici sont évidemment aisément modifiables si l'on s'intéresse à la sensibilité des résultats obtenus à l'égard de l'un ou l'autre des paramètres. Néanmoins il n'est pas possible de tester toutes les combinaisons de scénarios et toutes les variantes de ces hypothèses sous peine de se retrouver avec un ensemble de courbes inextricable dont il est difficile de tirer une valeur ajoutée. Cela explique donc que le choix des hypothèses retenues dans le scénario de référence, puisqu'elles n'ont pas vocation à être toutes testées dans le cadre de ce travail, se basent sur des sources officielles qui font relativement consensus.

5.2 – Résultats du scénario de référence

5.2.1 – Les parcs de technologies

On considère dans un premier temps une hypothèse de prix haute des énergies fossiles. La figure 5.1 présente l'évolution du parc de systèmes de chauffage pour l'ensemble des bâtiments existants et des logements neufs.

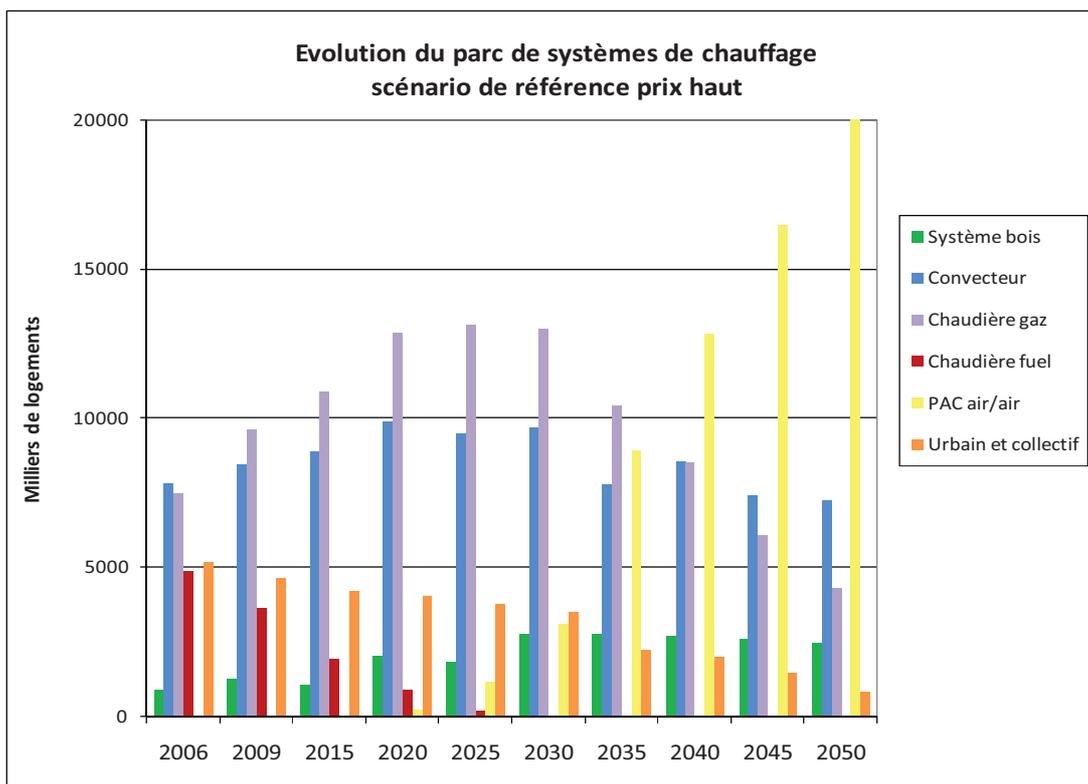


Figure 5.1 : Evolution du parc de systèmes de chauffage

L'impact d'un prix élevé des énergies fossiles se traduit tout d'abord par l'abandon des chaudières au fuel au profit d'un développement des chaudières à gaz. Puis l'effet combiné d'une baisse de prix des pompes à chaleur air/air et d'une poursuite de l'augmentation du prix des énergies fossiles permet un fort développement de ces pompes à chaleurs au détriment d'une forte baisse des chaudières gaz.

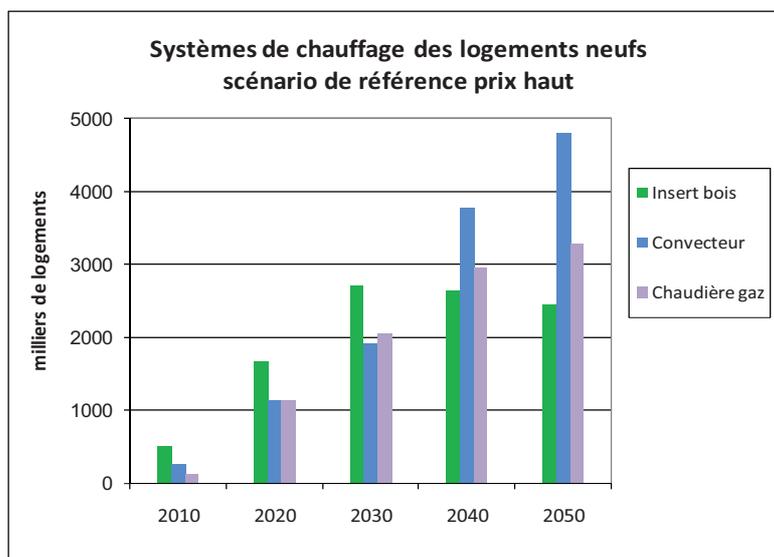


Figure 5.2 : Systèmes de chauffage des bâtiments neufs

Dans le neuf, le niveau de performance thermique est très élevé, ce qui a pour effet d’orienter les ménages vers des technologies très peu intensives en capital : de simples convecteurs ou des inserts bois permettent ainsi de répondre aux besoins de chauffage à moindre coût, tandis que des chaudières à gaz se diffusent également dans les logements de surface importante.

Concernant l’isolation des logements existants, on constate que la contrainte de disponibilité de la filière conjuguée à la contrainte de disponibilité du capital provoque un échelonnement des investissements dans les travaux de rénovation, comme le montre la figure 5.3. Cette isolation concerne environ 7 millions de logements et a pour effet de fortement réduire la demande initiale de service énergétique. Cette réduction empêche ainsi les technologies efficaces mais intensives en capital, comme les pompes à chaleur haute-température ou les chaudières bois, de se diffuser dans les logements existants.

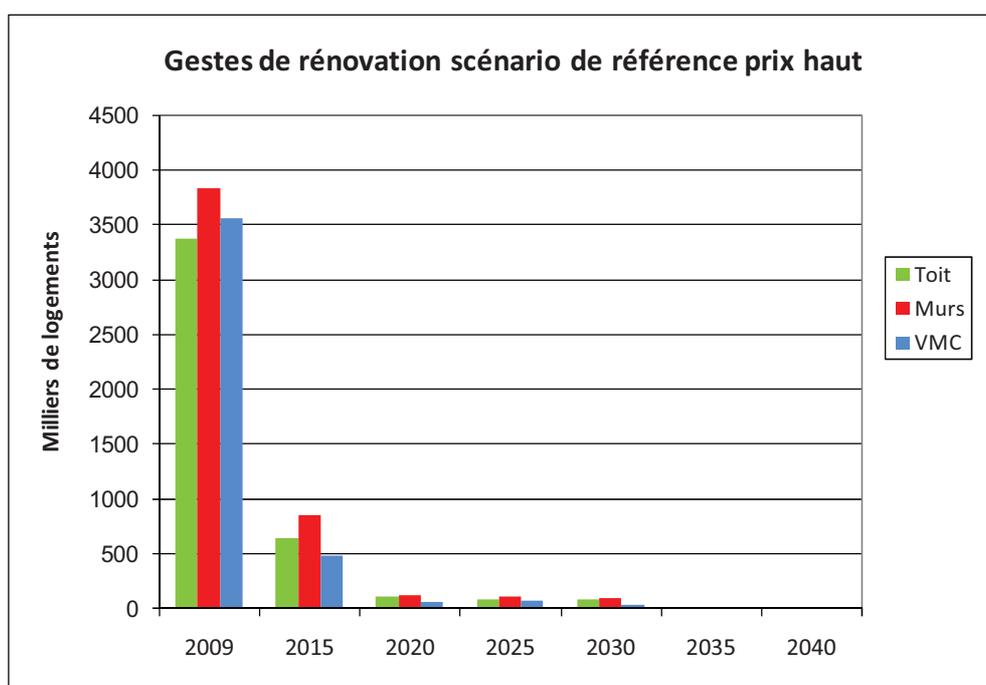


Figure 5.3 : Nombre de gestes de rénovation

En ce qui concerne les usages d’eau chaude sanitaire et de cuisson, ceux-ci sont majoritairement dominés par les technologies électriques. Tandis que pour les autres usages relatifs à l’électricité spécifique, la baisse des consommations unitaires des appareils efficaces permet de compenser en partie l’augmentation de la consommation liée à l’accroissement de la population.

Dans le cas du secteur des transports l'impact d'une forte hausse des prix des énergies fossiles a l'effet inverse sur le développement des technologies au gaz. En effet, on constate qu'une part importante de véhicules au GNV se diffuse au détriment des véhicules thermiques. Tandis que le véhicule hybride rechargeable (VHR) se développe de manière substantielle à partir de 2030 pour atteindre un tiers du parc de VP en 2050. Ce développement se fait au détriment du GNV et du véhicule thermique dont on observe une stabilisation à partir de 2035⁷⁸, comme le montre la figure 5.4.

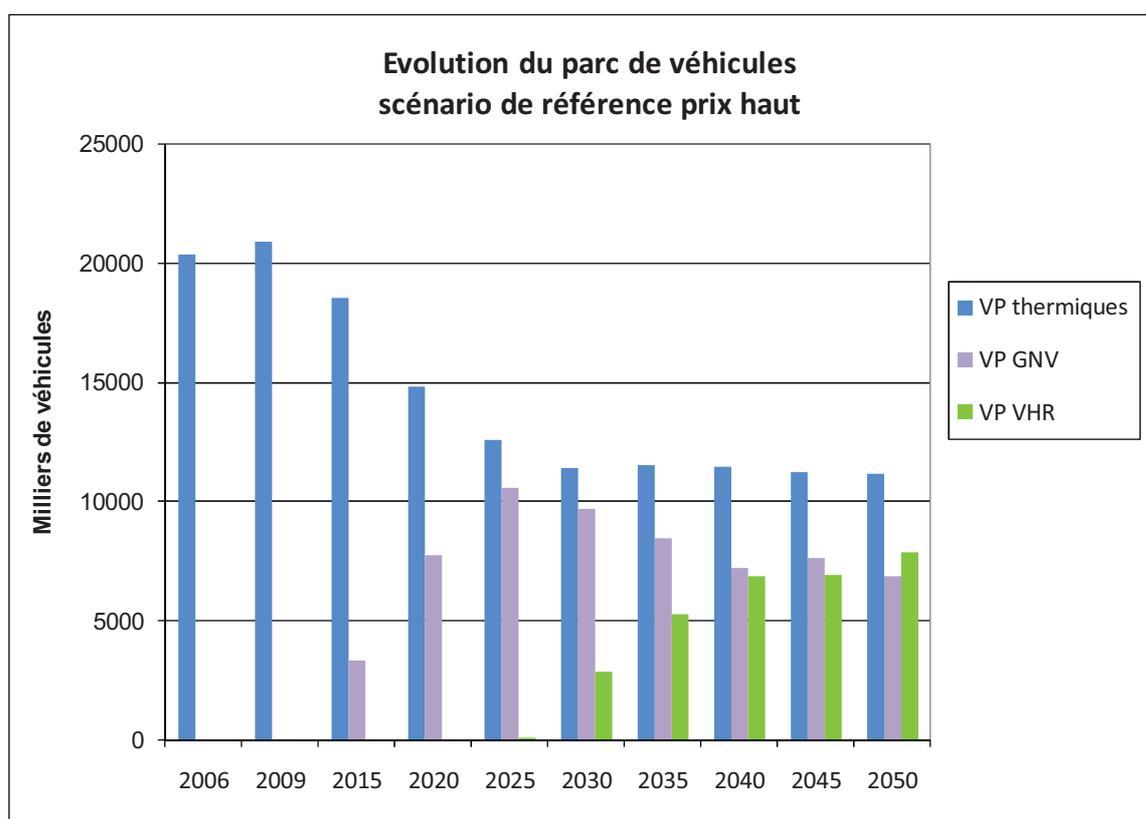


Figure 5.4 : Evolution du parc de voitures particulières

Concernant le recours aux transports en commun, on assiste à une augmentation de la part modale aussi bien pour les déplacements locaux que pour la longue-distance comme le montre la figure 5.5⁷⁹. On constate une progression de la part des transports en commun dans la mobilité totale de l'ordre de 5%. Cette augmentation trouve son origine dans deux phénomènes : d'une part les évolutions démographiques conduisent à une baisse du taux

⁷⁸ On observe une stabilisation en nombre, mais le nombre de ménages augmentant, cela correspond en réalité à une baisse de la part de marché.

⁷⁹ Les parts de marché initiales ne correspondent pas tout à fait aux part de marché présentées dans le chapitre 3 en raison d'effets de modèles qui autorisent ou non l'utilisation des modes de transports pour les différentes longueurs de trajet.

d'accès à l'automobile, celui-ci passe de 78% à 75% en 2050, d'autre part on assiste à un léger report modal de l'automobile vers les transports en commun.

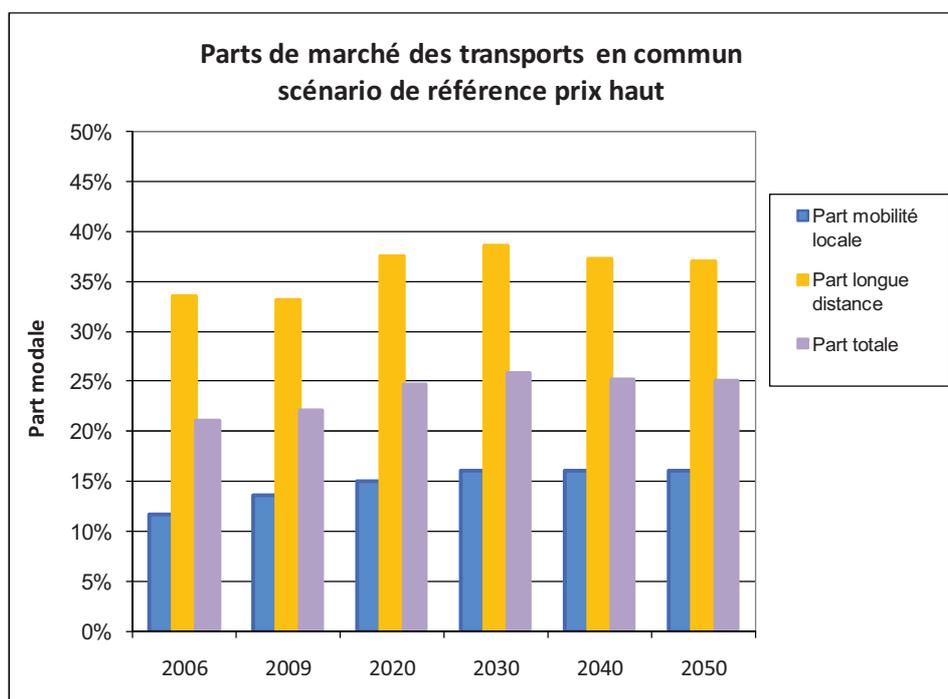


Figure 5.5 : Parts de marché des transports en commun dans le scénario de référence

5.2.2 – Consommation d'énergie

La consommation d'énergie dépend logiquement des choix technologiques qui ont été effectués, les figures 5.6, 5.7 et 5.8 montrent l'évolution de la consommation d'énergie pour les deux secteurs séparément et ensemble. Ainsi, on observe par exemple une évolution de la consommation de gaz corrélée au déploiement des chaudières gaz pour le chauffage, au déploiement des véhicules au gaz naturel pour les transports.

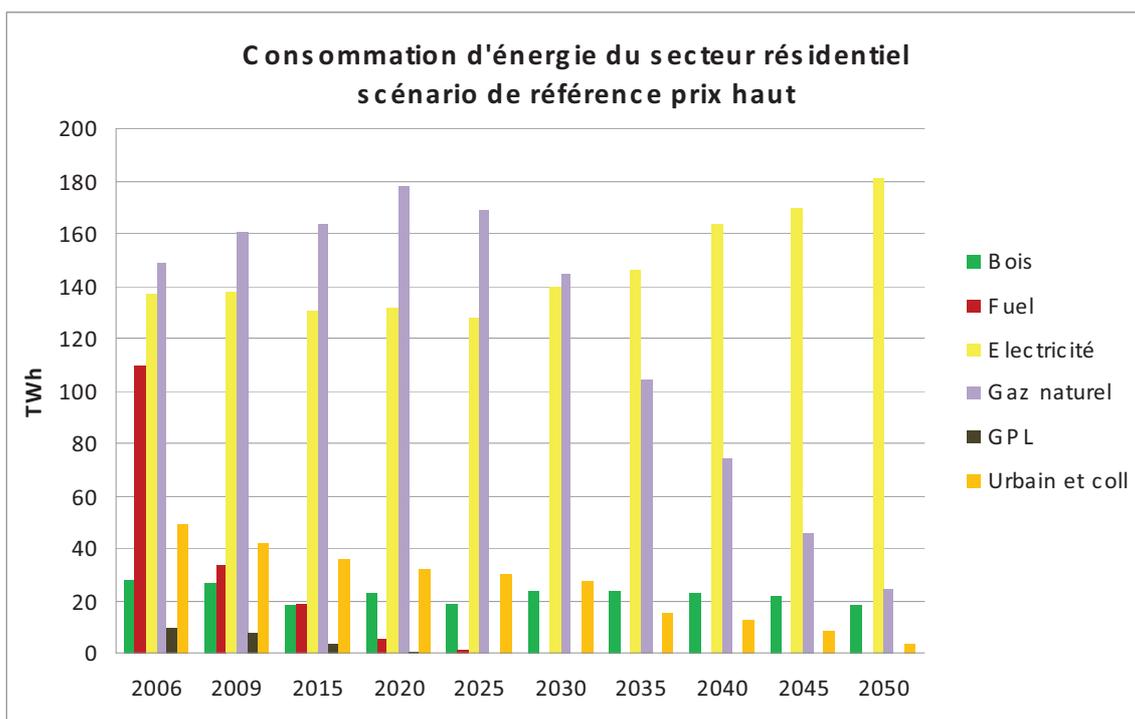


Figure 5.6 : Consommation d'énergie dans le secteur résidentiel

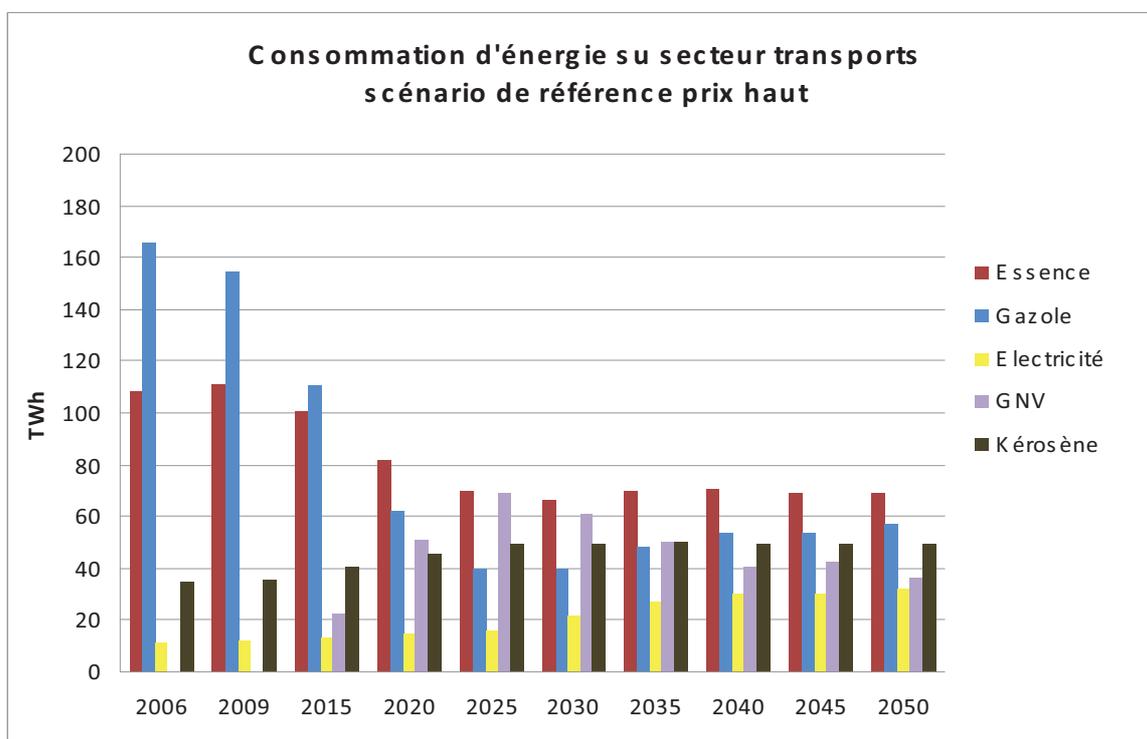


Figure 5.7 : Consommation d'énergie dans le secteur des transports

Les évolutions contrastées entre la consommation d'essence et de gazole proviennent de l'orientation des ménages vers de petits véhicules, ceux-ci étant plus le plus souvent des

véhicules à essence. En effet, la gamme de véhicule est guidée par la taille des ménages, comme expliqué dans le chapitre 4, permettant ainsi une ré-orientation des ménages de petite taille vers des véhicules de petite taille faiblement consommateurs.

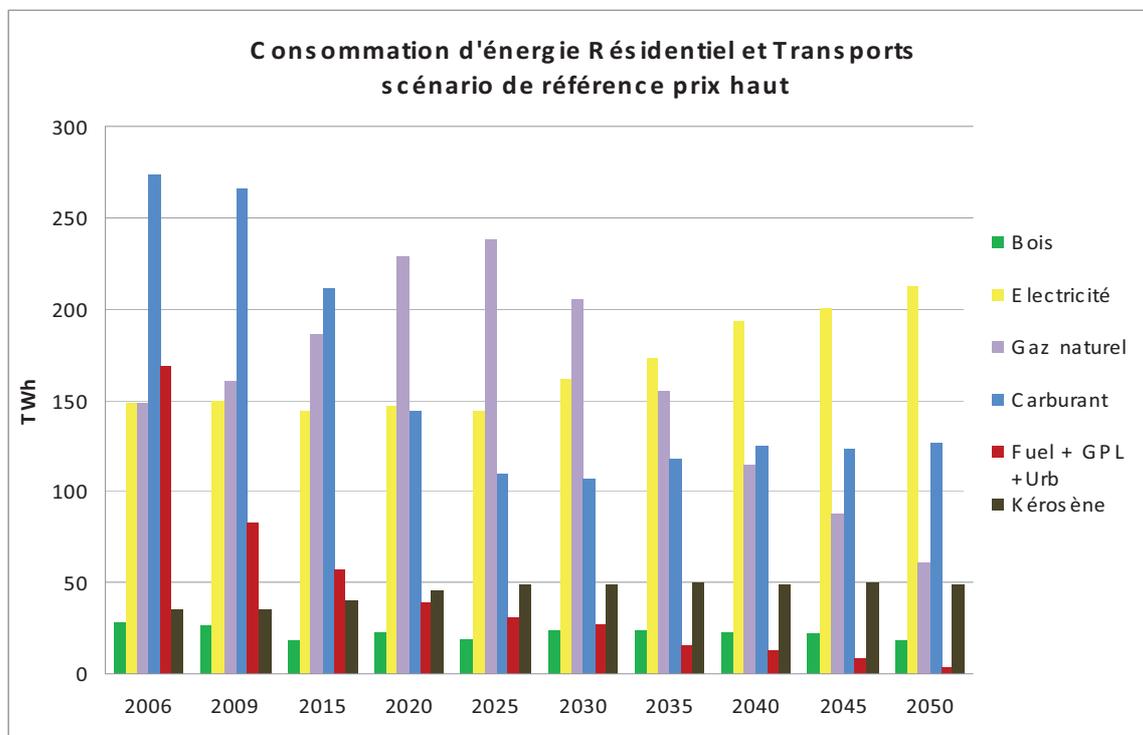


Figure 5.8 : Evolution de la consommation d'énergie des ménages

On constate globalement une division par deux de la consommation de carburants à l'horizon 2050. Le gaz connaît une croissance de sa consommation au profit des produits pétroliers, atteignant presque 250 TWh, soit 60% d'augmentation. Ensuite cette consommation de gaz connaît une forte décroissance, au profit de l'électricité principalement, et ne compte plus que pour 60 TWh. La consommation d'électricité quant à elle croît régulièrement pour atteindre +40% de consommation en 2050 soit une augmentation de 60 TWh.

5.2.3 – Un modèle robuste à des scénarios de prix contrastés

On a pu constater que plusieurs technologies différentes se diffusaient parallèlement au sein des différents ménages, grâce notamment à l'effort de désagrégation de la demande. On peut néanmoins s'interroger sur l'impact d'un scénario de prix des énergies contrasté sur ces résultats. Les figures 5.9 et 5.10 montrent l'impact de cette différence de prix des énergies sur

la nature des technologies qui composent les parcs de systèmes de chauffage et de véhicules particuliers.

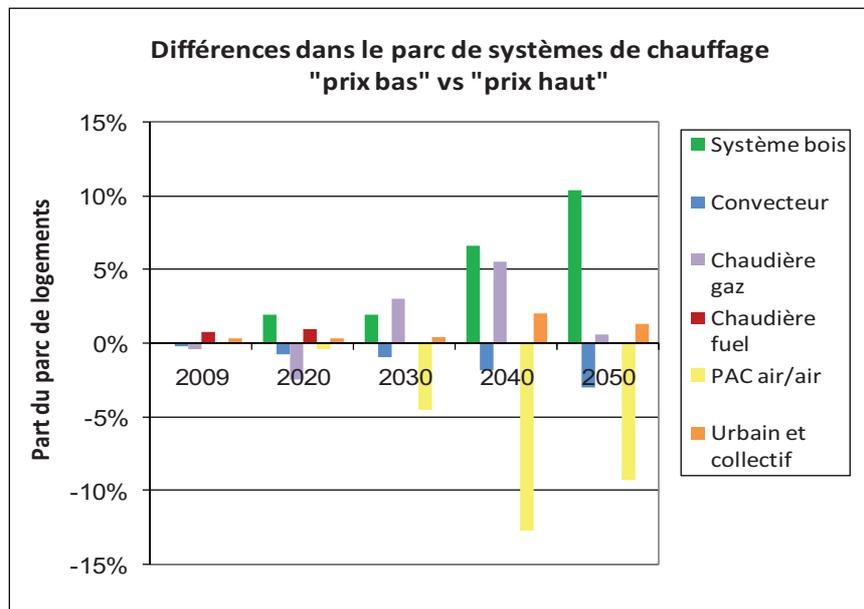


Figure 5.9 : Impact du prix des énergies fossiles sur le parc de systèmes de chauffage

On note dans le scénario de prix bas des énergies fossiles une poursuite plus longue de la diffusion des chaudières à gaz dans le résidentiel et une diffusion accrue des systèmes de chauffage bois ainsi qu'une absence totale de véhicules au gaz naturel dans les transports.

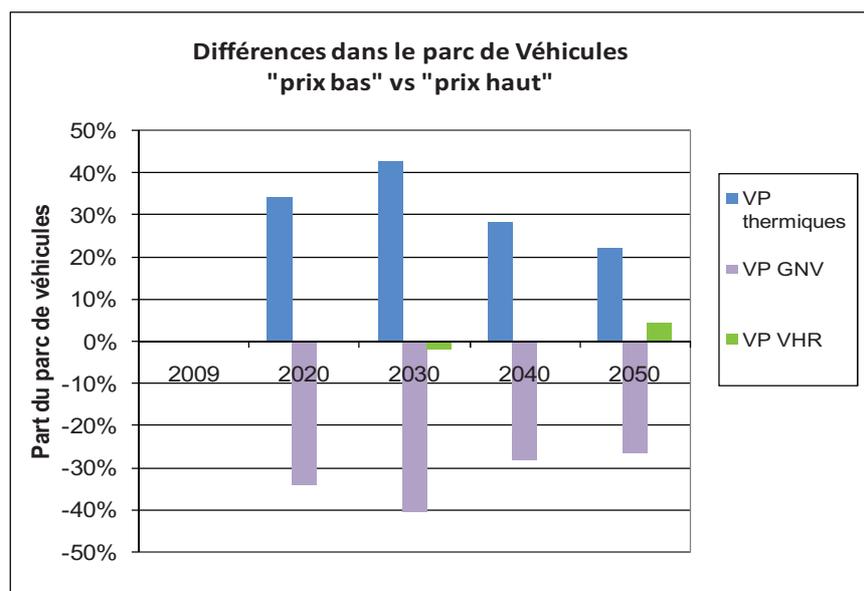


Figure 5.10 : Impact du prix des énergies fossiles sur le parc de véhicules

On constate par ailleurs une baisse de 700 000 gestes d'isolation dans le cas de prix plus bas des énergies fossiles. Cette différence relativement faible s'explique par le fait que le capital disponible et la main d'œuvre est limité.

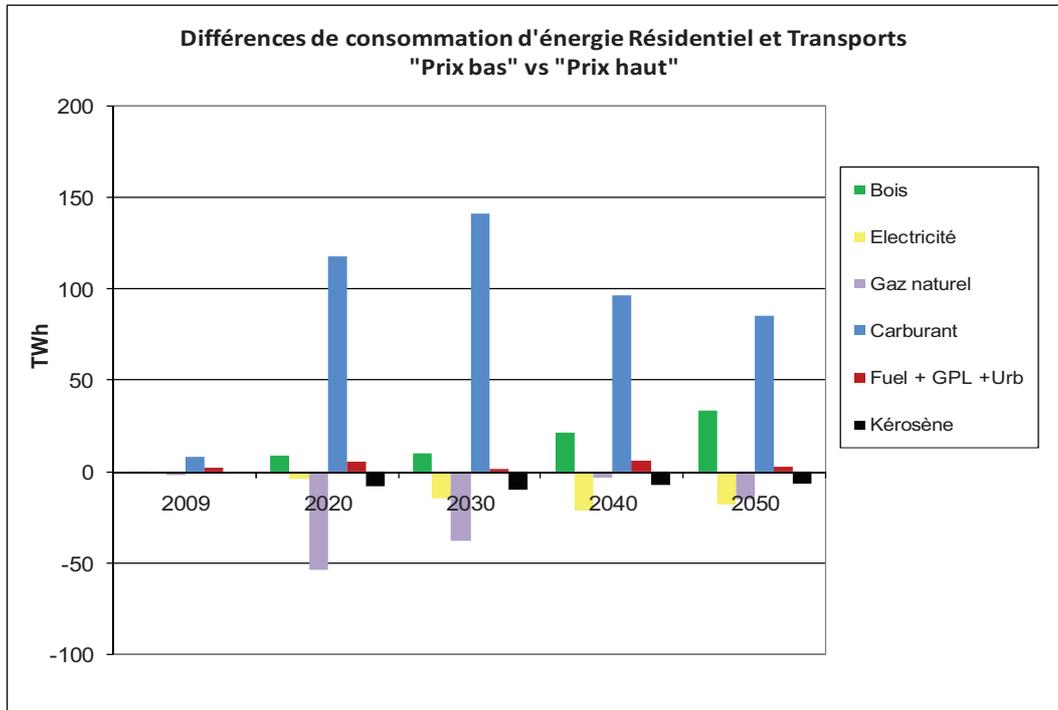


Figure 5.11 : Différences de consommation d'énergie entre deux scénarios de prix

Plusieurs conclusions peuvent être tirées d'une telle comparaison entre les deux scénarios de prix. Tout d'abord, les secteurs résidentiel et transports réagissent de manière opposée du point de vue du gaz. Lorsque les prix sont élevés, cela profite au gaz dans le secteur des transports avec l'apparition du GNV mais joue fortement en sa défaveur dans le secteur résidentiel, surtout après 2030 où la PAC air/air prend alors le relai des chaudières gaz. Il est intéressant de constater de ce point de vue que ces deux effets se compensent en partie puisque l'on constate une différence moyenne d'environ 25 TWh de consommation de gaz sur l'ensemble de la période, pour une différence maximum de 50 TWh en 2025.

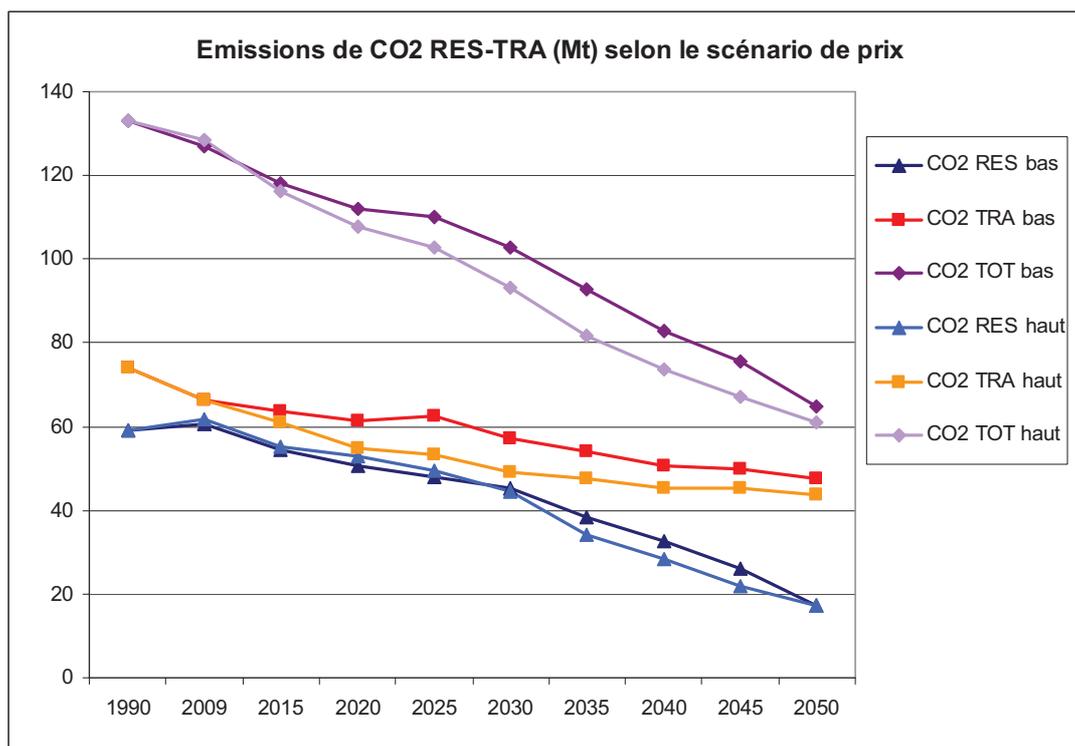
Ensuite, la consommation d'électricité semble relativement robuste au prix des énergies puisque l'on constate une différence de 15 TWh entre les deux scénarios. Cela peut paraître important du point de vue des moyens de production ou du réseau électrique, mais relativement faible aux vues de la fourchette de prix explorée. Cela s'explique par le fait que les technologies électriques efficaces (PAC et VHR) ont à la fois un prix d'achat relativement important pour un coût de fonctionnement relativement faible et peu sensible aux prix des

énergies fossiles. Leur diffusion est donc plus dépendante d'une part des hypothèses de baisse de prix de ces technologies au cours du temps, qui ont lieu grâce à l'apprentissage technologique, et d'autre part des taux de rentabilité exigée par les ménages.

Enfin, on constate un impact du prix des énergies qui se traduit par une variation maximale de 40% dans la nature du parc automobile conduisant à une très forte différence, de l'ordre de 150 TWh, dans le volume de carburants consommés à l'horizon 2025-2030. Cependant, à l'horizon 2050 alors que les différences de prix relatives sont encore plus importantes, l'ordre de grandeur de cette variation dans la nature des parcs et dans le volume d'énergie consommé est moindre. On peut même constater qu'à l'échelle de la période de modélisation, l'écart entre les deux scénarios de prix conduit à des variations correspondant à 7% du parc pour les systèmes de chauffage et 26% du parc pour les véhicules particuliers. Tandis qu'au niveau des consommations d'énergie, on observe une différence moyenne de l'ordre de 11% en volume et de 15% sur les parts de marché des énergies consommées. On peut donc constater que, globalement, cette désagrégation de la demande d'énergie en segments de ménages apporte une certaine robustesse aux résultats de modélisation obtenus puisque les variations observées dans le parc et dans la consommation d'énergie sont du même ordre de grandeur que les variations de prix entre les deux scénarios.

5.2.4 – Des émissions de CO₂ en forte baisse tendancielle

La figure 5.12 montre l'évolution des émissions de CO₂ dans le résidentiel, dans les transports et au global pour les deux scénarios de prix.



RES : résidentiel, TRA : transports, TOT : résidentiel + transports, haut : scénario « référence » prix haut, bas : scénario « référence » prix bas

Figure 5.12 : Emissions de CO₂ du scénario de référence

On constate immédiatement que le secteur résidentiel connaît une forte baisse puisque l'on parvient à une réduction de 70% en 2050 par rapport au niveau de 1990. En revanche le secteur des transports connaît une résistance à la baisse de ses émissions puisque l'on ne parvient qu'à une réduction de 35 à 40%. Il est également intéressant de constater que la réduction des émissions de CO₂ paraît assez peu sensible au prix des énergies fossiles dans la plage de variation balayée. Cela laisse ainsi présager de la nécessité d'une action politique forte et ciblée, en particulier dans le secteur des transports.

5.2.5 – Impact sur le budget des ménages

Il est ensuite intéressant de se pencher sur ce qu'implique un tel développement technologique sur le montant investi par les ménages dans les nouvelles technologies et surtout sur l'évolution de la part budgétaire liée à l'énergie. La figure 5.13 montre l'évolution de la part que représentent les dépenses de capital et les dépenses énergétiques⁸⁰ pour les

⁸⁰ Celles-ci incluent les dépenses énergétiques et les abonnements pour le logement ainsi que les dépenses de carburant, les abonnements et les titres de transports en commun qui concernent la mobilité locale.

différents clusters de ménages, et ce pour 2010, 2030 et 2050 qui correspondent aux trois barres présentées.

On constate à partir cette figure que la part budgétaire consacrée à l'énergie diminue pour tous les ménages à l'horizon 2050. La part budgétaire moyenne passe en effet de 10% à 8,7% du revenu, et la part des ménages consacrant plus de 10% et plus de 15% de leur revenu à l'énergie passent respectivement de 39% à 13% et de 8% à 5% des ménages français.

Si les dépenses relatives à l'énergie consommée diminuent au cours du temps grâce à la diffusion de technologies efficaces, en revanche les dépenses d'investissement, elles, sont globalement à la hausse. Il est néanmoins assez difficile de comparer les dépenses de capital entre les différentes périodes puisque celles-ci ne suivent pas une évolution constante au cours du temps en raison de l'existence de cycles d'investissement liés à la durée de vie des équipements. De plus, certains équipements énergétiques pré-existants au cours des premières périodes de modélisation viennent fausser les comparaisons puisque la nécessité d'investir est alors moindre en raison de la durée de vie résiduelle de ces équipements. Si les parts budgétaires relatives aux dépenses de capital et d'énergie varient en sens opposé au cours du temps, on constate qu'en moyenne et sur l'ensemble des ménages, les dépenses de capital représentent environ un tiers des dépenses totales contre deux-tiers pour les dépenses d'énergie.

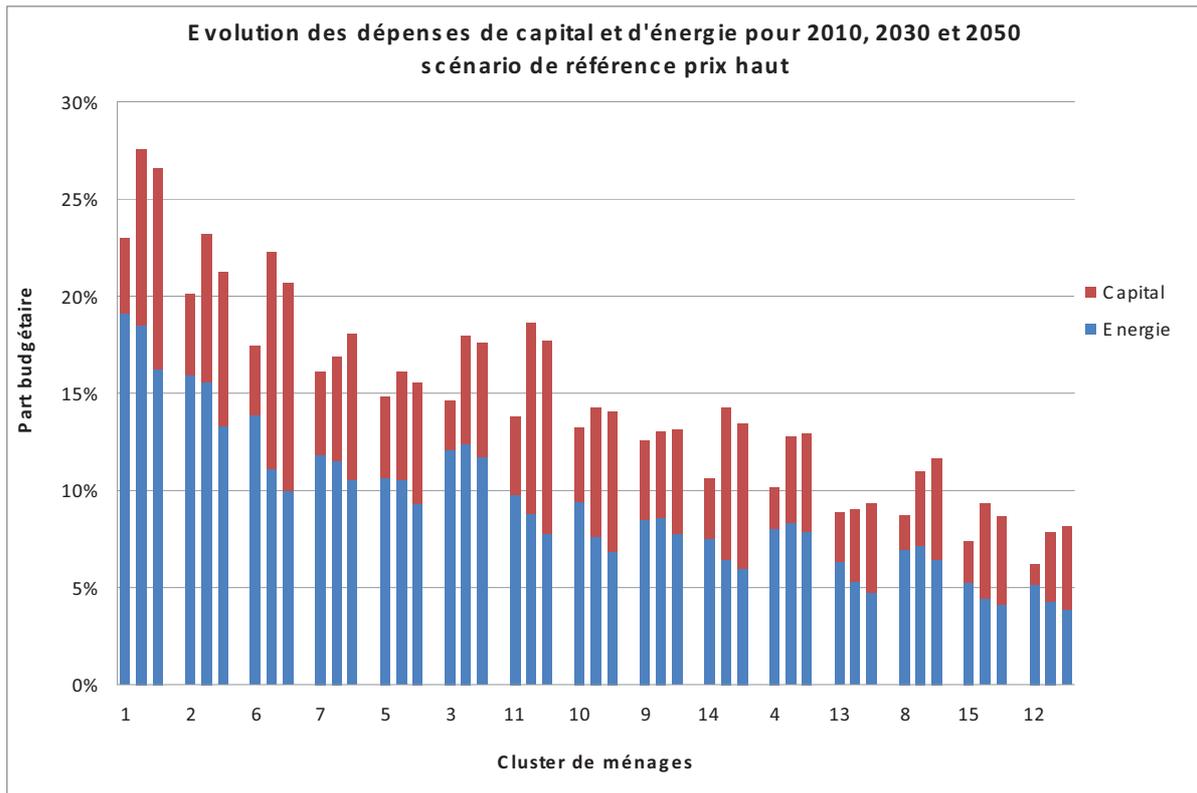


Figure 5.13 : Evolution des dépenses de capital et d'énergie des ménages français

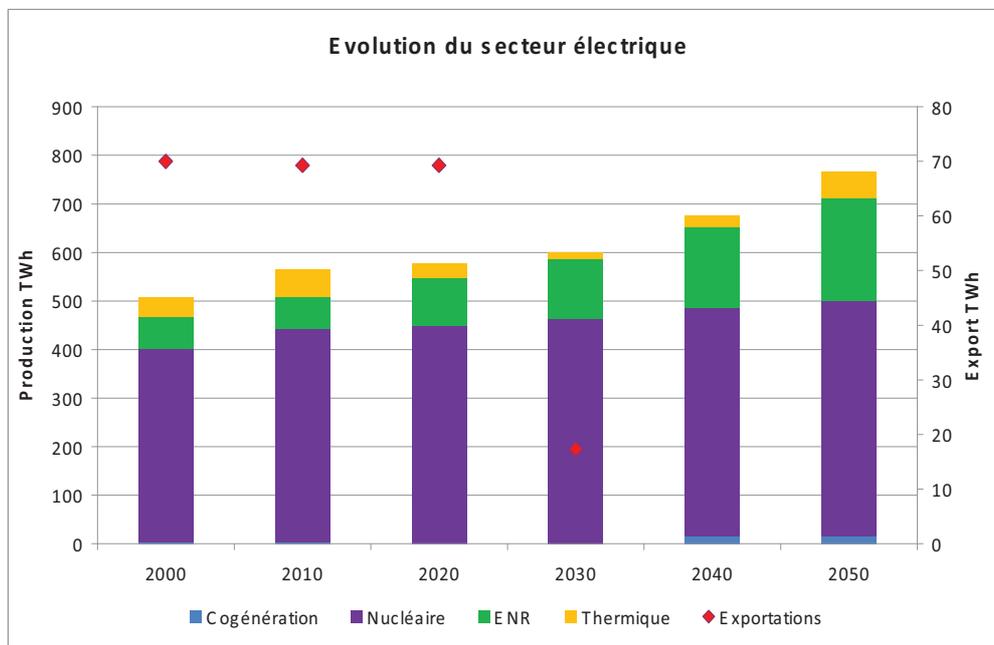
Le déploiement de technologies efficaces, représente certes un coût important au moment de l'investissement, mais permet de réduire durablement la pression liée aux dépenses énergétiques sur le budget des ménages, et en particulier de réduire la précarité énergétique. On peut cependant s'interroger sur l'impact d'un relâchement de la contrainte énergétique de cette espèce sur le niveau de confort des ménages les plus défavorisés. En effet, le chapitre 3 a permis de montrer que les conséquences d'une part budgétaire très forte consistaient en une restriction pour les ménages de leur consommation d'énergie. On peut donc imaginer que cette diminution de la dépense énergétique se traduira par un effet-rebond auprès des ménages dont le niveau de confort est insaturé. Si l'on considère que la relation entre part budgétaire et facteur de service de chauffage, telle qu'exposée au chapitre 3, est constante dans le temps alors on peut évaluer l'effet rebond de chauffage consécutif à la baisse « théorique » de la part budgétaire de chauffage. Cet effet rebond varie en fonction des ménages de 0% pour les ménages dont le confort est saturé à 40-50% pour certains ménages contraints, on obtient ainsi un effet-rebond théorique moyen de 19% pour le chauffage sur l'ensemble des ménages, ce qui est en ligne avec les valeurs comprises entre 10% et 30% relevées par Greening et al [2000] dans leur revue de littérature.

Ce scénario de référence a permis de montrer, comme on pouvait s'y attendre, que la situation dans le résidentiel et dans les transports était très contrastée. Dans le bâtiment, beaucoup de logements sont rénovés et les technologies efficaces se diffusent. La rénovation permet de réduire très fortement le besoin de chauffage d'une part et les chaudières gaz puis les pompes à chaleur permettent de réduire les émissions liées à la production de chauffage d'autre part. De plus, ces solutions technologiques se diffusent spontanément dans ce scénario, ce qui signifie, dans la mesure où l'on considère les hypothèses de ce scénario comme étant raisonnables, que ces technologies sont considérées comme rentables du point de vue des ménages. En revanche, dans le cas du secteur des transports, le parc de véhicules est encore composé pour deux tiers de véhicules thermiques ou au gaz naturel en 2050. Les émissions du secteur ne baissent ainsi que d'un peu plus d'un tiers en 2050 par rapport à leur niveau de 1990. Ces constats en terme de consommation et d'émissions de CO₂ semblent par ailleurs assez robustes à l'épreuve de scénarios de prix contrastés. Cela signifie qu'un effort substantiel semble donc nécessaire pour pouvoir atteindre un niveau de réduction de type facteur 4.

5.3 – Résultats du scénario « contrainte facteur 4 »

L'étude des résultats du scénario de référence permet de situer l'ampleur des efforts à accomplir afin de pouvoir tenir une trajectoire de réduction des émissions de 75% à l'horizon 2050 à l'échelle de la France. L'objectif du scénario « contrainte facteur 4 » est de localiser les gisements de réduction des émissions les moins coûteux au niveau des ménages et des technologies. Les exercices de modélisation à l'échelle de la France menés par Edi Assoumou au Centre de Mathématiques Appliquées (Mines ParisTech) avec le modèle TIMES-FR fournissent le partage du fardeau optimal en terme d'effort de réduction entre les différents secteurs. Il apparaît alors que les émissions issues de la consommation d'énergie directe des ménages doivent être réduites de 83% par rapport à leur niveau de 1990 afin de tenir l'objectif global. Le scénario de type facteur 4 se décline donc en réalité en un facteur 5 à 6 à l'échelle des ménages. Une telle réduction suppose également que des efforts sont réalisés dans tous les secteurs. Le scénario « contrainte facteur 4 » contient donc certaines hypothèses complémentaires relatives à l'offre d'énergie. Ainsi, le volume de biocarburants incorporés pour les ménages passe de 3Mtep dans le scénario de référence à 4Mtep dans le scénario « contrainte facteur 4 ». Et le facteur d'émission du secteur électrique passe de 40gCO₂/kWh

dans le scénario de référence à $10\text{gCO}_2/\text{kWh}$ ⁸¹ dans le scénario « contrainte facteur 4 » en raison d'une orientation des modes de production d'électricité vers les énergies renouvelables, comme le montre la figure 5.14.



Source : Edi Assoumou

Figure 5.14 : Evolution du secteur électrique dans le scénario Facteur 4

La contrainte sur les émissions est appliquée à l'ensemble des ménages et suppose deux points de passage obligatoires correspondant aux objectifs politiques déclarés du gouvernement français à l'échelle de la France: une réduction de 20% des émissions de CO_2 à l'horizon 2020 ainsi qu'une réduction de 75% des émissions à l'horizon 2050. Afin d'empêcher des scénarios fantaisistes de réduction des émissions qui atteindraient ces deux objectifs de réduction tout en émettant encore très fortement entre ces deux périodes, on contraint le système sur un chemin de réduction des émissions tel que présenté sur la figure 5.15.

⁸¹ Cette valeur est le résultat des simulations effectuées par Edi Assoumou avec le modèle TIMES-FR. Il ne s'agit donc pas d'une hypothèse de travail mais d'un résultat cohérent avec un scénario facteur 4 à l'échelle de la France.

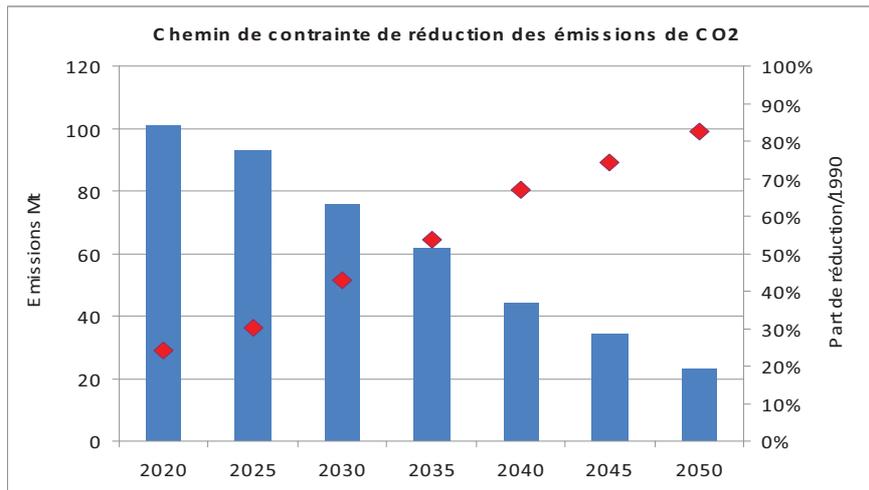


Figure 5.15 : Chemin de réduction des émissions pour le scénario « contrainte facteur 4 »

On s'intéresse dans la suite à l'impact de cette contrainte globale sur les choix technologiques et le budget des ménages notamment, en prenant comme base le scénario de prix hauts présenté précédemment⁸². De plus, afin de considérer les choix technologiques optimaux, on relâche la contrainte de capital qui pesait sur les ménages, ce qui permet de visualiser un éventuel gisement de réduction des émissions rentable mais non pris en compte par les ménages du fait d'un manque de moyens de financement.

5.3.1 – Quels parcs de technologies optimaux pour atteindre le facteur 4 ?

L'application d'une contrainte globale sur les émissions de CO2 étendue à l'ensemble des deux secteurs permet de repérer les technologies les moins coûteuses à mettre en place, mais elle permet surtout de repérer le partage du fardeau optimal entre les usages énergétiques et les différents ménages ainsi que le timing d'investissement optimal.

⁸² Les résultats obtenus en s'appuyant sur le scénario de prix bas ne modifient qu'à la marge les conclusions de l'impact de la contrainte.

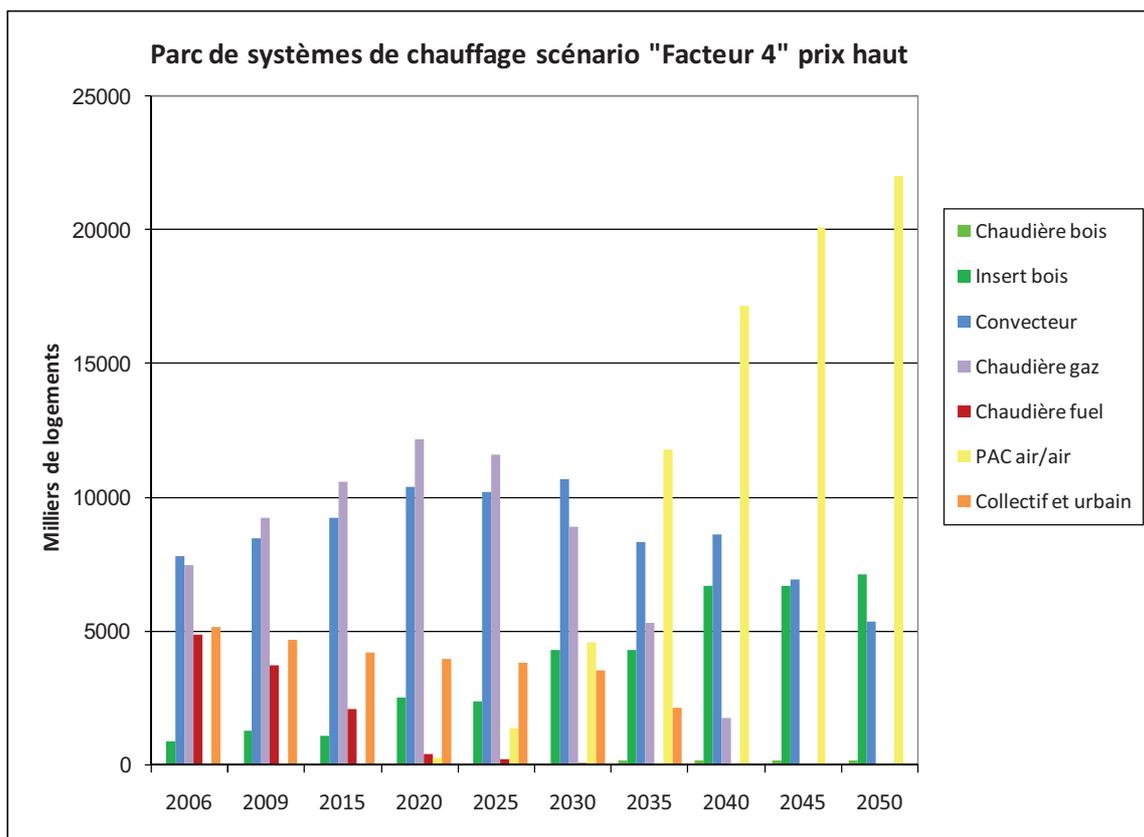


Figure 5.16 : Parc de systèmes de chauffage optimal pour le scénario « contrainte facteur 4 »

Les figures 5.16 et 5.17 présentent l'évolution des parcs de technologies optimaux de systèmes de chauffage et de véhicules personnels pour atteindre le facteur 4. On constate pour le secteur résidentiel une disparition totale des modes de chauffage fossiles après 2040. En effet le chauffage n'est plus assuré que par des pompes à chaleur air/air dans les logements pour lesquels la demande est la plus élevée, c'est à dire les logements de grande taille ou les moins bien isolés, tandis que la demande de chauffage des logements dont la demande est la plus faible se contentent de convecteurs et d'inserts bois. En ce qui concerne les véhicules, on constate une très forte pénétration des véhicules hybrides rechargeables et des véhicules 100% électriques, ceux-ci représentent en effet 53% et 30% du parc de véhicules en 2050.

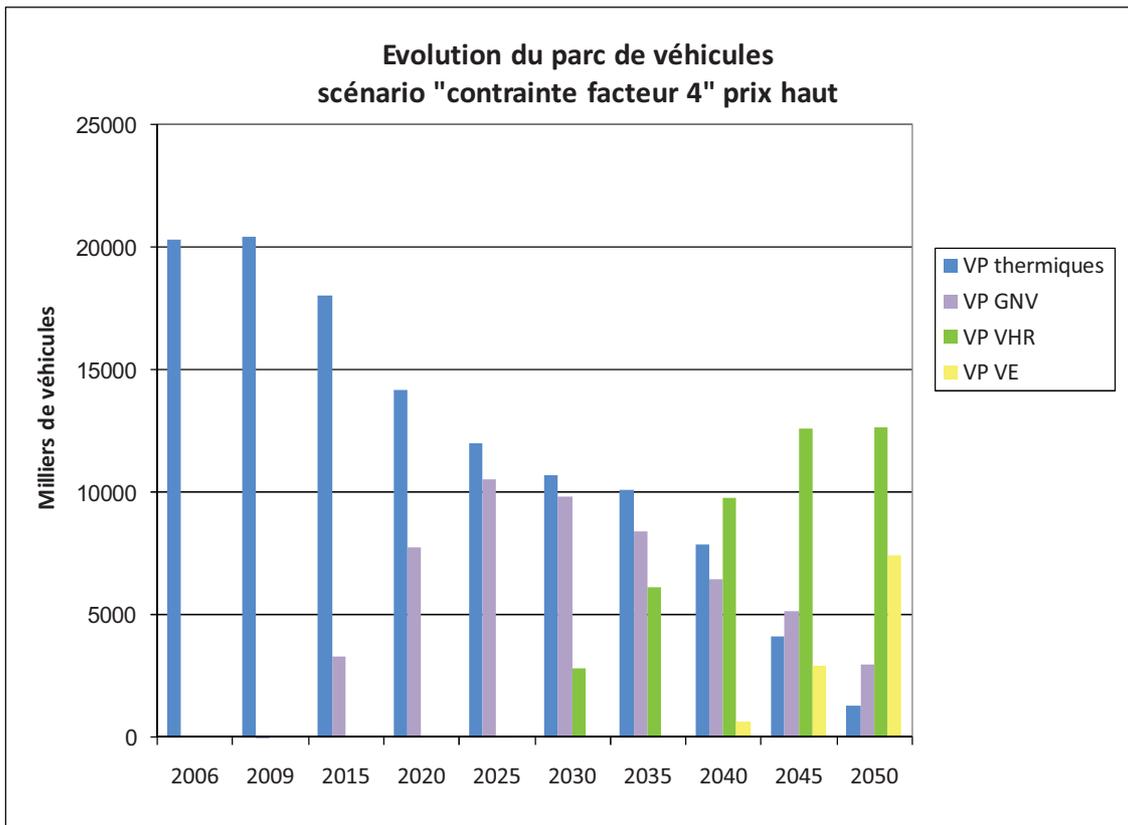


Figure 5.17 : Parc de véhicules optimal pour le scénario « contrainte facteur 4 »:

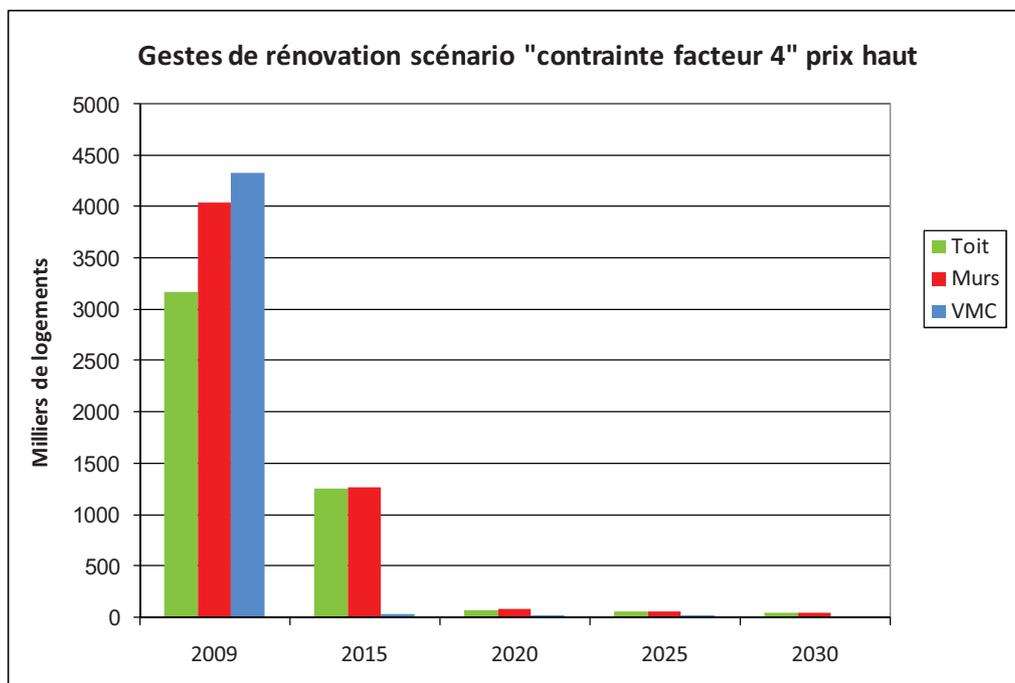


Figure 5.18 : Gestes de rénovation pour le scénario « contrainte facteur 4 »

Le scénario « contrainte facteur 4 » suppose un effort de rénovation supplémentaire d'environ un million de gestes d'isolation par rapport au scénario de référence. Ces gestes

d'isolation sont entrepris dans leur grande majorité auprès des logements des ménages les moins aisés, ce qui souligne l'importance de favoriser l'accès à l'investissement pour ces ménages.

Le recours aux transports en commun de proximité est également accru de 1% par rapport au scénario de référence, mais ce sont les transports en commun permettant de voyager à longue distance qui s'accroissent le plus puisqu'ils enregistrent une hausse de 4% par rapport au scénario de référence. Cette croissance s'explique par la nécessité de répondre aux besoins de longue distance des ménages ayant recours au véhicule électrique, celui-ci ne pouvant circuler sur de trop longs trajets en raison de son autonomie limitée.

En terme de consommation d'énergie, la contrainte sur les émissions implique ainsi une augmentation de la consommation d'électricité de l'ordre de 25 TWh et de la consommation de bois de l'ordre de 40 TWh, tandis que la consommation de gaz naturel et de carburants chute de 50 TWh et 40 TWh respectivement.

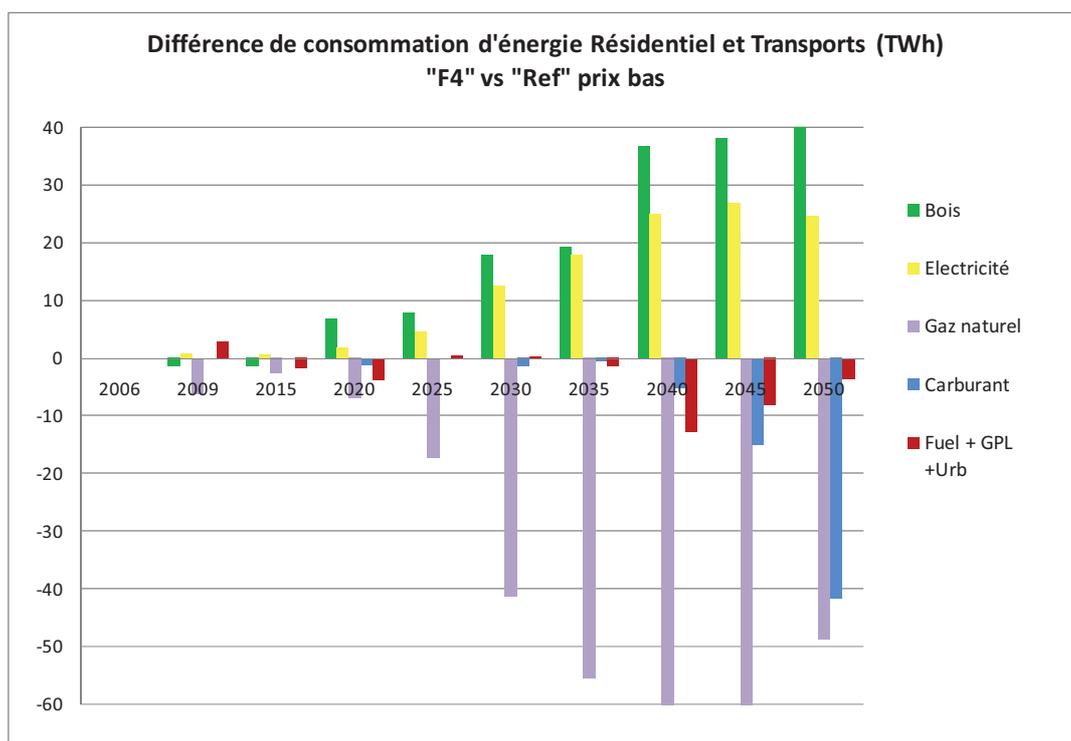


Figure 5.19 : Différences de consommation d'énergie entre le scénario « contrainte facteur 4 » et le scénario de référence

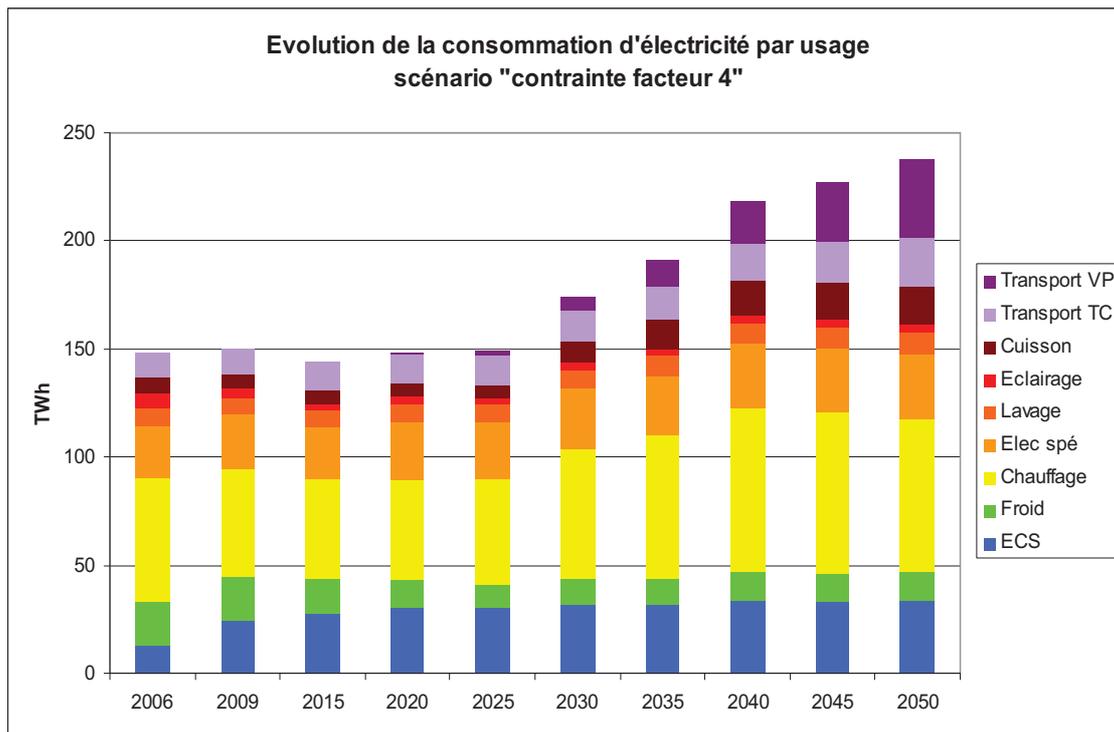


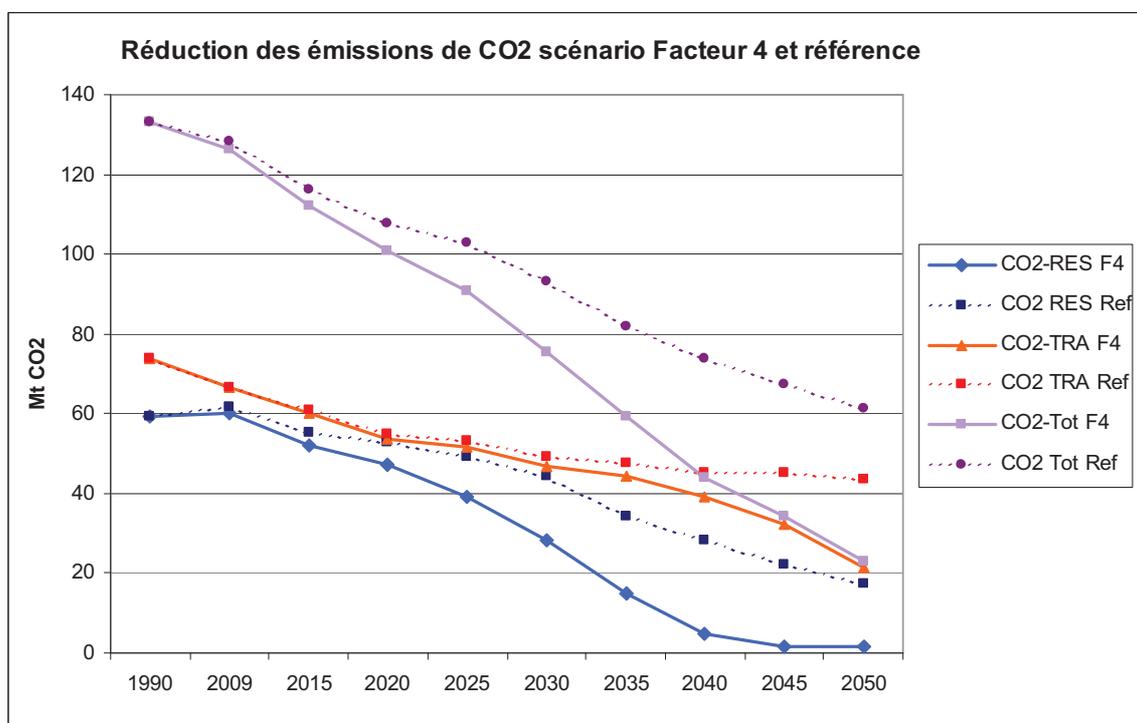
Figure 5.20 : Détail par usage de la consommation d'électricité des ménages

Enfin, la figure 5.20 présente la consommation d'électricité par usage, ce qui permet de repérer les usages responsables de cette augmentation d'électricité, mais surtout de visualiser quelles sont les consommations qui ont lieu en période d'activité, d'inactivité ou en base. Cela permet également de visualiser l'importance cruciale que peut revêtir le choix de la période de recharge des véhicules électriques et des véhicules hybrides rechargeables puisque ces derniers font apparaître une consommation d'électricité de 40 TWh.

5.3.2 – Répartition des efforts de réduction entre les deux secteurs

La figure 5.21 présente l'évolution des émissions de CO₂ des secteurs résidentiel et transports. On constate une asymétrie dans l'effort de réduction des deux secteurs. En effet, les émissions du secteur résidentiel chutent plus vite que dans le scénario de référence à partir de 2015 pour tomber à environ 2 MtCO₂ en 2040, ce qui correspond uniquement aux émissions liées à l'électricité, le secteur résidentiel est alors presque totalement décarboné. L'apparition assez conséquente de bois et l'isolation supplémentaire de bâtiments par rapport au scénario de référence indique un effort consenti pour réduire encore les émissions liées à l'électricité. Dans le secteur des transports on peut constater que le chemin technologique optimal ne diverge du scénario de référence que tardivement. Il consent d'importants efforts de réduction

après 2035 pour atteindre 20 MtCO₂ environ en 2050, et ce grâce à l'introduction massive de véhicules hybrides rechargeables et de véhicules électriques.



RES : résidentiel, TRA : transports, Tot : résidentiel + transports, Ref: scénario « référence », F4 : scénario « contrainte facteur 4 »

Figure 5.21 : Evolution des émissions de CO2 du scénario « contrainte facteur 4 »

Cela signifie d'une part que les efforts à porter concernent en premier lieu le secteur résidentiel, celui-ci peut en effet réduire ses émissions de manière drastique et à moindre prix par rapport au secteur des transports. Ensuite le secteur des transports se doit de consentir des efforts importants à partir de 2035 afin d'atteindre la contrainte globale, celle-ci n'est en effet pas atteignable sans une participation importante de ce secteur. Néanmoins, étant donnée la faible durée de vie des véhicules et la baisse de coût des batteries, composant essentiel aux technologies de transport peu émettrices, il semble optimal sur le plan économique d'attendre d'avoir épuisé les autres gisements de réduction pour réaliser des efforts concernant la diffusion des véhicules électriques et hybrides rechargeables.

L'analyse des résultats du scénario « contrainte facteur 4 » permet de localiser les potentiels de réduction des émissions les moins coûteux et donc de proposer un chemin technologique optimal permettant de guider les différentes solutions politiques à mettre en

place pour réduire les émissions de façon efficace sur le plan économique. En effet une contrainte de réduction globale ne constitue pas en elle-même un outil politique, il s'agit donc à présent d'évaluer l'efficacité économique d'outils politiques concrets comme une taxe carbone ou des aides à l'investissement au regard du timing de réduction par secteur et de la nature des technologies déployées pour chaque type de ménage par rapport à ce scénario optimal.

CHAPITRE 6

Quels outils politiques pour atteindre le facteur 4 ? Et quel impact sur le budget des ménages ?

Les résultats d'une contrainte facteur 4 sur la consommation des ménages permet comme nous l'avons vu de visualiser les gisements de réduction d'émissions de CO₂ les moins coûteux, ainsi que les technologies pour y parvenir. Ce chapitre propose d'évaluer l'impact de la mise en place d'une taxe carbone et de subventions technologiques auprès des ménages, et d'analyser ces outils tant du point de vue de leur aptitude à réduire les émissions que de leurs implications sur le budget des ménages.

6.1 – Effet comparé d'une taxe carbone seule et d'une taxe couplée à des subventions

6.1.1 – Quel profil de taxe adopter pour atteindre le facteur 4 ?

L'analyse des coûts marginaux d'émission d'une tonne de carbone supplémentaire obtenus dans le scénario « contrainte facteur 4 » fournit un ordre de grandeur du profil de taxe à mettre en œuvre pour parvenir à réduire les émissions⁸³. Dans le premier cas on considère une taxe carbone seule, le profil de taxe retenu correspond à la taxe haute présentée dans la figure 6.1. Celle-ci atteint un montant de 100 euros/tCO₂ en 2035 et 900 euros/tCO₂ en 2050.

⁸³ En effet, en l'absence de contraintes sur le comportement d'investissement des ménages dans le scénario « contrainte facteur 4 » il n'est pas possible d'associer directement les coûts marginaux au profil de la taxe.

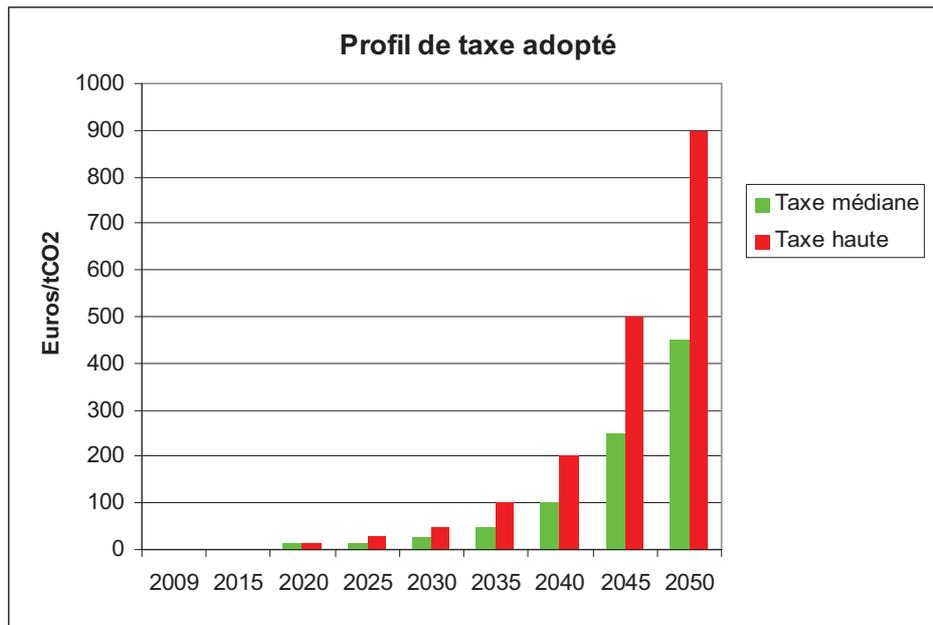


Figure 6.1 : Description des profils de taxe carbone

On considère dans le second cas une taxe carbone médiane dont le montant est deux fois inférieur au montant de la taxe seule, comme présenté sur la figure 6.1. Celle-ci atteint donc un montant de 50 euros/tCO₂ en 2030 et 450 euros/tCO₂ en 2050, ce qui est beaucoup plus proche des montants avancés par diverses études sur le sujet [Quinet 2009, Assoumou et Maïzi 2011]⁸⁴.

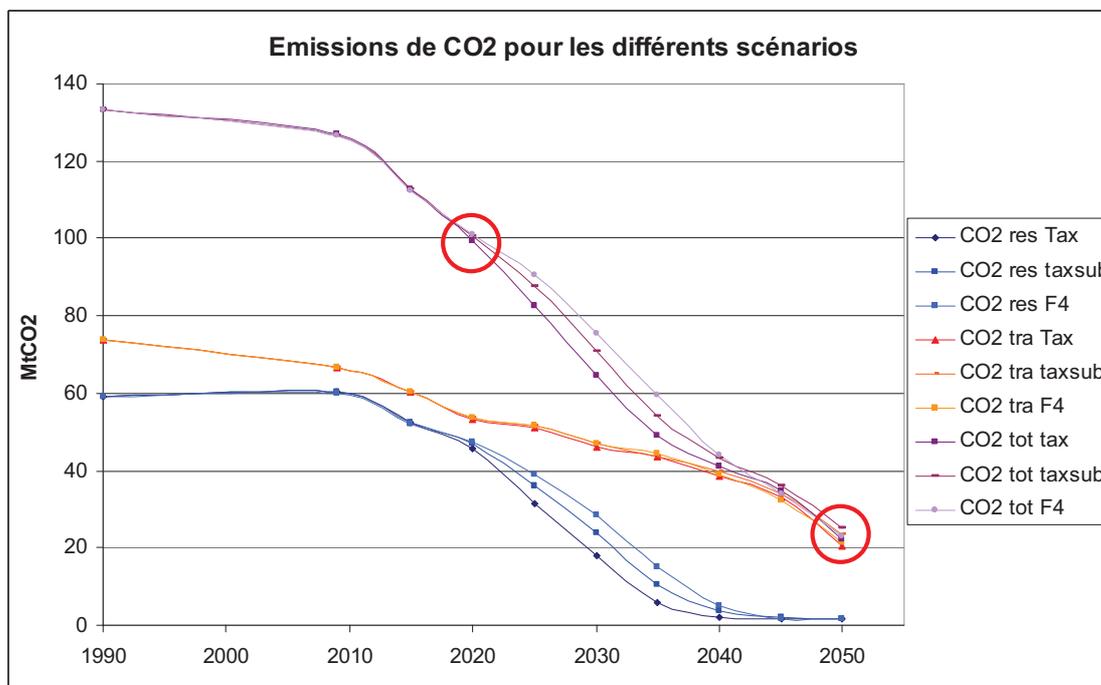
Parallèlement à cette taxe carbone on retient ensuite deux opérations de subventions pour aider à la diffusion des technologies peu émettrices.

Le premier type de subventions ciblées retenu correspond à une aide à l'investissement de 50% du montant des travaux de rénovation pour les ménages du premier quintile de revenu. Cette mesure devrait permettre d'atteindre les opérations de rénovation optimales tout en réduisant la contrainte des ménages les moins aisés. On considère également une subvention de 5000 euros pour l'achat de tout véhicule électrique. Ce second type de subventions ciblées est en ligne avec les déclarations récentes du gouvernement⁸⁵ et semble également en accord avec une aide vers les ménages les moins aisés dans la mesure où ce montant correspond à environ 50% du montant de l'investissement pour des petits véhicules électriques, contre seulement 20 à 35% des véhicules de plus grande taille.

⁸⁴ Il s'agit juste d'un ordre de grandeur puisque bien entendu le montant de la taxe carbone est additionnel et varie nécessairement avec les prix des énergies considérés.

⁸⁵ Le ministre de l'écologie J.L. Borloo annonçait le 1^{er} septembre 2009 la mise en place d'un bonus écologique de 5000 euros aux premiers acquéreurs d'un véhicule électrique.

La mise en place d'une taxe haute ou d'une taxe médiane couplée à des subventions, dans le cadre du scénario de prix haut, permet dans chacun des cas d'atteindre les deux points de passage fixés comme objectifs : la réduction de 20% en 2020 et le facteur 4 en 2050 comme le montre la figure 6.2.



res : résidentiel, tra : transports, tot : résidentiel + transports, Tax : scénario « taxe seule », taxsub : scénario « taxe+subventions », F4 : scénario « contrainte facteur 4 »

Figure 6.2 : Emissions de CO₂ en fonction du scénario de réduction

On peut par ailleurs constater que la réduction du secteur résidentiel se fait de manière anticipée par rapport à la décroissance du scénario « facteur 4 », ce qui laisse penser que le montant de la taxe est inutilement trop élevé entre 2020 et 2035. Et ce particulièrement dans le cas de la taxe haute pour lequel on constate un écart de l'ordre de 10 MtCO₂ en 2030.

6.1.2 – Impact des outils politiques sur le plan des équipements et des consommations

Les figures 6.3, 6.4 et 6.5 présentent le nombre d'opérations de rénovation cumulées du bâtiment, la nature du parc de systèmes de chauffage ainsi que les consommations d'énergie associées en 2050 selon le scénario politique.

On constate une différence notable entre les différents scénarios politiques concernant le nombre de gestes d'isolation entrepris. Le scénario taxe/subventions conduit à un niveau

d'investissement légèrement supérieur⁸⁶ à celui du scénario « facteur 4 » tandis que la taxe seule conduit à un sur-investissement d'environ 1 million de gestes de rénovation du bâti par rapport à ce scénario, et ½ million de VMC installées en moins, comme le montre la figure 6.3. En revanche si le nombre de gestes entrepris est globalement plus important, le nombre de gestes effectués par les ménages les moins aisés est lui inférieur, ce qui traduit une certaine limite de l'efficacité de la taxe à favoriser les investissements.

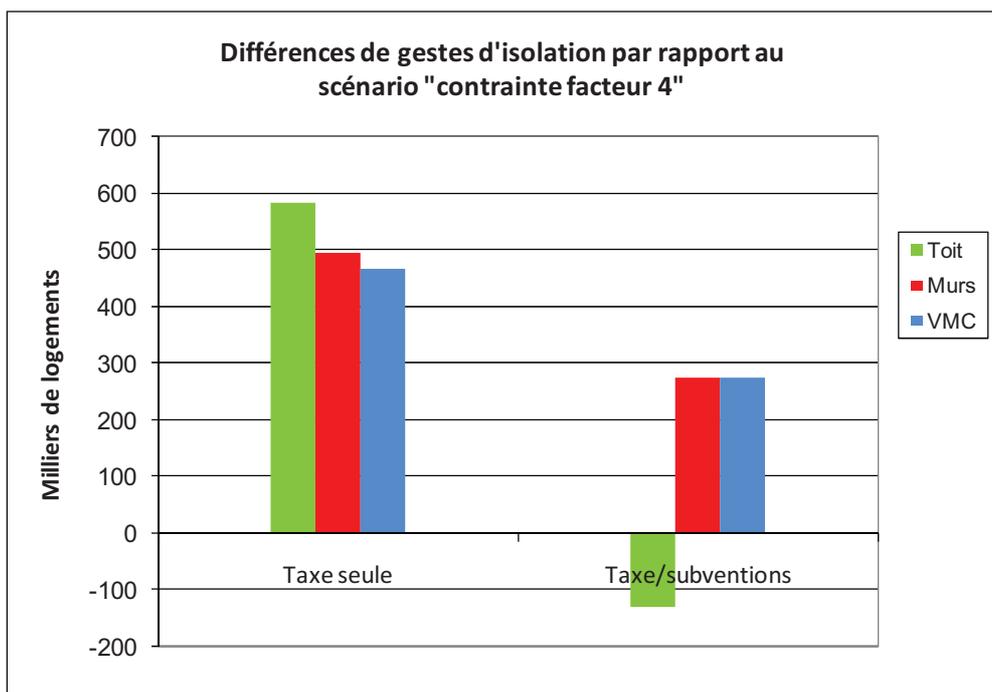


Figure 6.3 : Différences de gestes d'isolation par rapport au scénario « contrainte facteur 4 »

Hormis cette différence relative à la rénovation, on peut globalement constater que les deux scénarios politiques parviennent à un résultat relativement similaire au niveau de la nature des équipements diffusés et de la consommation d'énergie pour le secteur résidentiel.

⁸⁶ Ce scénario compte environ 200 000 logements isolés de plus et 250 000 VMC supplémentaires

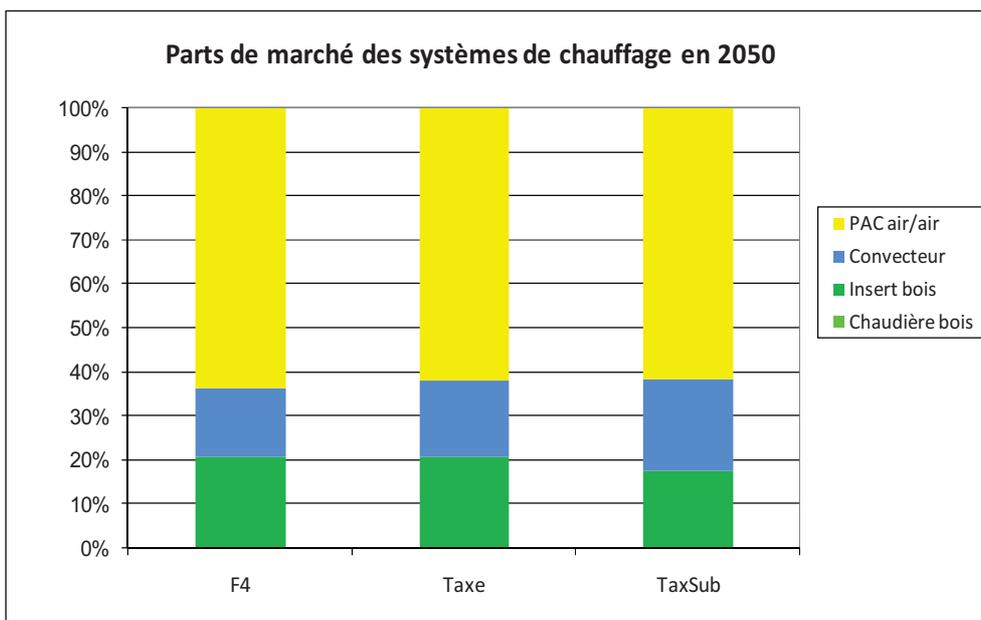


Figure 6.4 : Parts de marché des systèmes de chauffage en 2050 selon le scénario politique

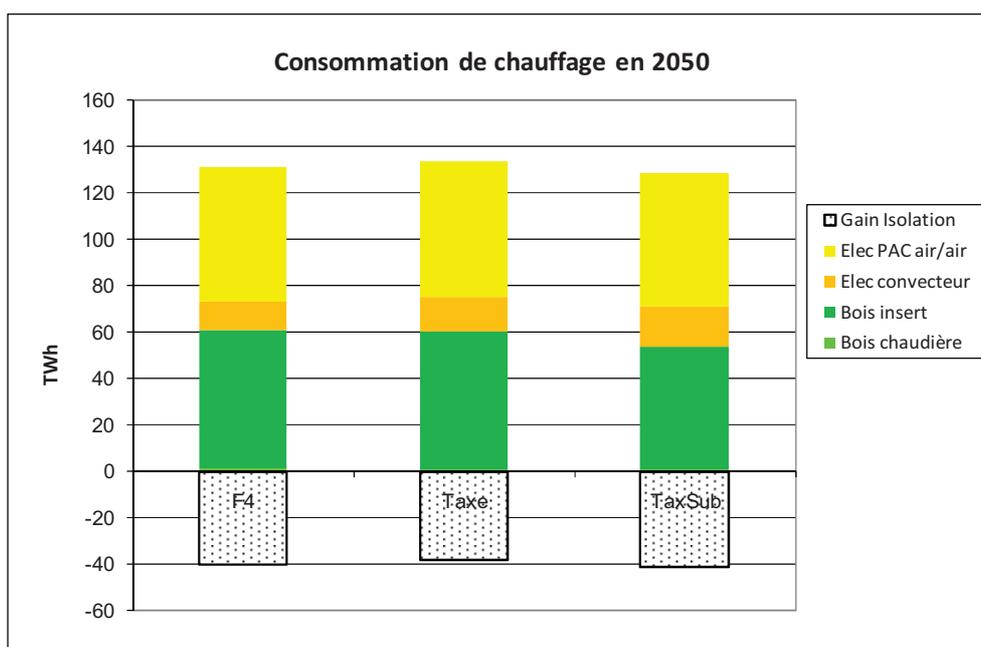


Figure 6.5 : Consommations de chauffage⁸⁷ en 2050 selon le scénario politique

Ensuite, les figures 6.6, 6.7 et 6.8 présentent la nature du parc de véhicules et les consommations associées en 2050 ainsi que la part modale des transports en commun.

On constate quelques différences concernant les parts de marché des véhicules : entre le scénario « facteur 4 » et « Taxe/subventions », le véhicule hybride rechargeable prend des

⁸⁷ L'énergie non consommée grâce à l'isolation est exprimée en énergie utile, autrement dit sans prise en compte du rendement des systèmes de chauffage

parts au véhicule thermique classique et au véhicule électrique. Tandis qu'entre les deux scénarios politiques un maintien plus important des véhicules thermiques et au gaz naturel pour le scénario taxe/subventions en raison d'un montant plus faible de la taxe en 2050. Cela se traduit au niveau de la consommation d'énergie par des différences entre les différentes sources de l'ordre de quelques TWh.

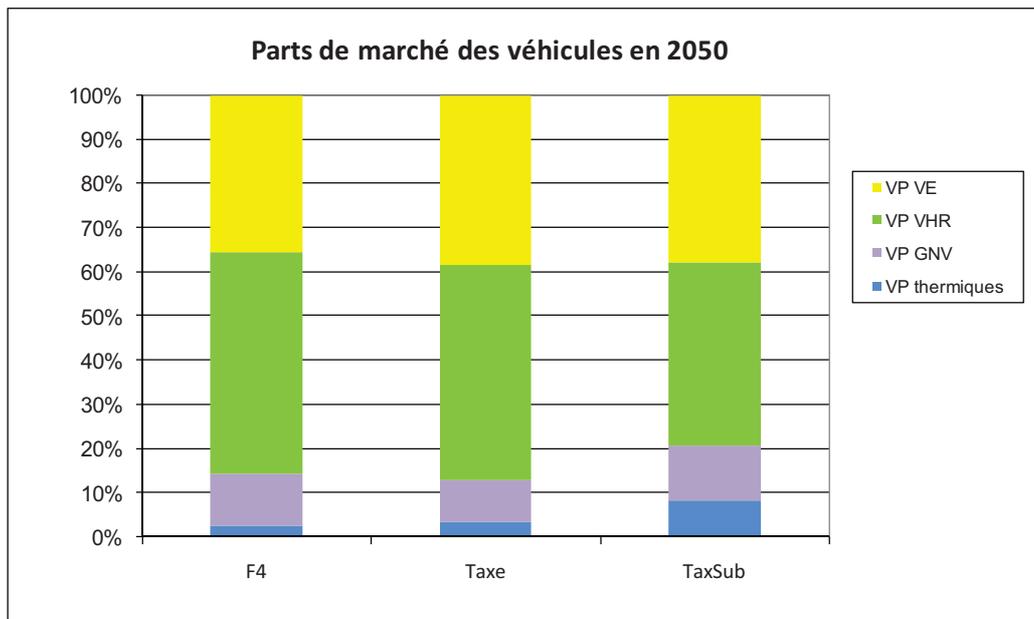


Figure 6.6 : Parts de marché des véhicules en 2050 selon le scénario politique

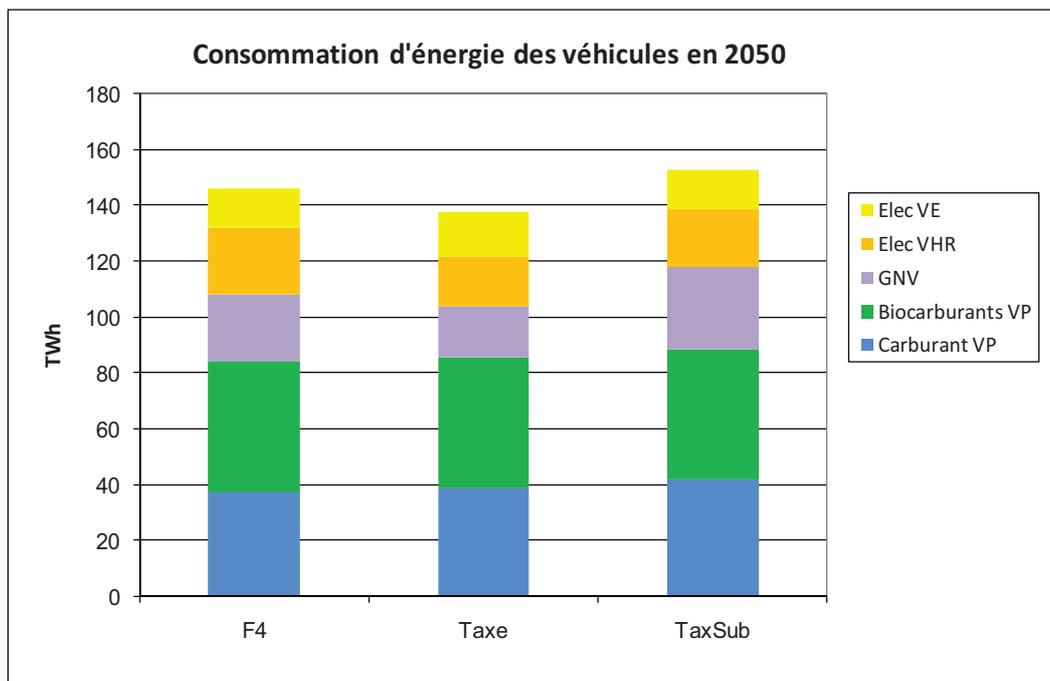


Figure 6.7 : Consommation des véhicules en 2050 selon le scénario politique

Enfin, la part modale des transports en commun dans le scénario « Taxe seule » diffère de l'ordre de 1% du trafic de la part modale des scénarios « contrainte facteur 4 » et « Taxe/subventions », mais les différences sont minimales.

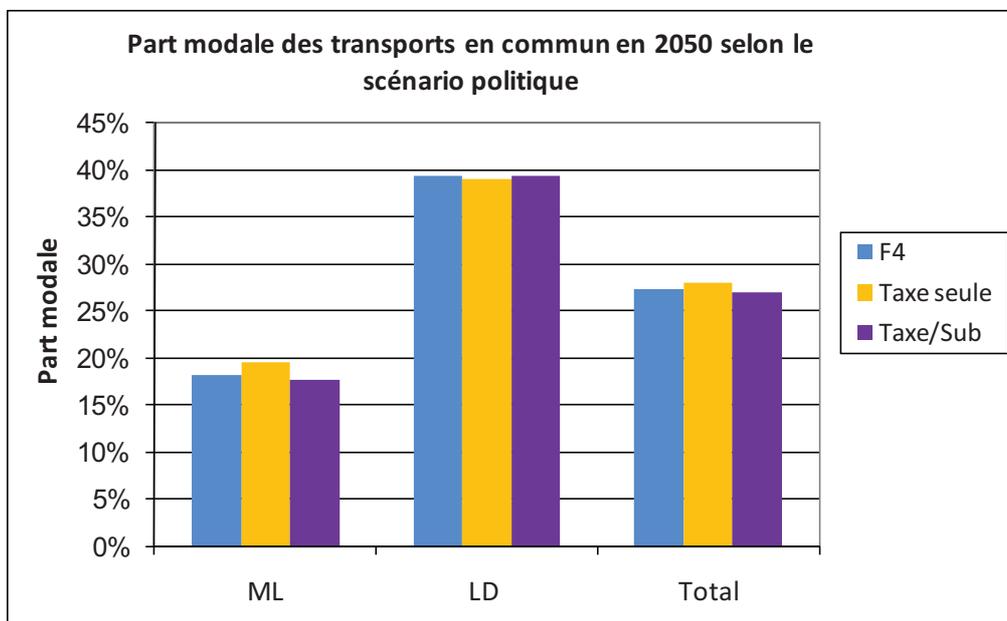


Figure 6.8 : Part modale des transports en commun en 2050 selon le scénario politique

Les deux scénarios politiques encadrent globalement le scénario « facteur 4 », tant du point de vue des équipements que des consommations. Et d'une manière générale, en dépit de quelques variations mentionnées entre les trois scénarios, on peut constater qu'en terme d'équipements diffusés et d'énergie consommée, les deux scénarios avec mise en œuvre de politiques sont très proches. Ce qui se comprend assez bien puisqu'il n'existe pas beaucoup de solutions différentes pour réduire les émissions de CO₂.

En réalité les différences majeures qui existent entre ces trois scénarios résident dans la répartition des investissements dans les technologies propres en fonction du type de ménage. En effet, le chemin optimal fait se diffuser les technologies efficaces auprès des ménages dont la demande est la plus importante. Effectivement pour un montant d'investissement donné il est plus intéressant d'allouer l'équipement aux ménages ayant la plus forte demande. Cependant ces ménages, pour qui il est globalement le moins coûteux de réduire la consommation, ne sont pas nécessairement les ménages qui considèrent ces technologies efficaces comme étant rentable puisque le taux de rentabilité exigée et la contrainte de capital diffèrent en fonction des ménages. La mise en place d'une taxe ne se traduira alors pas

nécessairement par l'adoption de technologies propres par ces ménages identifiés par le scénario optimal « contrainte facteur 4 ».

Il est alors fondamental de réaliser à ce stade l'analyse des parts budgétaires des ménages consacrées à l'investissement et aux dépenses énergétiques : elle permet justement de visualiser quels sont les ménages qui sont le plus mis à contribution dans chacun des scénarios.

6.2 – Les subventions sont un bon moyen de recycler une taxe distorsive

Les figures 6.9 et 6.10 montrent l'impact en termes de dépenses de capital, d'énergie et de taxe pour l'année 2010, 2030 et 2050 des deux solutions politiques étudiées pour les différents clusters de ménages⁸⁸.

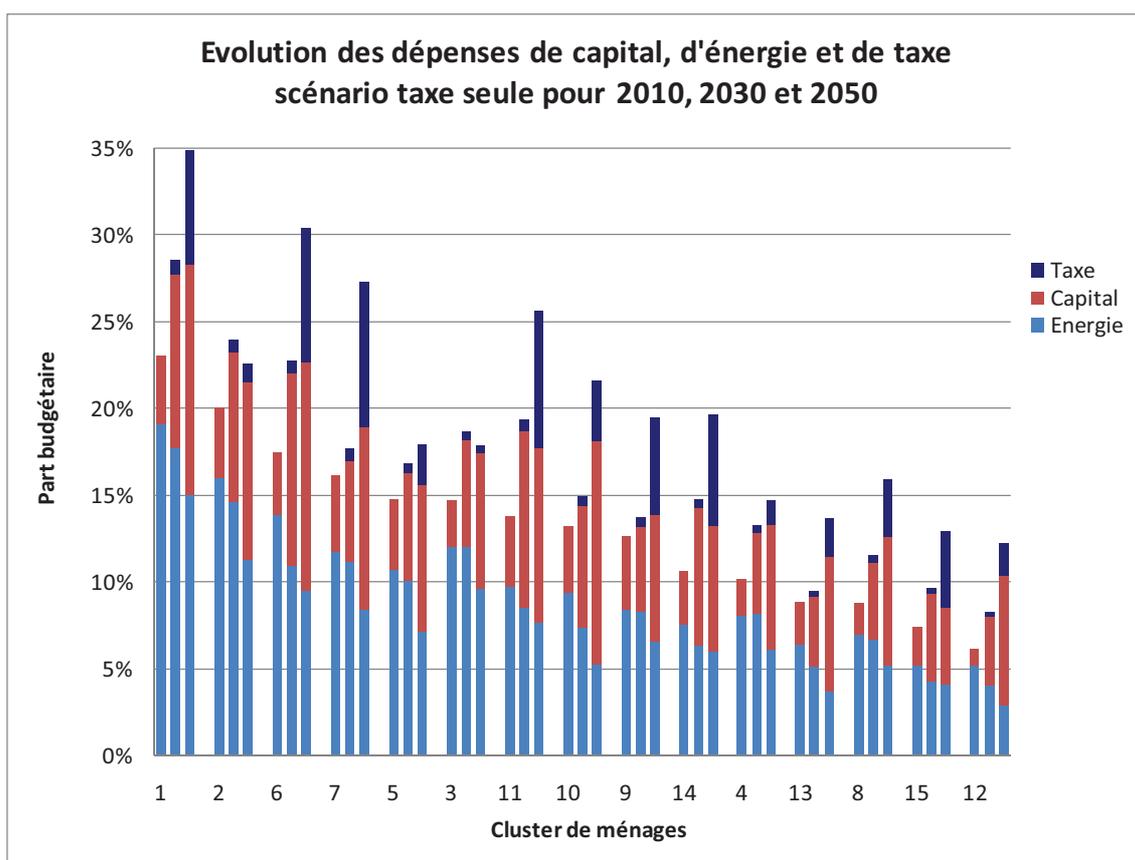


Figure 6.9 : Structure des dépenses des ménages pour le scénario « Taxe seule »

⁸⁸ Les différents clusters de ménages sont ceux présentés dans le chapitre 4

Les ménages qui payent un montant de taxe important (clusters 1,6,7,11,14) correspondent aux familles avec enfants. Cela s'explique principalement par le fait que les familles ont un taux de remplissage important pour l'automobile, elles ont donc intérêt à utiliser un véhicule hybride rechargeable plutôt qu'un véhicule électrique puisque celui-ci peut répondre également aux besoins de longue-distance ce qui évite alors de multiplier les dépenses de transports en commun (train et avion). Elles payent ainsi un fort montant de taxe pour leur usage de carburant qui s'ajoute à des dépenses domestiques plus importantes puisque les familles habitent en général dans des maisons individuelles qui consomment plus de chauffage. Si l'on considère l'impact de la taxe sur les dépenses courantes (énergie et taxe) alors on constate que ces familles voient leur part budgétaire énergétique augmenter. Cela signifie que l'effet attendu d'une ré-orientation des investissements vers des technologies efficaces qui permettent de réduire la facture énergétique est plus que contrebalancé par cet important montant de taxe à payer. L'effet devient dramatique sur le budget lorsqu'il s'agit des familles les plus démunies (cluster 1,6,7).

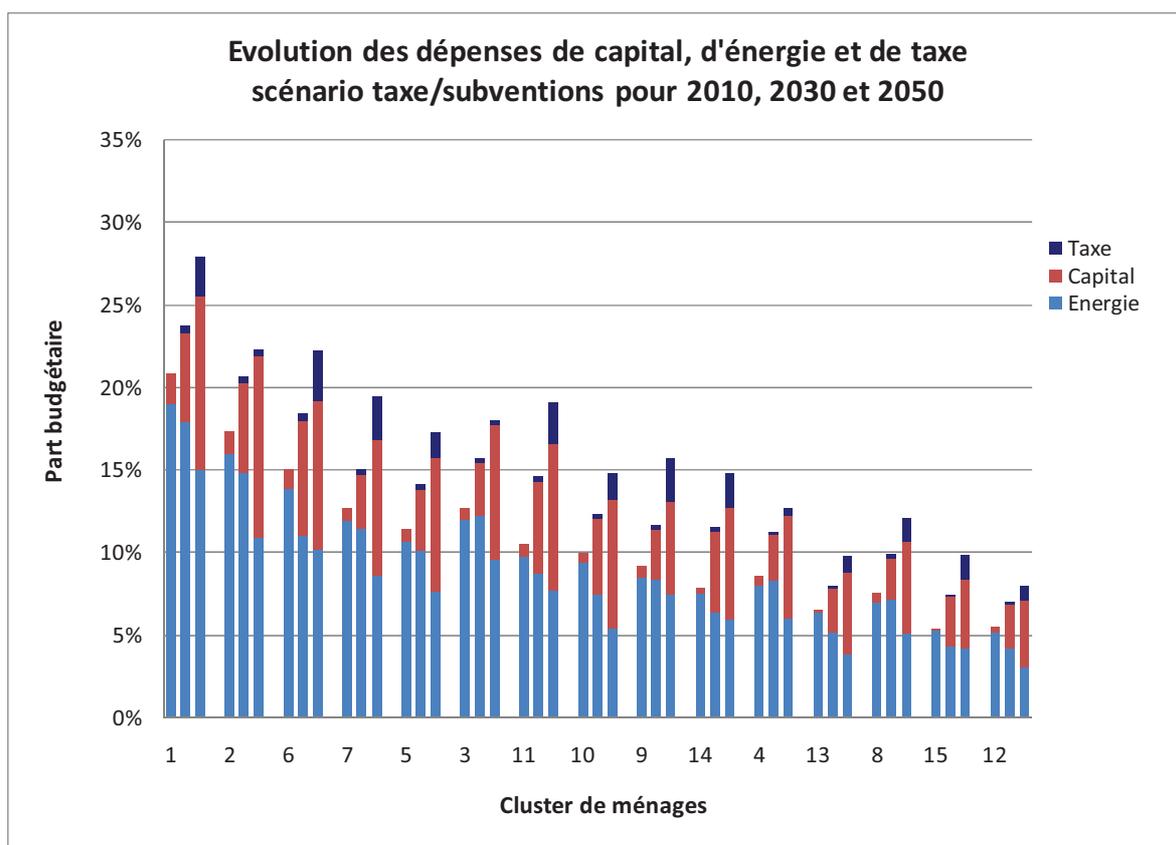


Figure 6.10 : Structure des dépenses des ménages pour le scénario « Taxe/subventions »

L'impact des subventions joue un rôle positif sur la diminution des dépenses de capital puisqu'on observe une baisse de 1,5% en moyenne dans la part budgétaire allouée aux investissements. En particulier les ménages qui étaient le plus mis à contribution dans le scénario précédent (clusters 1,6,10) bénéficient en priorité de ces baisses de dépenses. Pour ces ménages dont la part était de l'ordre de 13% du revenu dans le cas de la taxe seule, les subventions permettent d'abaisser ce niveau autour de 9%.

De plus, on remarque que les montants de taxe payés par les ménages sont beaucoup moins importants. Cela s'explique d'une part par le fait qu'il est désormais plus aisé d'investir et que les ménages subissent donc moins la taxe, et d'autre part par le fait que la taxe elle-même soit moins élevée, ce qui contribue à faire baisser la facture.

La figure 6.10 décrit la structure des dépenses des ménages en terme de capital, d'énergie et de taxe pour les trois scénarios étudiés en 2050.

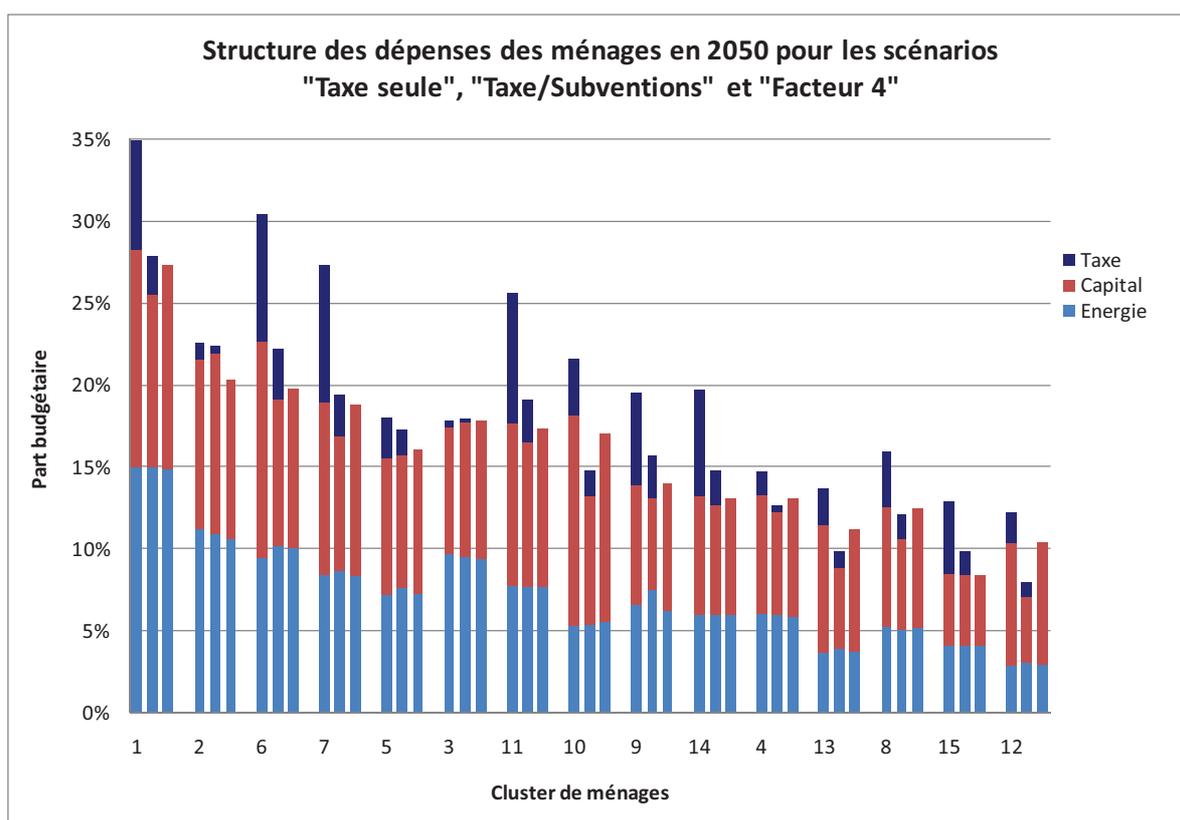


Figure 6.11 : Structure des dépenses des ménages en 2050 selon le scénario politique

On constate que le scénario « Taxe/Subventions » conduit à des parts budgétaires globales beaucoup plus proches des parts induites par le scénario « facteur 4 » que le scénario « Taxe seule », en particulier auprès des ménages identifiés comme vulnérables du point de vue de la taxe. Cela signifie également que dans le cas de figure « Taxe/Subventions », le montant

d'acquittement de la taxe est à peu près compensé par les économies générées par les subventions⁸⁹, tandis que les niveaux de dépenses énergétiques sont comparables à ce que fournit le scénario optimal du point de vue de l'efficacité de la répartition des efforts entre les ménages. Ce scénario politique vient donc limiter l'explosion des parts budgétaires observées dans le cas de la taxe pour les ménages les plus vulnérables.

Ensuite, la figure 6.12 compare l'impact de la taxe au couple taxe/subventions sur la précarité énergétique. On constate que la mise en place de subventions couplée à un profil de taxe carbone plus raisonnable permet d'améliorer la situation en matière de précarité énergétique par rapport à l'année 2006. La proportion de ménages qui consacrent plus de 10% et plus de 15% de leur revenu à leurs dépenses énergétiques courantes passe en effet à 21% et 5% respectivement. En revanche, on constate que la taxe seule exerce un important effet distorsif sur les ménages puisque la précarité énergétique s'accroît dans ce scénario. La part des ménages consacrant plus de 10% et 15% de leur revenu passe à 31% et 15% dans le cas de la taxe. On peut noter en se reportant à la figure 6.11 que le principal critère explicatif d'une augmentation de la part budgétaire est la taille du ménage, et seulement ensuite le quintile de revenu. L'augmentation de la précarité énergétique touche donc en priorité les familles au faible revenu, comme déjà évoqué.

⁸⁹ Les parts budgétaires allouées aux investissements sont en effet moins élevées que dans le scénario « facteur 4 »

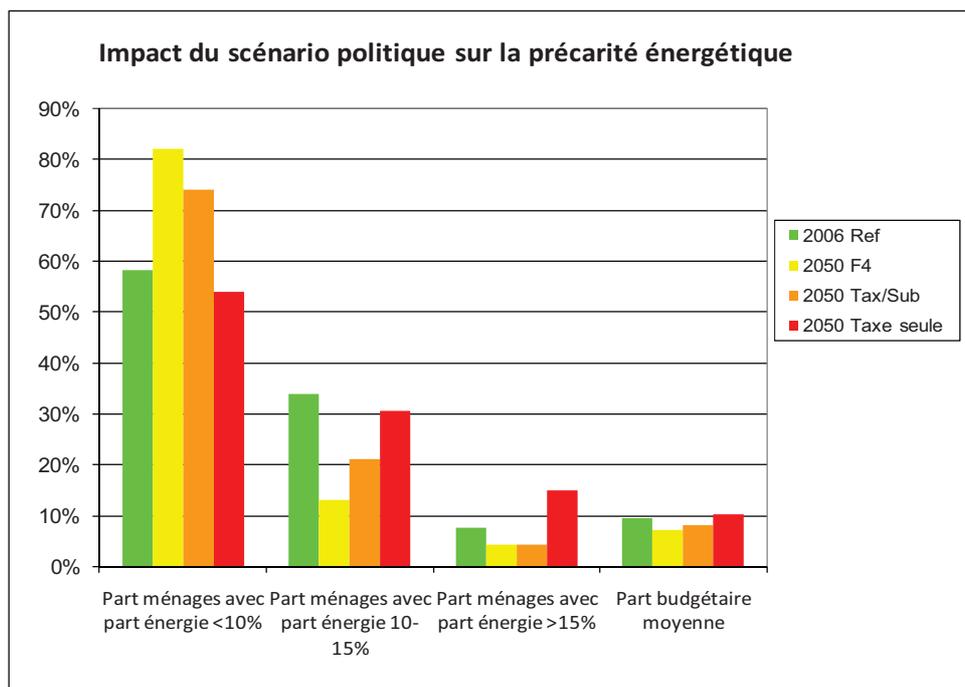


Figure 6.12 : Impact des outils politiques sur la précarité énergétique

Enfin, en terme de dépenses publiques engagées, la taxe haute correspond à un revenu total perçu par l'état d'environ 290 milliards d'euros⁹⁰ tandis qu'avec la taxe médiane l'état perçoit un revenu de 155 milliards d'euros. En matière de subventions, les travaux de rénovation correspondent à des dépenses de l'ordre de 5 milliards d'euros et les véhicules électriques à environ 50 milliards d'euros. La mise en œuvre de subventions ciblées correspond ainsi à un recyclage du revenu de la taxe d'environ 35%.

6.3 – Discussion des résultats obtenus

L'atteinte du facteur 4 à partir d'une taxe seule impose comme nous l'avons vu un montant de la taxe qui croît de manière drastique jusqu'à 900 euros/tCO₂ en 2050. Cette très forte croissance est symptomatique de la limite de l'effet induit par la taxe sur le déclenchement des investissements des ménages. C'est pourquoi le choix de subventionner certains équipements qui favorisent les investissements repérés comme primordiaux peut apparaître comme une solution complémentaire efficace. Dans le cas des subventions testées, cela permet de réduire d'un facteur 2 le montant de la taxe carbone à associer. La mise en place de subventions permet notamment de relâcher la contrainte de capital, puisque le

⁹⁰ Les montants perçus aux différentes périodes ne sont pas actualisés, mais de manière générale, les subventions interviennent en fin de période, en même temps que l'essentiel du revenu de la taxe.

montant consacré à l'investissement diminue, contrainte à laquelle sont soumis les ménages les moins aisés et qui les empêchait d'investir dans des technologies qu'ils auraient pu considérer comme rentable.

Ces subventions ciblées peuvent également permettre théoriquement de surmonter le problème d'efficacité auquel la taxe seule ne peut répondre. Nous avons évoqué plus haut une différence entre les ménages auprès desquels il est rentable d'un point de vue global de diffuser en priorité les technologies efficaces, identifiés dans le scénario « facteur 4 » et ceux pour lesquels ces technologies sont perçues comme rentable sous l'impact d'une taxe carbone. Cette divergence implique qu'il sera alors impossible d'atteindre le sentier technologique optimal décrit par ce scénario à l'aide de la seule taxe carbone. En revanche, la mise en œuvre de subventions, correctement ciblées sur les ménages identifiés, pour le parc de technologies du scénario « facteur 4 » permet théoriquement d'atteindre le niveau d'efficacité optimale.

Néanmoins, ce choix du ciblage des subventions renvoie bien entendu au débat concernant le problème de l'efficacité et de l'équité. En effet, si les subventions ciblées permettant d'atteindre le parc de technologies optimal s'adressent aux ménages les moins aisés, l'atteinte de l'efficacité va alors aller de pair avec un desserrement de la pression budgétaire de ces ménages et l'établissement de plus d'équité entre les ménages. Mais si ces subventions s'adressent aux ménages les plus aisés alors l'efficacité s'atteindra au détriment de l'équité entre les ménages puisque les plus riches bénéficieront alors d'un allègement de leurs investissements. Ce problème de l'évaluation de l'efficacité et de l'équité de ces outils politiques ne peut être résolu complètement dans le cadre de ce modèle de type bottom-up, puisqu'il ne prend pas en compte les interactions et les rétroactions avec le reste de l'économie. Or ces rétroactions, positives ou négatives - sur la croissance, l'activité et la compétitivité des différentes filières, le taux d'emploi et les niveaux de salaires ou encore le pouvoir d'achat des ménages - induites par le recyclage du revenu de la taxe doivent impérativement être prises en compte pour évaluer l'intérêt de l'outil politique dans sa globalité. Combet et alii [2009] soulignent d'ailleurs que la façon dont on envisage le recyclage des revenus de la taxe carbone⁹¹ peut conduire à des résultats bien différents sur l'évaluation globale de la taxe en terme d'efficacité et d'équité.

⁹¹ Les auteurs étudient principalement l'impact d'une baisse des cotisations sociales et d'une redistribution aux ménages soit directement soit sous forme de crédit d'impôt.

Nous avons donc choisi dans cette étude de présenter un exemple de ce que peuvent être les impacts de ces deux outils politiques sur les choix technologiques et le budget des ménages afin de fournir un ordre de grandeur⁹² des montants mis en jeu et d'amorcer un début de débat sur ces questions. De plus, les montants de taxe perçus par l'état étant différents dans les deux scénarios politiques étudiés, il n'est pas possible de proposer un comparatif complet de ces deux solutions puisque la façon dont est recyclé le reste du montant de la taxe n'est alors pas discuté. Enfin, il faut ajouter que l'évaluation des dépenses en terme de parts budgétaires repose sur une hypothèse de stabilisation des inégalités de répartition des richesses. Autrement dit, les revenus réels sont certes supposés différents entre les ménages mais constants dans le temps, ce qui est une hypothèse très forte et contraire aux tendances actuelles [Landais 2007]. Un accroissement des inégalités de richesse équivalent à celui de la dernière décennie viendrait alors diminuer le pouvoir d'achat de la quasi-totalité des ménages et pourrait ainsi fortement contrebalancer le relâchement de la contrainte énergétique entrevu.

Finalement, le scénario politique mêlant taxe et subventions décrit une situation correspondant à ce qu'intuitivement on pourrait qualifier de compromis raisonnable entre efficacité et équité puisque les réductions envisagées sont atteintes, le montant de la taxe et les parts du revenu des ménages allouées aux investissements ne croissent pas de manière trop drastique. Les parts budgétaires énergétiques des ménages enregistrent même une diminution entraînant une baisse de la précarité énergétique. De plus, le montant de subventions déboursé correspond à environ un tiers du revenu de la taxe perçu, ce qui laisse une marge de manœuvre importante pour recycler ce revenu à d'autres niveaux.

Il paraît désormais primordial de pouvoir tester ces intuitions à l'aide d'un outil de modélisation hybride qui inclurait d'une part le modèle présenté ici afin d'avoir accès dans le détail aux différentes technologies et aux différentes catégories de ménages, et d'autre part un modèle prenant en compte les aspects macroéconomiques et permettant d'évaluer les outils politiques dans un contexte plus large.

⁹² Le montant des subventions et le profil de la taxe ne se veulent donc pas des optimums ni du point de vue de l'efficacité ni du point de vue de l'équité.

Conclusion

Les apports de l'étude pour la modélisation des ménages

L'étude du comportement des ménages et les analyses issues de l'enquête menée dans le cadre de cette thèse ont permis de tirer quelques éléments sur la façon de considérer les ménages dans les modèles. Tout d'abord l'étude a permis de montrer que l'échelle d'étude à un niveau mésoscopique, c'est à dire par segments de ménages, basé sur des variables socio-démographiques était la plus pertinente pour pouvoir analyser et représenter à long-terme le comportement de consommation des ménages. En effet, une représentation trop agrégée ne permet pas de rendre compte de l'hétérogénéité des ménages tandis que le modélisateur se trouve confronté à une incapacité à établir des liens robustes entre consommation et caractéristiques du ménage à cause d'une multiplicité des déterminants du comportement, et à un manque de données et d'analyse sur l'évolution de ces déterminants dans le cas d'une approche trop fine.

L'impact du comportement des ménages sur la consommation de chauffage a pu être quantifié, celui-ci explique environ un tiers des différences de consommation entre les ménages. L'enquête a permis d'effectuer une première caractérisation du comportement de consommation quotidienne des ménages en deux facettes. Le comportement se traduit d'une part en une intensité de service consommé, dont l'importance semble être à rapprocher des attributs socio-démographiques du ménage, et d'autre part en un niveau de gestion de l'énergie qui serait sans doute plus liée à des variables qualitatives comme la culture ou l'éducation. Et ce lien entre les variables socio-démographiques et cette intensité de service consommé a également pu être caractérisé quantitativement grâce aux données de l'enquête. Cette analyse met en avant le rôle primordial joué par le revenu en matière de choix d'équipements notamment.

Enfin, une analyse statistique de classification relative à la part budgétaire des dépenses pour le résidentiel et les transports a permis de construire une segmentation pertinente du point de vue des deux secteurs conjointement. Cette classification a ainsi permis une modélisation de la demande d'énergie des ménages qui prend en compte la forte hétérogénéité des ménages en matière de consommation d'énergie.

Les principaux enseignements de l'exercice de modélisation prospective

L'incorporation d'un niveau de détail très important dans la façon de considérer les ménages français dans le modèle TIMES a permis de représenter la demande énergétique dans toute son hétérogénéité, à la manière d'une distribution, et de dépasser la vision d'un ménage moyen. Ce niveau de représentation a permis de fortement renforcer la robustesse aux incertitudes des résultats fournis par le modèle en matière de choix technologique et de consommation d'énergie.

Le modèle permet également de visualiser les potentiels de réduction des émissions les plus rentables au sein des différents ménages, en matière de choix technologiques et de timing d'investissement. A ce titre, l'atteinte d'une réduction des émissions d'un facteur 4 en 2050 repose sur deux technologies-clés : les pompes à chaleur dans le secteur résidentiel et les véhicules électriques et hybrides dans le secteur des transports. En terme de timing des efforts, on constate que le secteur résidentiel doit consentir des efforts immédiats et notamment en matière d'isolation des logements, tandis que le secteur des transports fournit des efforts importants de manière plus tardive, après 2030.

Le modèle permet donc également de cibler les politiques à mettre en œuvre auprès des différents ménages pour atteindre les réductions considérées comme optimales lors de l'application d'une contrainte globale de réduction, tout en visualisant l'évolution de la contrainte budgétaire subie par les ménages. On montre ainsi que la mise en place d'une taxe carbone atteignant 450 euros/tCO₂ en 2050 conjointement à des subventions à hauteur de 50% du montant des travaux des ménages les moins aisés et de 50% de l'achat de véhicules électriques permet d'atteindre l'objectif de réduction d'un facteur 4 en 2050. Et ce, tout en ne recyclant qu'un tiers du montant de la taxe perçu et en faisant baisser la pression budgétaire liée aux dépenses énergétiques des ménages, et en particulier des ménages les plus contraints.

Les limites de l'étude et les perspectives de travaux futurs

Un tel exercice de modélisation présente nécessairement des limites et plusieurs pistes d'amélioration peuvent être entrevues. En premier lieu, la modélisation de type TIMES est basée sur des processus de choix individuels. Il n'est pas possible de rendre compte de mécanismes de décisions collectifs tels que la mise en place d'un réseau de chaleur ou d'une ligne de transports en commun, puisque le choix d'un ménage n'est alors pas indépendant du

choix des autres. Pour remédier à ce problème il semble assez difficile d'amender un modèle TIMES et le recours à un modèle multi-agents serait sans doute plus appropriée.

Ensuite, la prise en compte du comportement des ménages dans le modèle est assez partielle. On se contente en effet de juxtaposer les effets moyens des différentes variables socio-démographiques sur le comportement d'achat et la demande de service énergétique. Ainsi, l'impact de ces variables est identique quel que soit le ménage. Or il semble intéressant de considérer, comme nous l'avons évoqué, la combinaison de ces variables pour mieux percevoir les modes de vie des ménages. Si notre approche permet de rendre compte des contraintes subies, elle ne prend pas en compte les projets de vie qui jouent pourtant un rôle important dans les arbitrages rendus par les ménages. Le niveau de description retenu dans le modèle permet théoriquement cette amélioration, une telle avancée nécessite en revanche plus de données et d'études sociétales sur les différentes classes sociales décrites dans le modèle.

De plus, nous n'avons considéré dans notre étude le comportement que sous l'angle de l'intensité d'usage énergétique. Or nous avons vu que la sobriété énergétique pouvait jouer un rôle important dans la réduction des émissions de CO₂. Il paraît très difficile de rendre cet aspect du comportement endogène dans le modèle, d'une part parce que les déterminants de l'adoption de comportements sobres sont difficiles à capter et que peu de données sont disponibles. D'autre part, le modèle se base sur un calcul d'optimisation économique pour effectuer les choix technologiques, cela nécessiterait alors de pouvoir comparer les déterminants de l'adoption de ces comportements en terme de coût. En revanche, la structure très détaillée du modèle permet de décliner précisément en terme de gestes un scénario volontariste, basé sur des initiatives politiques comme les campagnes d'information, et d'évaluer finement les gisements de réduction des émissions associées.

Enfin, la dimension économique présente quelques potentialités d'amélioration puisque les hypothèses de prix et de demande finales sont exogènes. On peut rappeler que le modèle ne permet pas par exemple de prendre en compte les bouclages macroéconomiques et donc d'inclure les rétroactions liées à l'apprentissage technologique ou au recyclage de la taxe carbone. Il y a donc un grand intérêt à envisager une approche de modélisation hybride incorporant à la fois les aspects top-down et bottom-up. Cette piste d'un modèle hybride paraît extrêmement prometteuse dans la mesure où elle permet à la fois d'évaluer l'impact des politiques à plusieurs niveaux et dans un contexte global tout en permettant d'étudier le détail des réactions des différents ménages en matière de consommation d'énergie et d'achat d'équipement.

Bibliographie

ABRAHAMSE, W. 2007 “*Energy conservation through behavioural change: Examining the effectiveness of a tailor-made approach*” PhD thesis, Groningen University

ADEME, 2008, “Le poids des dépenses énergétiques dans le budget des ménages en France – Développer la maîtrise de l’énergie pour limiter les inégalités sociales” Lettre ADEME&Vous Stratégie&Etudes n°11

AJZEN, I. , FISHBEIN, M. 1980 “*Understanding attitudes and predicting social behaviour*” Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall

AJZEN, I. 1991, “The theory of planned behaviour” *Organizational Behaviour and Human Decision Processes* 50, 179-211

AKERLOF, G. 1970 “The market for lemons: qualitative uncertainty and the market mechanism” *Quarterly Journal of Economics*, 84, 488-500

ALLIBE, B. , 2009, “ Impact of comfort level on French dwelling space heating energy demand: a retrospective and prospective study”, Behavior, Energy and Climate Change Conference, Poster Session, November 16, Washington, D.C.

ANAH, 2008 “Modélisation des performances énergétiques du parc de logements. Etat énergétique du parc en 2008” 26p

ANKER-NILSSEN, P. 2003 “ Household energy use and the environment – a conflicting issue” *Applied Energy*, 76, p189-196

APUR, 2007 “Consommations d’énergie et émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage des résidences principales parisiennes ” 48p

ASSOUMOU, E. 2006 “*Modélisation MARKAL pour la planification énergétique long-terme dans le contexte français*”, Mémoire de thèse en économie et finances, Paris 227p

ASSOUMOU, E. , GUERASSIMOFF, G. 2010 “Simulation de scénarios et résultats”, Rapport du projet VALERBIO

ASSOUMOU, E. , MAIZI, N. “Carbon value dynamics for France : a key-driver to support mitigation pledges at country scale”, *Submitted article*

BAMBERG, S. 2003, “How does Environmental concern influence specific environmentally related behaviors? A new answer to an old question” *Journal of Environmental Psychology* 23, 21-32

BARR, S. , GILG, A. , FORD, N. 2005, “ The household energy gap: examining the divide between habitual- and purchase-related conservation behaviours” *Energy Policy* (33), p1425-1444

- BARTIAUX, F. , VEKEMANS, G. , GRAM-HANSSSEN D. et al., 2006, “Sociotechnical factors influencing Residential Energy Consumption” SPSDII, SEREC
- BATEMAN, I. , DENT, S. , PETERS, E. *et alii* 2006 “The affect heuristic and the attractiveness of simple gambles” *Working paper*
- BAUDELLOT, C. , ESTABLET, R. 1994 “*Maurice Halbwachs, consommation et société*” , PUF
- BIGOT, R. 2007 “Une comparaison des hauts-revenus, des bas-revenus et des classes moyennes” Cahier de Recherches n°238 CREDOC
- BLACK, J.S. , STERN, P.C. , ELSWORTH, J.T. 1985, “Personal and Contextual Influences on Household Energy Adaptations” *Journal of Applied Social Psychology* 70, 3-21
- BLUMER, H. 1969 “*Symbolic interactionism. Perspective and method*” Berkeley, CA: University of California Press
- BONNEL, P. , CABANNE, I. , MASSOT, M.H. 2003 “*Evolution de l’usage des transports collectifs et politiques de déplacements urbains*” Paris : La Documentation française, 82p
- BOONEKAMP, P. 2007 “Price elasticities, policy measures and actual developments in household energy consumption- A bottom-up analysis for the Netherlands” *Energy Economics*, 29
- BORCHERS, A. , DUKE, J. , PARSONS, G. 2007 “Does willingness to pay for green energy differ by source ?” *Energy Policy*, 35, p. 3327-3334
- BOVAY, C. , CAMPICHE, R.J. , HAINARD, F. et alii 1987 “*L’énergie au quotidien. Aspects sociologiques et éthiques de la consommation d’énergie*” Genève :Labor et Fides
- BRUEL, R. , HOEKSTRA, J. 2005 “How to stimulate owner-occupiers to save energy ?” *ECEEE Summer Study Proceedings*
- BOVAY, C. , CAMPICHE, R.J. , HAINARD, F. et alii 1987 “*L’énergie au quotidien. Aspects sociologiques et éthiques de la consommation d’énergie*” Genève : Labor et Fides
- CARBALLES, S. 2009, “ Les véhicules particuliers en France” ADEME, Département transports et mobilité
- CEREN, 2007a “ Ré-estimation en 2005 de la consommation d’électricité par usage fin”, Ref FL/07.074
- CEREN, 2007b, “Estimation des consommations de gaz à usage eau chaude sanitaire et cuisson” Ref FL/07.086
- CERTU, 2009 “Une décennie de transports collectifs urbains” *Mobilités et Transports : le point sur* (10)
- CETO, 2008 “Présentation des résultats du baromètre annuel du 1/11/2007 au 31/10/2008”

CETO, 2009 “Présentation des résultats du baromètre semestriel du 1/11/2008 au 30/04/2009”

CHEMALI, AM. 2008 “Les effets rebond : un état des lieux ” *EDF R&D*, Note interne

CIALDINI, R. , KALLGREN, C. , RENO, P. 1991 “A focus theory of normative conduct : a theoretical refinement and re-evaluation of the role of social norms in human behavior” *Advances in Experimental Social Psychology*, 24, p. 201-234

CITEPA, 2010 “Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France. Séries sectorielles et analyses étendues ” Rapport national d’inventaire

CLOCHARD, R. , ROCCI, A. , DESJEUX, D. 2008, « *Automobilités et Altermobilités : Quels changements ?* », Paris :L’Harmattan

COMBET, E. , GHERSI, F. , HOURCADE, JC. et al. 2009 “*Economie d’une fiscalité carbone en France*”, Etude réalisée avec le soutien de l’ADEME et de la CFDT-IRES

CORRALIZA, J. , BERENGUER, J. 2000, “Environmental Values, Beliefs and Actions : A Situational Approach” *Environment and Behaviour* 32(6), 832-848

CRASSOUS, R. 2008 “*Modéliser le long-terme dans un monde de second-rang : Application aux politiques climatiques*”, Mémoire de thèse en sciences économiques, Paris 345p

DESJEUX, D. , BERTHIER, C. , JARRAFOUX, S. et al. 1996, « *Anthropologie de l’électricité* », Paris : L’Harmattan

DGUHC Direction Générale de l’Urbanisme, de l’Habitat et de la Construction, 2006, Décret relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions. Décret n°2006-592

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” *Journal of Economic Psychology* 3, 299-315

DOBRE, M. 2003 “*L’écologie au quotidien: éléments pour une théorie sociologique de la résistance ordinaire*” Paris: L’Harmattan

DOUGLAS, M. 1976 “*Relative poverty, relative communication*” Oxford: Basic Blackwell

DOUGLAS, M. , ISHERWOOD, B. 1979, “*The World of Goods. Towards an Anthropology of Consumption*” London: Routledge

DREIF, 2005, “ Motorisation et usage de l’automobile en Ile-de-France” Les cahiers de l’enquête globale transports n°6

DREYFUS, M.K. , VISCUSI, W.K. 1995 “Rates of Time Preferences and Consumer Valuations of Automobile Safety and Fuel Efficiency” *Journal of Law and Economics* 38, 79-105

- DUBIN, J.A, McFADDEN, D. 1984, “An Econometric Analysis of Residential Electric Appliance Holdings and Consumption” *Econometrica* 52(2), 345-362
- DUBET, F. 2002 “*Le déclin de l’institution*”, Paris :Seuil
- DUJIN, A. , POQUET, G. , MARESCA. B. 2007 “La maîtrise des consommations dans les domaines de l’eau et de l’énergie” Cahier de recherche n°237 CREDOC
- DUJIN, A. , MARESCA, B. , 2010, “ La température du logement ne dépend pas de la sensibilité écologique” *Consommations et modes de vie* (227), CREDOC
- DUNLAP, R. , van LIERE, K.1978 “The new environmental paradigm” *Journal of Environmental Education*, 9, p. 10-19
- ECKES, T. , SIX, B. 1994 “Fakten und fiktionen in der einstellungs verhalten-forschungs: eine meta-analyse” *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 25, p. 253-271
- ENERDATA, 2004 “Efficacité énergétique des modes de transport” Rapport final lettre de commande n°02MT27
- ENERTECH, 2004 “Campagne de mesures de l’éclairage dans 100 logements en France” Rapport final étude ENERTECH/ADEME/EDF
- FAIERS, A. , COOK, M. , NEAME, C. 2007 “Towards a contemporary approach for understanding consumer behaviour in the context of domestic energy use” *Energy Policy*, 35, p. 4381-4390
- FAIVRE d’ARCIER, B. . 2008 “Explorer les changements de comportement et d’attitudes face à l’automobilité” in CLOCHARD, F., ROCCI, A. , VINCENT, S. « *Automobilités et altermobilités : quels changements ?* », Paris :L’Harmattan
- FESTINGER, L. 1957 “ *A theory of cognitive dissonance*” , Evanston, Il: Row Peterson
- GART, 2008 “L’annuaire 2008 des transports urbains”
- GART, 2009 “Annuaire de la tarification du transport public urbain”
- GATELY, D. 1980 “Individual discount rates and the purchase and utilization of energy-using durables: comment ” *Bell Journal of Economics*, 10(1)
- GATELY, D. 1992 “Imperfect price-reversibility of US gasoline demand: asymmetric responses to price increases and declines” *Energy Policy*, 13(4)
- GATERSLEBEN, B. , STEG, L. , VLEK, C. 2002, “ Measurements and determinants of environmentally significant consumer behavior” *Environment and Behavior* 34(3), p335-362
- GEROSKI, P. 2000 “Models of technology diffusion” *Research Policy*, 29, p. 603-625
- GIDDENS, A. 1991 “*Modernity and self-identity*” Cambridge: Polity

- GODET, M. 1993 “Apprendre à anticiper” In : HATEM, F. , CAZES, B. , ROUBELAT, F “*La Prospective:Pratiques et Méthodes*” Paris :Economica, 388p
- GODET, M. 1997 “*Manuel de prospective stratégique. Une indiscipline intellectuelle* ” Paris :Dunod, 267p
- GOFFMAN, E. 1956 “*The presentation of self in everyday life*” New-York: Doubleday
- GREENE, D.L 1983, “A Note on the Implicit Consumer Discounting of Automobile Fuel Economy. Reviewing the Available Evidence” *Transportation Research Part B – Methodological* 17, 491-498
- GREENE, D.L, DULEEP, K.G, McMANUS, W. 2004, “Future Potential of Hybrid and Diesel Powertrains in the U.S. Light-Duty Vehicle Market” *Working Paper*
- GREENING, L. , GREENE, D.L. , DIFIGLIO, C. 2000, “Energy efficiency and consumption – the rebound effect – a survey” *Energy Policy* 28, 389-401
- HAAS, R. , AUER, H. , BIERMAYR, P. 1998, “The impact of consumer behavior on residential energy demand for space heating” *Energy and Buildings* 27(2), 195-205
- HAAS, R. , BIERMAYR, P. 2000, “The rebound effect for space heating: Empirical evidence from Austria” *Energy Policy* 28, 403-410
- HANSLA, A. , GAMBLE A. , JULIUSSON, A. 2008 “Psychological determinants of attitude towards and willingness to pay for green electricity” *Energy Policy*, 36, p. 768-774
- HASSETT, K.A. , METCALF, G.E. 1993, “Energy conservation investment: Do consumer discount the future correctly ?” *Energy Policy* 21(6), 710-716
- HAUSMAN, J.A. 1979, “Individual Discount Rates and the Purchase and Utilization of Energy-Using Durables” *Bell Journal of Economics* 10, 33-54
- HEZEMANS, A. 2005, “*Between thought and action, the relationship between the use of electricity, values, innovation and motivation to save energy*” Student thesis, Utrecht University, Utrecht
- HINES, J. , HUNFERFORD, H. , TOMERA, A. 1986 “Analysis and synthesis of research on environmental behavior: a meta analysis” *Journal of Environmental Education*, 18, p. 1-8
- HIVERT, L. 2000 “Le parc automobile des ménages. Etude en fin d’année 1998 à partir de la source ParcAuto SOFRES” *Rapport de convention ADEME/INRETS*
- HOUSTON, D.A. 1983, “Implicit Discount Rates and the Purchase of Untried, Energy-Saving Durable Goods” *Journal of Consumer Research* 10, 236-246
- IEA, 2009 “*Technology Roadmap : electric and plug-in hybrid electric vehicles*” OECD/IEA 52p
- IEA, 2009 “*World Technology Outlook 2009*” OECD/IEA 696p

- INSEE, 2007, Recensement Général de la Population 2006
- INSEE, 2008, “ Consommation d’énergie : autant de dépenses en carburant qu’en énergie domestique” Insee première n°1176
- INSEE, 2009, “ Dans les grandes agglomérations, la mobilité quotidienne des habitants diminue, et elle augmente ailleurs” Insee première n°1252
- INSEE, 2010, “ Les dépenses d’énergie des ménages depuis 20 ans : une part en moyenne stable dans le budget, des inégalités accrues” Insee première n°1315
- IPCC, 2007 “Summary for Policymakers”. In : *Climate change 2007: Mitigation. 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 University Press, Cambridge, United Kingdom and New-York, NY, USA
- JACKSON, T. 2005 “Motivating sustainable consumption. A review of evidence on consumer behaviour and behavioural change” *Centre for Environmental Strategy, University of Surrey*
- JAFFE, A.B. , STAVINS, R.N. 1994, « The energy paradox and the diffusion of conservation technology” *Resource and economics* 16, 91-122
- JAFFE, A. , STAVINS, R. 1995 “Dynamic incentives of environmental regulations: the effects of alternative policy instruments on technology diffusion ” *Journal of Environmental Economics and Management*, 29
- JENSEN, O.M. 2005 “Consumer inertia to energy savings ?” *ECEEE Summer Study Proceedings*
- JONES, C. 1993 “Another look at the US passenger vehicle use and the “rebound” effect from improved fuel efficiency” *Energy Journal*, 14(4)
- JOSKOW, P. , MARRON, D. 1992 “What does a negawatt really cost ? Evidence from utility conservation program” *Energy Journal*, 13(4)
- KAHNEMAN, D. , TVERSKY, A.. ,1979 “Prospect theory: an analysis of decision under risk ” *Econometrica*, 47(2)
- KAHNEMAN, D. ; KNETSCH, J ; THALER, R. 1991 “The endowment effect, loss-aversion and status quo bias ” *Journal of Economic Perspectives* , 5(1)
- KAHNEMAN, D. , FREDERICK, S. 2002 “Representativeness revisited: attribute substitution in intuitive judgement ” *New-York: Cambridge University Press*
- KAHNEMAN, D. 2003, “Maps of Bounded Rationality; Psychology for Behavioural Economics” *American Economic Review* 93(5), 162-168

- KAHOULI-BRAHMI, S. 2008 “Technological learning in energy-environment-economy modelling: a survey” *Energy Policy*, 36, p. 138-162
- KAISER, F. , WOLFING, S. , FUHRER, U. 1999 “Environmental attitude and ecological behaviour ” *Journal of Environmental Psychology*, 19, p. 1-9
- KAUFMANN, JC. 1997 “*Le cœur à l'ouvrage. Théorie de l'action ménagère*”, Paris :Nathan
- KAUFMANN, JC. 2004 “*L'invention de soi. Une théorie de l'individu*”, A. Collin : Paris
- KHAZZOOM, D. 1980, “Economic implications of mandated efficiency standards for household appliances” *The Energy Journal* 11(2), 21-40
- LANDAIS, C. 2007 “Les hauts revenus en France (1998-2006) : une explosion des inégalités ?” Miméo, Paris School of Economics
- LAROCHE, M. , BERGERON, J. , BARBARO-FORLEO, G. 2001 “Targeting customers who are willing to pay more for environmentally friendly products” *Journal of Consumer Marketing*, 18(6), p. 503-520
- LAURENT, M.H. “L'efficacité énergétique dans les logements” in BAUDRY, P. et al, « *L'efficacité énergétique* » à paraître
- LOULOU, R. , REMME, U. , KANUDIA, A. et alii 2005 “Documentation for the TIMES Model ” <http://www.etsap.org>
- MAHAPATRA, K. , GUSTAVSSON, L. 2008 “An adopter centric approach to analyze the diffusion patterns of innovative residential heating systems in sweden ” *Energy Policy*, 36, p. 577-590
- MAIZI, N. , ASSOUMOU, E. 2007 “5ème exercice : scénario de référence + volontariste révisé + effet des taxes/contraintes CO₂” Présentation au Centre d'analyse stratégique, 19 Juin 2007
- MARCHAND, C. , LAURENT, MH. , REZAKHANLOU, R et alii 2008 “Le bâtiment sans énergies fossiles ?” *Futuribles* (343), p79-100
- MASLOW, M. 1943 “A theory of human needs” *Psychological Review*, 50, p. 370-396
- MASSOT, M.H. , ARMOOGUM, J. , BONNEL, P. et alii 2004 “Une ville sans voiture: utopie ?” *RERU*, 5, p. 753-778
- MATARASSO, P. 2007 “La construction historique des paradigmes de modélisation intégrée: William Nordhaus, Alan Manne et l'apport de la Cowles Commission” in DAHAN-DALMEDICO, A. “*Les modèles du futur*” La Découverte :Paris 250p
- McKENZIE-MOHR, D. 2000 “Promoting Sustainable Behaviour: An Introduction to Community-Based Social Marketing” *Journal of Social Issues* 56(3), 543-554

- MEADOWS, D.H. , MEADOWS, D.L. , RANDERS, J. et alii. 1972 “*The Limits to Growth: A Report from the Club of Rome’s Projet on the Predicament of Mankind*” Universe Book: New-York
- METCALF, G. , ROSENTHAL, D. 1995 “The new view of investment decisions and public policy analysis: an application to green lights and cold refrigerators ” *Journal of Policy Analysis and Management*, 14(4) , p. 517-531
- Ministère de l’Emploi, de la Cohésion sociale et du Logement 2006, Arrêté du 09 November 2006 NOR :SOCU 0610563A www.logement.gouv.fr
- MOREAU, L. , WIBRIN, A.L. 2005 “Energy-related practices, representations and environmental knowledge: a sociological study ” *ECEEE Summer Study Proceedings*
- MOUSSAOUI, I. BEILLAN, V. 2000 “Les pratiques de cuisson. Analyse sociologique” *EDF R&D*, Note interne
- MOUSSAOUI, I. 2005, “Maîtriser son confort, rendre confortable sa maîtrise : gestion des flux domestiques, maîtrise de l’énergie et valeurs de modération chez les familles propriétaires” *EDF R&D*, Note interne
- MOUSSAOUI, I. , BERTHONNET, K. , PESSEMIER, H. *et alii* , 2005 “Acheter de l’énergie bien matériel ou service public ? ” *EDF R&D*, Note interne
- National Academy of Sciences, 2009 “Transitions to alternative transportation technologies. Plug-in hybrid electric vehicles” Washington D.C: National Academy Press, 130p
- NOGUES, P. “L’efficacité énergétique dans les transports ” in BAUDRY, P. et al. “*L’efficacité énergétique*” à paraître
- NORDLUND, A.M. , GARVILL, J. 2002 “Value structures behind proenvironmental behavior ” *Environment and Behavior*, 34, p. 740-756
- ORFEUIL, JP. 2001 “*L’automobilité en France: comportements, perceptions, problèmes, perspectives*” Colloque International Institut pour la Ville en Mouvement, Marne la Vallée
- ORFEUIL, JP. , MASSOT, M.H. 2005 “Penser les mobilités de demain. Essai de clairvoyance prospective” *Le banquet, revue du CERAP*, 22, p. 269-290
- PARENT, C. 2005, “Prospective 2050 de la demande de transports” présentation facteur 4, ministère de l’équipement, 20 octobre 2005
- PAUTARD, E. 2008 “Analyse de la mise en œuvre territoriale de maîtrise de la demande d’électricité dans le secteur résidentiel ” *CERTOP/ADEME/EDF*, Rapport de thèse
- PEDERSEN, L. 2000, “The dynamics of green consumption: a matter of visibility ? ” *Journal of Environmental Policy and Planning*, 2, p. 193-210
- PIERRE, M. 2006 “Les usagers face au choix du mode de transport ” *EDF R&D*, Note interne

- PIERRE, M. 2008 “Travaux, gestes ou achats en faveur des économies d’énergie : quelles pratiques selon les groupes sociaux ? Revue de littérature sur la question ” *EDF R&D*, Note interne
- PINDYCK, R. 1991, “Irreversibility, Uncertainty and Investment” *Journal of economic Literature* 29(3), 1110-1148
- QUINET, A. 2009, “*La valeur tutélaire du carbone*” Centre d’Analyse Stratégique, Paris :La Documentation française
- RAUX, C. , TRAISNEL, JP. , NICOLAS, JP. *et alii* , 2005, “*Bilans énergétiques Transport-Habitat et méthodologie BETEL* ”. ETHEL. Rapport R2. Action concertée CNRS-Ministère de la Recherche, LET, Lyon
- RAUX, C. , TRAISNEL, JP. , POCHE, P. *et alii* , 2006, “*Analyse et modélisation des comportements transports-habitat-localisations*”. ETHEL. Rapport R3. Action concertée CNRS-Ministère de la Recherche, LET, Lyon
- ROCH, S. , LANE, J. SAMUELSON, C. *et alii* 2000 “Cognitive load and the equality heuristic: a two-stage model of resource overconsumption in small groups” *Organizational Behavior and Human Decision Process* , 83(2), p. 185-212
- ROGERS, E. 2003 “*Diffusion of innovations*” Free Press: New York
- RTE 2009, “Bilan Prévisionnel de l’équilibre offre-demande d’électricité en France” 172p
- RUDERMAN, H. , LEVINE, M. , McMAHON, J. 1987 “The behavior of the market for energy efficiency in residential appliances including heating and cooling equipment” *Energy Journal*, 8, p.101-124
- SADLER, M. 2003, “Home energy preferences & policy: Applying stated choice modeling to a hybrid energy economic model” Master Thesis, Simon Fraser University
- SAMUELSON, W. ; ZECKHAUSER, R. 1988 “Statu Quo bias in decision making” *Journal of Risk and Uncertainty* , 1
- SANTIN, O.G. , ITARD, L. , VISSCHER, H . 2009, “ The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock” *Energy and Buildings* 41, p1223-1232
- SAUTORY, O. 1993, “ La macro calmar : redressement d’un échantillon par calage sur marges. ” Document F9310, DSDS, INSEE
- SCHWARTZ, S. 1992, “Universals in the content and structure of values: theoretical advances and empirical test in 20 countries” *Advances in Experimental Social Psychology* 10, 221-279
- SHOVE, E. , WARDE, A. 1998 “Inconspicuous consumption: the sociology of consumption and the environment” Department of Sociology, Lancaster University

- SHOVE, E. 2003, “*Comfort, Cleanliness and Convenience: The social organization of normality?*” Berg: Oxford and New-York
- SIMON, H. 1955 “A behavioural model of rational choice”, *Quarterly Journal of Economics*, 69, p. 99-118
- SMALL, K. , VAN DENDER, K. 2007 “Fuel efficiency and motor vehicle travel: the declining rebound effect” *Energy Journal*, 28(1)
- SMITH, C.A. 1961 “Consistency in statistical inference and decision” *J.R. Statistical Soc.*, 23, p. 1-25
- SONDEREGGER, R.C. , 1977, “ Movers and stayers: the resident’s contribution to variation across houses in energy consumption for space heating” *Energy and Buildings* 1, p313-324
- STERN, P. , DIETZ, T. , KALOF, L. 1993, “Values orientations, Gender and Environmental Concern”, *Environment and Behavior*, 25(3), p. 322-348
- STERN, P. , DIETZ, T. , GUAGNANO, G. 1998, “A brief inventory of values” *Educational and Psychological Measurements*, 58, p. 984-1001
- STERN, P.C. , DIETZ, T. , ABEL, T. et alii. 1999, “A Value-Belief-Norm Theory of Support for Social Movements: The case of Environmentalism” *Human Ecology Review* 6(2), 81-97
- STIF, 2005 “Les transports en commun en chiffres en île de France”
- STIF, 2009 “Guide tarifaire 2009”
- SYROTA, J. , BERGOUGNOUX, J. , TUOT, T. et al. 2007 “*Perspectives énergétiques de la France à l’horizon 2020-2050. Rapport de synthèse*” Centre d’Analyse Stratégique, Paris :La Documentation française
- SYROTA, J. , HIRTZMAN, P. 2008, “*Mission véhicule 2030. Perspectives concernant le véhicule grand public d’ici 2030*” Centre d’Analyse Stratégique, Paris :La Documentation française
- THIRTLE, C. , RUTTAN, V. 1987 “*The role of demand and supply in the generation and diffusion of technical change*” Harwood Academic Publishers, London
- THRONE-HOLST, H. 2005 “From energy efficiency to efficiency of consumption” *ECEEE Summer Study Proceedings*
- THØGERSEN, J. 1999 “Spillover processes in the development of a sustainable consumption pattern” *Journal of Economic Psychology*, 20, p. 53-81
- THØGERSEN, J. ÖLANDER, F. 2002, “Human values and the emergence of a sustainable consumption pattern: a panel study” *Journal of Economic Psychology*, 23, p. 605-630
- TRAIN, K. 1985, “Discount rates in consumer’s energy-related decisions: A review of the literature” *Energy* 10(12), 1243-1253

TRAISNEL, JP. , MAIZIA, M. 2001 “Habitat et développement durable” *Cahiers du CLIP*, 13

TVERSKY, A. , KAHNEMAN, D. 1986 “Rational choice and the framing of decisions” *Journal of Business*, 59, p. 251-278

UITDENBOGERD, D. , EGMOND, C. , JONKERS, R. et alii 2007 “Energy-related intervention success factors: a literature review” *ECEEE Summer Study Proceedings*

UNFCCC, 2010, “Report of the Conference of the Parties on its fifteenth session, held in Copenhagen from 7 to 19 december 2009”

VRINGER, K. , AALBERS, T. , BLOK, 2007, K. “Household energy requirement and value pattern” *Energy Policy* (35), p553-566

WACH, M. , HAMMER, B. 2003, “*La structure des valeurs est-elle universelle ?*” Paris : L’Harmattan

WINER, R.S 1997, “Discounting and its Impact on Durable Buying Decisions” *Marketing Letters* 8(1), 109-118

YOUNG, D. 2008 “When do energy-efficient appliances generate energy savings? Some evidence from Canada” *Energy Policy*, 36 , p. 34-46

ZAHAVI, Y. 1979 “Travel time budgets and mobility in urban areas” Rapport pour le department américain des transports, Washington DC

Liste des sigles utilisés

AIE : Agence Internationale de l'Énergie

CAS : Centre d'Analyse Stratégique

CCTN : Commission des Comptes et Transports de la Nation

CEREN : Centre d'Études et de Recherches Économiques sur l'Énergie

DPE-3CL : Diagnostic de Performance Énergétique réalisé avec la méthode 3-CL

ECS : Eau Chaude Sanitaire

ENTD : Enquête Nationale Transports et Déplacements

ETSAP : Energy Technology System Analysis Program

F4 : Facteur 4

GES : Gaz à Effet de Serre

GNV : Gaz Naturel Véhicule

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié

ITE : Isolation Thermique par l'Extérieur

ITI : Isolation Thermique par l'Intérieur

LBC : Ampoule à basse consommation

LC : Logement Collectif

LD : Longue Distance

MARKAL : MARKET ALlocation

MDE : Maîtrise de la Demande d'Énergie

MI : Maison Individuelle

PAC : Pompe à Chaleur

PTAV : Poids Total à Vide

RES : Reference Energy System

TC : Transports en Commun

TIMES : The Integrated Markal-Efom System

VAN : Valeur Actuelle Nette

VE : Véhicule Électrique

VHR : Véhicule Hybride Rechargeable

VMC : Ventilation Mécanique Contrôlée

VP : Véhicule Particulier

Index des illustrations

Index des figures

Figure 1.1: Consommation d'énergie en résidentiel par usage en 2008	13
Figure 1.2 : Consommation d'énergie en résidentiel par source d'énergie en 2008.....	13
Figure 1.3 : Emissions de CO ₂ du secteur résidentiel en 2008	14
Figure 1.4 : Consommation de chauffage des logements collectifs parisiens en fonction de leur période de construction	15
Figure 1.5 : Consommation de chauffage du parc de logements français.....	16
Figure 1.6 : Evolution des émissions de CO ₂ par logement pour le chauffage.....	17
Figure 1.7: Evolution de la consommation d'énergie par usage dans le résidentiel.....	19
Figure 1.8: Reconstitution et ventilation de la consommation d'électricité spécifique.....	20
Figure 1.9: Mobilité locale et à longue-distance par mode en 2008	21
Figure 1.10: Consommation d'énergie dans les transports par source d'énergie en 2008	21
Figure 1.11 : Emissions de CO ₂ du secteur transports en 2008	22
Figure 1.12: Evolution des émissions de CO ₂ et du type de motorisation des véhicules neufs.....	23
Figure 1.13: Evolution de la distance parcourue en voiture par ménage	24
Figure 1.14: Efficacité énergétique des différents modes de transport en fonction des taux de remplissage.....	26
Figure 2.1 : Contexte de consommation d'énergie	29
Figure 2.2 : La place de la consommation dans le projet symbolique de soi.....	34
Figure 2.3 : Structure des différentes sociétés dans la théorie des cultures	36
Figure 2.4 : La résistance au changement	41
Figure 2.5 : Répartition des différents types d'utilisateurs	50
Figure 2.6 : Représentation de l'effet rebond.....	53
Figure 2.7 : L'élasticité au prix matérialisée comme une fonction en escalier du prix	56
Figure 2.8 : Relations entre les variables psychosociologiques menant au comportement	59
Figure 2.9 : Principe de la chaîne comportementale dans la théorie Value-Belief-Norm.....	61
Figure 2.10 : Valeurs des différents types de consommateurs.....	64
Figure 2.11 : Norme d'équilibre des familles propriétaires des classes moyennes.....	66
Figure 2.12 : Présentation des sphères d'activité	69
Figure 2.13 : Pratiques de mobilité et projet de vie des différents modes de vie.....	71
Figure 3.1 : Parts de marché des différents équipements domestiques.....	82
Figure 3.2 : Consommations d'énergie finale dans le secteur résidentiel.....	83
Figure 3.3 : Mobilité locale et à longue-distance hebdomadaire par mode	86
Figure 3.4 : Composition du parc de véhicules particuliers.....	90
Figure 3.5 : Consommation de carburants des véhicules particuliers	90
Figure 3.6 : Dépenses domestiques et de transports annuelles des ménages	92
Figure 3.7 : Parts budgétaires des postes résidentiel et transports locaux.....	93
Figure 3.8 : Structure des dépenses de voyages à longue distance pour motif visites/loisirs ..	94
Figure 3.9 : Evolution du facteur de service de chauffage avec le revenu.....	95
Figure 3.10 : Evolution du facteur de service avec la part budgétaire théorique.....	96
Figure 3.11 : Evolution de la note d'intensité avec le décile de revenu.....	105
Figure 3.12 : Evolution de la note de gestion avec le décile de revenu	105
Figure 3.13 : Evolution du taux de retour exigé avec le revenu par type d'équipement.....	109
Figure 3.14 : Evolution avec le revenu de la proportion de ménages prêts à changer de système.....	109

Figure 3.15 : Rappel de l'évolution du taux d'intention de remplacement et du taux de rentabilité exigée avec le revenu pour le chauffage	111
Figure 3.16 : Volume d'eau chaude puisé par personne en fonction de la taille du ménage. .	114
Figure 4.1 : Cartographie des principaux modèles de prospective	118
Figure 4.2 : Représentation des process dans l'architecture TIMES	119
Figure 4.3 : Principe de fonctionnement de TIMES/MARKAL.....	120
Figure 4.4 : Principe de fonctionnement de la modélisation VEDA-TIMES	121
Figure 4.5 : Evolution de l'erreur avec le nombre de feuilles de l'arbre de régression	123
Figure 4.6 : Classification hiérarchique des ménages explicative de la part budgétaire.....	124
Figure 4.7 : Evolution du besoin utile en eau chaude sanitaire et en cuisson avec la taille du ménage	129
Figure 4.8 : Nombre d'ampoules moyen par m ²	130
Figure 4.9 : Evolution de la demande de froid avec la taille du ménage	131
Figure 4.10 : Evolution de la demande de lavage avec la taille du ménage.....	132
Figure 4.11 : Evolution du taux d'équipement en produits bruns avec le revenu.....	133
Figure 4.12 : Evolution de la demande de mobilité longue-distance avec le revenu.....	140
Figure 4.13 : Evolution de la rentabilité de technologies avec la demande	147
Figure 4.14 : Impact de la segmentation sur la robustesse des résultats de diffusion.....	148
Figure 5.1 : Evolution du parc de systèmes de chauffage	156
Figure 5.2 : Systèmes de chauffage des bâtiments neufs	156
Figure 5.3 : Nombre de gestes de rénovation.....	157
Figure 5.4 : Evolution du parc de voitures particulières	158
Figure 5.5 : Parts de marché des transports en commun dans le scénario de référence.....	159
Figure 5.6 : Consommation d'énergie dans le secteur résidentiel.....	160
Figure 5.7 : Consommation d'énergie dans le secteur des transports	160
Figure 5.8 : Evolution de la consommation d'énergie des ménages	161
Figure 5.9 : Impact du prix des énergies fossiles sur le parc de systèmes de chauffage.....	162
Figure 5.10 : Impact du prix des énergies fossiles sur le parc de véhicules.....	162
Figure 5.11 : Différences de consommation d'énergie entre deux scénarios de prix	163
Figure 5.12 : Emissions de CO ₂ du scénario de référence	165
Figure 5.13 : Evolution des dépenses de capital et d'énergie des ménages français	167
Figure 5.14 : Evolution du secteur électrique dans le scénario Facteur 4.....	169
Figure 5.15 : Chemin de réduction des émissions pour le scénario « contrainte facteur 4 ».	170
Figure 5.16 : Parc de systèmes de chauffage optimal pour le scénario « contrainte facteur 4 »	171
Figure 5.17 : Parc de véhicules optimal pour le scénario « contrainte facteur 4 »:	172
Figure 5.18 : Gestes de rénovation pour le scénario « contrainte facteur 4 »	172
Figure 5.19 : Différences de consommation d'énergie entre le scénario « contrainte facteur 4 » et le scénario de référence	173
Figure 5.20 : Détail par usage de la consommation d'électricité des ménages.....	174
Figure 5.21 : Evolution des émissions de CO ₂ du scénario « contrainte facteur 4 ».....	175
Figure 6.1 : Description des profils de taxe carbone.....	178
Figure 6.2 : Emissions de CO ₂ en fonction du scénario de réduction.....	179
Figure 6.3 : Différences de gestes d'isolation par rapport au scénario « contrainte facteur 4 »	180
Figure 6.4 : Parts de marché des systèmes de chauffage en 2050 selon le scénario politique	181
Figure 6.5 : Consommations de chauffage en 2050 selon le scénario politique	181

Figure 6.6 : Parts de marché des véhicules en 2050 selon le scénario politique.....	182
Figure 6.7 : Consommation des véhicules en 2050 selon le scénario politique.....	182
Figure 6.8 : Part modale des transports en commun en 2050 selon le scénario politique.....	183
Figure 6.9 : Structure des dépenses des ménages pour le scénario « Taxe seule ».....	184
Figure 6.10 : Structure des dépenses des ménages pour le scénario « Taxe/subventions »...	185
Figure 6.11 : Structure des dépenses des ménages en 2050 selon le scénario politique.....	186
Figure 6.12 : Impact des outils politiques sur la précarité énergétique.....	188

Index des tableaux

Tableau 2.1 : L'éducation reçue comme explication des pratiques domestiques	40
Tableau 2.2 : Taux d'actualisation implicite en fonction du revenu	46
Tableau 2.3 : Importance de différents attributs d'un système de chauffage.....	48
Tableau 2.4 : Motivations de déterminants de l'adoption pour différents acheteurs	50
Tableau 2.5 : Amplitude de l'effet rebond en fonction des usages	54
Tableau 2.6 : Caractéristiques socio-démographiques des types de consommateurs	63
Tableau 2.7 : Les pratiques des ménages des classes moyennes propriétaires avec enfants ...	67
Tableau 2.8 : Spatio-temporalité des modes de vie.....	68
Tableau 3.1 : Variables de sélection et de redressement de l'échantillon.....	78
Tableau 3.2 : Définition du tissu urbain.....	78
Tableau 3.3 : Usages finaux par type d'énergie	80
Tableau 3.4 : Variables explicatives de la consommation d'électricité spécifique.....	81
Tableau 3.5 : Gammes de distances renseignées par les individus	85
Tableau 3.6 : Taux de remplissage des voitures par type de ménage et par type de mobilité .	88
Tableau 3.7 : Type de consommation spécifique envisagée en fonction de la distance du trajet	89
Tableau 3.8 : Niveau de significativité des variables utilisées.....	99
Tableau 3.9 : Impact des variables sur la consommation de chauffage	100
Tableau 3.10 : Part explicative des différentes catégories de déterminants.....	101
Tableau 3.11 : Evaluation des pratiques domestiques.....	104
Tableau 3.12 : Caractéristiques des équipements.....	108
Tableau 4.1 : Composition des classes de ménages retenues.....	124
Tableau 4.2 : Segmentation de la demande pour le secteur résidentiel.....	126
Tableau 4.3 : Synthèse de la demande en besoin énergétique dans le résidentiel.....	134
Tableau 4.4 : Technologies du secteur résidentiel	135
Tableau 4.5 : Segmentation de la demande pour le secteur des transports	138
Tableau 4.6 : Part des déplacements par distance en fonction du tissu urbain	139
Tableau 4.7 : Caractéristiques des gammes de voiture	142
Tableau 4.8 : Potentiel de report modal par mode, par distance et par tissu.....	144
Tableau 4.9 : Prix et consommations des différents modes de transport en commun	146
Tableau 5.1 : Scénarios haut (H) et bas (L) de prix des énergies.....	153

Annexes

Annexe 3.1 : Eléments de discussion sur le choix des variables de calage

Statut d'activité

Le statut d'activité est obtenu à partir de la CSP détaillée en 42 postes. Le tableau 3.13 ci dessous donne la correspondance entre CSP et statut d'activité.

Statut d'activité	Postes CSP correspondants
Étudiant	Poste 84 : élève, étudiant de 15 ans et plus
Actif	Postes 11 à 69
Chômeur	Poste 81 chômeur n'ayant jamais travaillé et Postes 71 à 78 si individu âgé de moins de 60 ans
Personne au foyer	Poste 85 : Inactif de -60 ans
Retraité	Poste 86 : Inactif de +60 ans et postes 71 à 78 si individu âgé de plus de 60 ans

Tableau 3.13 : Description du statut d'activité

Tissu urbain

L'utilisation des termes rural, péri-urbain, banlieue et ville centre reposent sur des définitions précises de l'INSEE⁹³ qu'il convient tout d'abord de rappeler brièvement.

Unité urbaine : Il s'agit d'un ensemble de communes présentant une continuité du tissu bâti rassemblant au moins 2000 habitants. Si l'ensemble de communes ne contient qu'une commune celle-ci est appelée ville isolée

Pôle urbain : Il s'agit d'une unité urbaine offrant au moins 5000 emplois qui n'appartient pas à la couronne périurbaine d'un autre pôle urbain

Aire urbaine : Elle se constitue d'un pôle urbain en son centre et d'une couronne périurbaine composée de communes dont au moins 40% de la population travaille dans le pôle urbain centre de l'aire urbaine.

Au regard de ces définitions, une commune rurale est une commune qui n'appartient pas à une unité urbaine. Une commune périurbaine est soit une commune appartenant à une couronne périurbaine d'une aire urbaine soit une commune multipolarisée, c'est à dire dont 40% de la population travaille dans plusieurs aires urbaines. Une commune ville-centre est

⁹³ Voir sur le site de l'INSEE : <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/liste-definitions.htm>

une commune qui abrite plus de 50% de la population d'une unité urbaine. Et enfin une commune de banlieue est une commune qui n'est pas ville-centre de l'unité urbaine. Ces définitions ne s'excluent pas cependant, par exemple une commune peut être à la fois ville-centre et appartenir à la couronne périurbaine d'une aire urbaine. Nous avons donc procédé à une redéfinition de ces tissus pour que chaque commune n'appartienne qu'à un seul type de tissu. Les critères de cette définition bis sont présentés dans le tableau 3.14.

Type de tissu	Définition
Ville-centre	Commune ville-centre de l'unité urbaine du pôle urbain au centre de l'aire urbaine
Banlieue	Commune appartenant au pôle urbain au centre de l'aire urbaine
Périurbain	Commune appartenant à une aire urbaine
Rural	Commune hors aire urbaine (y.c villes isolées)

Tableau 3.14 : Redéfinition du tissu urbain à partir des définitions de l'INSEE

Ces définitions reposent sur des critères démographiques, de densité de bâti ou d'activité économique et peuvent ne pas être les plus pertinents pour la problématique des transports. Le choix de la distance au centre de l'aire urbaine a donc été retenu. L'agglomération de Paris étant un peu à part le critère de la distance au centre de 10km a été retouché. La petite couronne est considérée comme appartenant à la banlieue et la grande couronne comme appartenant au périurbain. Pour autant on peut constater que ces deux définitions ne sont pas si éloignées que cela comme le montre le tableau 3.15.

Type de tissu	Définition INSEE bis	Définition retenue
Ville-centre	26,8%	26,8%
Banlieue	21,5%	17,9%
Périurbain	28,5%	32,2%
Rural	23,2%	23,2%

Tableau 3.15 : Comparaison des effectifs entre les deux types de définition du tissu urbain

La différence principale se situe surtout au niveau du fait que des communes de banlieue au sens de l'INSEE dans la mesure où elles appartiennent à l'unité urbaine centre de l'aire urbaine se retrouvent en périurbain en raison de leur distance à la ville-centre.

Revenu

Pour prendre en compte l'impact du revenu on peut se référer au revenu total du ménage qui prend en compte le revenu de tous les membres du ménage et qui dépend donc du nombre

d'actifs. Ou bien on peut utiliser le notion de niveau de vie qui correspond d'après l'INSEE au revenu total par unité de consommation du ménage. Ces unités étant définies par l'OCDE et valent 1 pour le premier adulte du ménage, 0,5 pour tous les individus âgés de 14 ans et plus et 0,3 pour les individus de moins de 14 ans. Le niveau de vie permet d'indiquer le réel niveau de richesse du ménage et reflète plus son pouvoir d'achat, tandis que le revenu total permet de connaître le niveau de capital dont dispose le ménage chaque année. L'utilisation des unités de consommation semble pertinente pour prendre en compte le fait que les dépenses des ménages sont sous-additives avec le nombre d'individus du ménage. Par exemple les dépenses d'énergie, les consommations de chauffage ou de carburant se mutualisent, on ne consomme pas deux fois plus d'énergie si l'on est deux fois plus nombreux. La valeur des unités de consommation constitue une moyenne de la mutualisation sur le panier de biens des ménages. Il a été décidé initialement de pondérer les répondants de l'enquête en fonction de leur niveau de vie, pour être représentatif du niveau de contrainte énergétique subi par les ménages.

Annexe 3.2 : Prix des énergies domestiques

Les tableaux 3.16 et 3.17 fournissent les prix des différentes énergies domestiques

Source d'énergie	Prix : source Pégase/DGEMP
Gaz naturel	Abonnement base : 30€ 100 kWh PCS : 8,04€
	Abonnement B0 : 42€ 100 kWh PCS : 6,71€
	Abonnement B1 : 142€ 100 kWh PCS : 4,72€
	Abonnement B2I : 194€ 100 kWh PCS : 4,64€
Fioul domestique	1 L : 0,83€
GPL	1L : 1,53€
Bois	1 stère chaudière: 44€
	1 stère appareil indépendant : 55€

Tableau 3.16 : Prix des énergies (hors électricité) en 2008

Base							
Puissance kVA	Abonnement €	€/ kWh					
3	28,01	0,1365					
6	72,00	0,1107					
9	141,30	0,1106					
12	202,58	0,1106					
15	262,68	0,1106					
18	322,70	0,1106					
24	568,98	0,1106					
30	782,90	0,1106					
36	996,58	0,1106					
HP/HC							
Puissance kVA	Abonnement €	€/kWh Heure Creuse	€/kWh Heure Pleine				
3	97,70	0,0704	0,1256				
6	122,77	0,0668	0,1104				
9	215,84	0,0668	0,1104				
12	320,31	0,0668	0,1104				
15	415,92	0,0668	0,1104				
18	511,43	0,0668	0,1104				
24	860,31	0,0668	0,1104				
30	1189,88	0,0668	0,1104				
36	1519,42	0,0668	0,1104				
Tempo							
Puissance kVA	Abonnement €	€/HC bleu	€/HP bleu	€/HC blanc	€/HP blanc	€/HC rouge	€/HP rouge
9	192,75	0,0454	0,0567	0,0953	0,1128	0,1761	0,4928
12	265,12	0,0454	0,0567	0,0953	0,1128	0,1761	0,4928
15	272,03	0,0454	0,0567	0,0953	0,1128	0,1761	0,4928
18	278,80	0,0454	0,0567	0,0953	0,1128	0,1761	0,4928
24	496,76	0,0454	0,0567	0,0953	0,1128	0,1761	0,4928
30	513,16	0,0454	0,0567	0,0953	0,1128	0,1761	0,4928
36	683,89	0,0454	0,0567	0,0953	0,1128	0,1761	0,4928
EJP							
Puissance kVA	Abonnement €	€/Heure Normale	€/Pointe Mobile				
12	135,12	0,0789	0,6427				
15	135,12	0,0789	0,6427				
18	135,12	0,0789	0,6427				

Tableau 3.17 : Tarifs en vigueur pour l'électricité en 2008

Annexe 3.3 : Contenu du questionnaire papier réalisé

Il faut noter que certaines informations comme la surface, l'âge et la CSP des membres du ménage ou encore la possession d'équipements électroménagers ou d'éclairage sont disponibles directement via le panel Métascope SOFRES et ne sont donc pas demandées.

Volet « Ménages »



138, avenue Marx Dormoy
92129 Montrouge Cedex - France
Tél. Vert : 0 800 36 90 58

Ce questionnaire est à remplir par :

Valeur questionnaire : n points

B- LOGEMENT ET ENVIRONNEMENT

Parlons de votre résidence principale.

B0 - Votre logement principal est-il... ? *1 seule réponse*

- Une maison individuelle → *Passez à B1*
- Un appartement dans un immeuble collectif → *Passez à B9*
- Autre (péniche, caravane, ...) → *Passez à C1*

B1 - Quel est le degré de mitoyenneté de la maison ? *1 seule réponse*

- Indépendante
- Mitoyenne sur 1 coté
- Mitoyenne sur 2 cotés

B2 - Grâce au schéma ci-dessous, évaluez le nombre d'étages chauffés dans votre maison. *1 seule réponse*

- 1 étage
- 1,5 étage
- 2 étages
- 2,5 étages
- 3 étages
- 4 étages ou plus



B3 - De laquelle des 3 formes suivantes, celle de votre maison est-elle la plus proche ? *1 seule réponse*

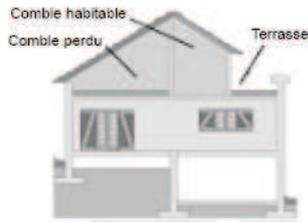
• Forme compacte <input type="checkbox"/>	• Forme en L ou allongée <input type="checkbox"/>	• Forme complexe <input type="checkbox"/>

B4 - Quelle est la configuration sous plancher de votre maison? *Plusieurs réponses possibles*

- Terre-plein ou extérieur
- Vide sanitaire
- Sous-sol, cave ou autre local non chauffé

B5 - Quel est le type de toiture de votre maison ?
Plusieurs réponses possibles

- Combles perdus.....
- Combles habitables chauffés.....
- Combles habitables non chauffés.....
- Toiture terrasse.....



B6 - La toiture de votre maison est-elle isolée ? 1 seule réponse

- Oui (au moins partiellement)..... → *Passez à B7*
- Non..... → *Passez à B8*

B7 - Quelle est approximativement l'épaisseur de l'isolant de la toiture de votre maison ? 1 seule réponse

- 2-5 cm.....
- 6-9 cm.....
- 10 cm ou plus.....

B8 - Votre maison possède t-elle une véranda ? 1 seule réponse

- Oui.....
- Non..... } *Passez à B14*

REPONDEZ AUX QUESTIONS B9 À B13 SI VOUS HABITEZ DANS UN APPARTEMENT, SINON PASSEZ DIRECTEMENT À LA QUESTION B14

B9 - Quel est le nombre d'étages de l'immeuble (y compris le rez-de-Chaussée) ?

B10 - A quel étage habitez-vous ?
Notez 0 si vous habitez le Rez-de-Chaussée

B11 - Quelle est la configuration au dessus du plafond de votre appartement ? 1 seule réponse

- Autre appartement occupé.....
- Combles.....
- Toiture terrasse.....
- Local non chauffé ou autre appartement inoccupé.....

B12 - Quelle est la configuration sous le plancher de votre appartement ? 1 seule réponse

- Autre appartement occupé.....
- Terre-plein.....
- Vide sanitaire.....
- Local non chauffé (parking, cave, local technique, local vélo, ...) ou autre appartement inoccupé.....
- Extérieur.....

B13 - Combien de murs extérieurs de votre appartement donnent sur... 1 seule réponse
Un même mur pour 2 pièces différentes compte pour un seul mur. Si par exemple 2 pièces alignées donnent sur la rue, on compte un mur.

	Nombre de murs
• ...un appartement voisin (du même immeuble ou de la même copropriété) ?	<input type="text"/>
• ...les parties communes de votre immeuble ou d'un immeuble de la même copropriété ?	<input type="text"/>
• ...un immeuble voisin ou une maison voisine ?	<input type="text"/>
• ...l'extérieur ?	<input type="text"/>

B14 - Quelle est la hauteur sous plafond de votre logement ? 1 seule réponse

Indiquez en clair la hauteur sous plafond de votre logement : , mètres

OU cochez l'une des 2 propositions ci-après :

- 2m30 - 2m50 (standard).....
- 3m et plus (type haussmannien)...

B14bis - En quelle année votre logement a-t-il été construit ? 1 seule réponse.

Si vous ne savez pas vous pouvez cocher la case correspondant à la période de construction qui vous semble la plus probable.

- Avant 1914.....
- 1915-1948.....
- 1949-1974.....
- 1975-1988.....
- 1989-2000.....
- Après 2000.....



- B15** - De combien des types de surfaces vitrées suivantes votre logement est-il équipé ?
B16 - Et combien sont équipées de volets ?
B16bis - Quelles sont approximativement les dimensions de ces surfaces vitrées (uniquement les vitres / carreaux) ?
Si plusieurs dimensions pour un même type de surface, indiquez la surface la plus grande

	B15	B16	B16bis	
	Nombre	Nombre	Largeur	Hauteur
• Fenêtres.....	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm
• Portes-fenêtres	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm
• Vélux.....	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> cm	<input type="text"/> cm

B17 - Quelle est l'orientation principale des surfaces vitrées du logement ? *1 seule réponse*
Si plusieurs orientations, cocher celle qui concerne le plus de surfaces vitrées.

- Sud.....
- Sud-Ouest.....
- Sud-Est.....
- Autre orientation.....

B18 - Votre logement est-il équipé en double vitrage ?
1 seule réponse

- Oui, totalement..... } *Passez à B19*
- Oui, en partie..... }
- Non..... → *Passez à B20*

B19 - De quel type de double-vitrage s'agit-il? *1 seule réponse*

- Ancien : avant 1990.....
- Récent : après 1990.....

B20 - Quel est le matériau de construction des murs extérieurs ?
1 seule réponse

- Parpaing, brique, béton.....
- Colombage, bois.....
- Pierre.....
- Autre.....

B21 - Les murs donnant sur l'extérieur sont-ils isolés ?
1 seule réponse

- Oui..... → *Passez à B22*
- Non..... → *Passez à B24*

B22 - Il s'agit d'une isolation : *1 seule réponse*

- Par l'intérieur.....
- Par l'extérieur.....

B23 - Et quelle est environ l'épaisseur d'isolant ?
1 seule réponse

- 5 cm ou moins.....
- Environ 10 cm.....
- Environ 15 cm.....
- Environ 20 cm.....
- 25 cm ou plus.....

B24 - Votre logement est-il équipé d'une VMC (ventilation mécanique contrôlée) *1 seule réponse*

- Oui.....
- Non.....

B25 - En quelle année avez-vous emménagé dans ce logement ?

B26 - Comptez-vous quitter ce logement ? *1 seule réponse*

- Oui, dans 3 ans ou moins.....
- Oui, dans 4 à 10 ans.....
- Oui, dans plus de 10 ans.....
- Non.....

B27 - IDÉALEMENT, Si vous pouviez choisir librement, préféreriez-vous habiter ? *1 seule réponse*

- Le centre d'une grande ville.....
- La périphérie.....
- Une petite ville
(citez un exemple en France : ▼).....

- Une ville moyenne
(citez un exemple en France : ▼).....

- Un village proche de la ville.....
- Un village à la campagne.....



C- USAGES DOMESTIQUES

CHAUFFAGE

C1 - Quels moyens de chauffage utilisez-vous ? *Cochez les cases correspondant aux modes de chauffage que vous utilisez en tant que chauffage principal (en cochant dans la 1^{ère} colonne), en tant que chauffage d'appoint occasionnel (en cochant la 2^{ème} colonne) ou exceptionnel (en cochant dans la 3^{ème} colonne).*

Mode de chauffage		Chauffage principal <i>1 seule réponse</i>	Chauffage d'appoint <i>(Plusieurs réponses possibles)</i>	
			Occasionnellement <i>(plus de 15 jours par an)</i>	Exceptionnellement <i>(quelques jours par an)</i>
• Chauffage urbain (réseau de chaleur).....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Chaudière collective.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Chaudière murale standard.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Chaudière au sol.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Chaudière basse température.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Chaudière à condensation.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Poêle à kerdane ou autre combustible liquide.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Poêle à bois.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Convecteurs électriques.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Panneaux rayonnants électriques.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Plancher rayonnant électrique.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Pompe à chaleur en relèvement de chaudière.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Pompe à chaleur : chauffage par l'air intérieur.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Pompe à chaleur : chauffage par circuit eau chaude.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Cheminée à foyer ouvert.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Cheminée à foyer fermé ou insert bois.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Radiateur électrique mobile.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Cuisinière chauffante.....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Autre (préciser :).....	→	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

C2 - Si vous utilisez une chaudière (individuelle ou collective), un poêle ou une cuisinière chauffante (comme mode de chauffage principal) quel type d'énergie est principalement utilisé par cet appareil ? *1 seule réponse*

- | | |
|--|---|
| • Gaz de ville..... <input type="checkbox"/> | • Bois..... <input type="checkbox"/> |
| • Fioul..... <input type="checkbox"/> | • Charbon..... <input type="checkbox"/> |
| • GPL (Propane et / ou butane)..... <input type="checkbox"/> | • Electricité..... <input type="checkbox"/> |
| | • Autre..... <input type="checkbox"/> |

C3 - Quel est l'âge de votre système principal de chauffage ? *1 seule réponse*

- | | |
|--|--|
| • Moins de 5 ans..... <input type="checkbox"/> | • 16-25 ans..... <input type="checkbox"/> |
| • 5-10 ans..... <input type="checkbox"/> | • Plus de 25 ans..... <input type="checkbox"/> |
| • 11-15 ans..... <input type="checkbox"/> | |

C4 - Si vous utilisez une chaudière individuelle, à quelle fréquence fait-elle l'objet d'un entretien ? *1 seule réponse*

- | |
|--|
| • Tous les 1 ou 2 ans..... <input type="checkbox"/> |
| • Tous les 3 à 10 ans..... <input type="checkbox"/> |
| • Plus rarement ou pas d'entretien..... <input type="checkbox"/> |

C5 - Si vous utilisez un ou plusieurs modes de chauffage d'appoint (occasionnellement ou exceptionnellement), quelle en est la raison ? *1 seule réponse*

- | |
|--|
| • Pour chauffer sans avoir à démarrer le chauffage principal (premiers jours de froid ou hors saison froide)..... <input type="checkbox"/> |
| • Pour compléter le chauffage principal lors des jours très froids..... <input type="checkbox"/> |
| • Autre raison..... <input type="checkbox"/> |

C6 - Avez-vous la possibilité d'utiliser les équipements suivants ? Votre logement est-il équipé de :

	Oui	Non
• Un régulateur de température (avec température de consigne) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Un programmeur de température ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Des robinets thermostatiques ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

C7 - Quelle est, en règle générale, la température de votre séjour (ou pièce principale de vie) en hiver ?

Saisissez en clair la température : , °C
ou si vous préférez, cochez :

- | | |
|----------------------|--------------------------|
| • 16°C ou moins..... | <input type="checkbox"/> |
| • 17-19°C..... | <input type="checkbox"/> |
| • 20-22°C..... | <input type="checkbox"/> |
| • 23°C ou plus..... | <input type="checkbox"/> |

C8 - Généralement, en hiver, certaines pièces de votre logement sont-elles moins chauffées que votre séjour ou la pièce principale de vie ou pas du tout chauffées ?

- | | | |
|---|---|--------------|
| • Oui, certaines pièces sont moins chauffées ou pas chauffées..... <input type="checkbox"/> | → | Passez à C9 |
| • Non, l'ensemble du logement est chauffé à la même température..... <input type="checkbox"/> | → | Passez à C10 |

C9 - Si oui, combien de pièces sont ...

...moins chauffées ?

...pas du tout chauffées ?

C10 - Réduisez-vous la température de chauffage lors des occasions suivantes ? 1 seule réponse par ligne

Occasions	Oui, toujours	Oui, souvent	Oui, quelquefois	Non, jamais
Absence pendant une demi journée	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Absence pendant 1 jour ou 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Absence pendant une semaine ou plus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pendant la nuit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

C11 - En hiver, à quelle fréquence aérez-vous votre logement ? 1 seule réponse

- Tous les jours.....
- 1 fois par semaine ou moins.....
- Plusieurs fois par semaine.....

C12 - Lorsque vous l'aérez, combien de temps l'aération dure t-elle en moyenne ? 1 seule réponse

- Moins de 10 min.....
- 10 à 29 min.....
- 30 min à 59 min.....
- 1h à 2h.....
- Plus de 2h.....

C13 - En hiver, que faites vous avec les bouches d'aération ? 1 seule réponse

- Vous les laissez toutes ouvertes.....
- Vous en laissez certaines ouvertes.....
- Vous les laissez toutes fermées.....

C14 - Les fenêtres de votre logement sont-elles dotées d'un joint calfeutré sur le pourtour ? (Voir schéma ci-contre)

- Oui en totalité.....
- Oui en partie.....
- Non.....



EAU CHAUDE SANITAIRE

C15 - Quelle est la taille du ballon d'eau chaude alimentant votre salle de bain ou de douche ? 1 seule réponse. Si vous disposez de plusieurs ballons, notez la taille du ballon le plus important

- Inférieur à 80 litres.....
- 80 à 124 litres.....
- 125 à 174 litres.....
- 175 à 250 litres.....
- Plus de 250 litres.....

C16 - Combien de bains sont pris en moyenne par semaine par l'ensemble des membres de votre foyer ?

bains

C17 - Combien de douches sont prises en moyenne par semaine par l'ensemble des membres de votre foyer ?

douches

C18 - Quelle est la durée moyenne d'une douche au sein de votre foyer ? 1 seule réponse

- Moins de 5 min.....
- Entre 5 et 15 min.....
- Plus de 15 min.....

C19 - Laissez-vous l'eau couler pendant toute la durée de la douche ? 1 seule réponse

- Oui.....
- Non.....
- C'est variable selon la personne qui se douche..

CONFORT D'ETE / RAFRAICHISSEMENT

C20 - Quelle est, en règle générale, la température de votre séjour (ou pièce principale de vie) en été ?

Saisissez en clair la température : , °C
ou cochez :

- 22°C ou moins.....
- 23-25°C.....
- 26-28°C.....
- Plus de 28°C.....

C21 - En été, aérez-vous le logement le matin et/ou la nuit en vue de profiter de la fraîcheur ? 1 seule réponse

- Oui le plus souvent.....
- Oui de temps en temps.....
- Non.....

C22 - En été, fermez-vous les volets et/ou les stores pendant la journée pour réduire la chaleur du logement ? 1 seule réponse

- Oui le plus souvent.....
- Oui de temps en temps.....
- Non.....

AUTRES USAGES

C23 - Utilisez-vous des ampoules basse-consommation dans votre logement ? 1 seule réponse

- Oui, principalement.....
 - Oui, en partie.....
 - Non.....
- } Passez à C24
- Passez à C25

C24 - Les utilisez vous plutôt dans les pièces de vie principales (séjour, cuisine, salle à manger) ? 1 seule réponse

- Oui.....
- Non.....

C25 - Vous arrive-t-il de trouver la lumière allumée en entrant dans une pièce inoccupée ? 1 seule réponse

- Régulièrement.....
- De temps en temps.....
- Très rarement.....
- Jamais.....

C26 - Vous arrive-t-il d'allumer la lumière en cours de journée, dans les pièces les plus sombres, bénéficiant moins de la lumière du jour ? 1 seule réponse

- Régulièrement.....
- De temps en temps.....
- Très rarement.....
- Jamais.....

C27 - Indiquez pour chacun des équipements suivants :

- a) combien vous en utilisez régulièrement *1 seule réponse possible par équipement*
 b) l'âge de celui que vous utilisez le plus souvent *1 seule réponse possible par équipement*
 c) le volume de celui que vous utilisez le plus souvent *1 seule réponse possible par équipement*

Équipement <i>Merci de lire la liste avant de répondre</i>	a) Nombre			b) Age			c) Volume		
	0	1	2 ou +	Moins de 5 ans	6-10 ans	Plus de 10 ans	Moins de 150 L	150-250 L	Plus de 250 L
• Combiné réfrigérateur/congélateur.....	<input type="checkbox"/>								
• Réfrigérateur américain.....	<input type="checkbox"/>								
• Réfrigérateur.....	<input type="checkbox"/>								
• Congélateur indépendant.....	<input type="checkbox"/>								
• Lave-vaisselle.....	<input type="checkbox"/>								
• Lave-linge.....	<input type="checkbox"/>								
• Sèche linge.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

RÉPONDEZ À LA QUESTION C28 SI VOTRE LOGEMENT EST ÉQUIPÉ D'UN COMBINÉ RÉFRIGÉRATEUR / CONGÉLATEUR

- C28 -** Si vous utilisez un combiné réfrigérateur / congélateur, quelle est approximativement la part de l'espace congélateur par rapport au volume total du combiné ? *1 seule réponse*
- 1/5 ou moins
 - Environ 1/4.....
 - 1/3 ou plus

RÉPONDEZ AUX QUESTIONS C29 A C31 SI VOTRE LOGEMENT EST ÉQUIPÉ D'UN LAVE-LINGE

- C29 -** A quelle fréquence utilisez-vous votre lave-linge ? *1 seule réponse*
- Plusieurs fois par jour
 - Une fois par jour.....
 - Plusieurs fois par semaine.....
 - Une fois par semaine
 - Moins d'une fois par semaine
- C30 -** Utilisez-vous votre lave-linge le plus souvent lorsqu'il est complètement rempli ? *1 seule réponse*
- Oui
 - Non
 - Peu importe
- C31 -** À quelle température l'utilisez vous le plus souvent ? *1 seule réponse*
- 30° C ou moins
 - 40° C.....
 - 60° C.....
 - 90° C.....

RÉPONDEZ AUX QUESTIONS C32 À C33 SI VOTRE LOGEMENT EST ÉQUIPÉ D'UN LAVE-VAISSELLE

- C32 -** À quelle fréquence utilisez-vous en moyenne votre lave-vaisselle ? *1 seule réponse*
- Plusieurs fois par jour.....
 - Une fois par jour.....
 - Plusieurs fois par semaine
 - Une fois par semaine
 - Moins d'une fois par semaine

- C33 -** Attendez-vous que votre lave-vaisselle soit complètement rempli pour le faire fonctionner ? *1 seule réponse*

- Oui
- Non
- Peu importe

- C34 -** Pour chacun des appareils suivants combien sont utilisés par l'ensemble des membres de votre foyer ? *Ne comptez que ceux qui sont utilisés*

Appareils	Aucun	1	2 ou plus
• Téléviseur cathodique.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Téléviseur LCD.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Téléviseur plasma.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ordinateur fixe.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Ordinateur portable.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Box internet.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Console de jeux vidéo.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- C35 -** Pendant combien de temps par jour la télévision principale est elle allumée ?

- Moins de 2h
- 2-3h.....
- 4-6h.....
- Plus de 6h.....

- C36 -** Pendant combien de temps par jour l'ordinateur principal est il allumé ?

- Moins de 2h
- 2-3h.....
- 4-5h.....
- 6-12h.....
- Plus de 12h.....

- C37 -** Lorsque personne ne la regarde, la télévision est le plus souvent :

- Éteinte.....
- En veille...
- Allumée

- C38 -** Lorsque personne ne l'utilise, l'ordinateur est le plus souvent :

- Complètement éteint.....
- En veille.....
- Allumé avec l'écran éteint.....
- Allumé complètement.....

CONSOMMATION D'ÉNERGIE

C39 - Pour votre logement, utilisez-vous une autre énergie que l'électricité, que ce soit pour vous chauffer, pour la production d'eau chaude ou pour la cuisson ? *1 seule réponse*

- Oui ... → **Passez à C40** • Non ... → **Passez à C42**

C40 - Si vous utilisez le gaz de ville, quel tarif avez-vous souscrit ?

Aidez-vous de l'annexe 1 qui figure au verso de votre lettre d'invitation et vous indique où trouver cette information sur votre facture de Gaz Naturel.

Le 1 correspond à l'historique des consommations et le 2 au tarif souscrit, sur une facture Gaz de France.

C41 - Indiquez pour chacune des énergies figurant dans le tableau ci-dessous, votre consommation pour l'ensemble de l'année 2008 :

Énergie	Consommation totale en 2008	Montant des dépenses en euros
Gaz de ville	 kWh	 euros
Fioul	 litres	 euros
GPL	 tonnes	 euros
Bois	 stères	 euros
	ou m ³	

C42 - Pour votre logement, payez-vous des charges ? *1 seule réponse*

- Oui, des charges locatives..... } **Passez à C43**
 • Oui, des charges de copropriété... }
 • Non..... → **Passez à D1**

C43 - Quel est le montant mensuel des charges ?

Indiquez en clair : euros par mois

C44 - Les charges (locatives ou de copropriété), contiennent elles une part relative au chauffage ?

- Oui → **Passez à C45**
 • Non..... → **Passez à D1**

C45 - Si le chauffage est inclus dans ces charges, quel est le montant de la part de charges relatives au chauffage ?

Indiquez en clair : euros par mois

ou euros par an

D- TRANSPORTS

D1 - A quelle distance de votre domicile se situe la station de transport en commun la plus proche ? (bus, car, tramway, val, métro, RER, train SNCF) *1 seule réponse*

	Moins de 300 m	De 301 m à 1 km	De 1,1 km à 5 km	Plus de 5 km	Pas à proximité
Ligne de bus ou de tramway	<input type="checkbox"/>				
Ligne de métro, VAL, RER	<input type="checkbox"/>				
Gare SNCF	<input type="checkbox"/>				

D2 - Combien possédez vous de voitures ou fourgonnettes ?

Indiquez en clair :

- Si 0 → **Passez à D12**
 • Si 1 ou plus → **Passez à D3**

D3 - Indiquez le type d'emplacement dont vous disposez pour garer votre (vos) véhicule(s) à votre domicile. *Plusieurs réponses possibles*

- Un ou plusieurs garages(s) attenant au domicile.....
 • Un ou plusieurs box ou emplacement(s) de parking réservé.....
 • Pas de place réservée mais le stationnement est aisé à proximité du domicile
 • Pas de place réservée et le stationnement est difficile à proximité du domicile

D4 - Quelles sont les caractéristiques de votre véhicule principal et du véhicule secondaire si vous possédez 2 véhicules ? *Si vous possédez plus de 2 véhicules, renseignez les 2 que vous considérez comme les plus utilisés. Reportez les éléments comme présentés sur la carte grise du véhicule en vous référant aux annexes 2 en fin de questionnaire.*

Caractéristiques	Véhicule principal	Véhicule secondaire
A: Genre	 	
B: Marque	 	
C: Modèle	 	
D: Année de mise en circulation	 	
E: Type carburant utilisé	 	
F: Poids total à vide	 	
G: Puissance administrative	 CV	 CV
I: Puissance*	 CV	 CV
J: CO2*	 	

* informations disponibles sur les cartes grises récentes uniquement

D5 - A votre avis combien consomme votre véhicule aux 100 km en ville et sur la route ?

	Véhicule principal	Véhicule secondaire
En ville	<input type="text"/> , <input type="text"/> litres aux 100 km	<input type="text"/> , <input type="text"/> litres aux 100 km
Sur route	<input type="text"/> , <input type="text"/> litres aux 100 km	<input type="text"/> , <input type="text"/> litres aux 100 km

D6 - Cochez parmi les équipements suivants ceux que vous utilisez à bord de votre véhicule principal
Plusieurs réponses possibles

- Régulateur de vitesse
- Ordinateur de bord (permettant de calculer la consommation instantanée)
- GPS

D7 - A quelle fréquence les pneus de votre véhicule principal sont-ils vérifiés ? *1 seule réponse*

- Tous les mois
- Tous les 2 mois
- Tous les 4 mois
- Moins souvent que tous les 4 mois

D8 - Combien de km avez vous parcouru L'AN DERNIER avec votre véhicule principal ?

Saisissez en clair le kilométrage :

ou cochez : km par an

- Moins de 5000 km dans l'année
- Entre 5000 et 10 000 km dans l'année
- Entre 10 001 et 15 000 km dans l'année
- Entre 15 001 et 20 000 km dans l'année
- Plus de 20 000 km dans l'année

D9 - Combien de fois êtes-vous allé prendre de l'essence dans une station service au cours du mois dernier pour le véhicule principal ?

fois

D10 - Combien y dépensez vous en moyenne à chaque passage ?

euros

D11 - En moyenne, combien de litres de carburant cela représente-t-il à chaque fois ?

litres

D12 - En ce qui concerne les transports en commun, combien chacun des membres de votre foyer dépense t-il en moyenne par mois en titres de transports en commun (avion, train, bus, car, métro, tramway...) pour des déplacements du lundi au vendredi uniquement ?

Attention ne comptez pas les frais liés à des déplacements réalisés le week-end.

Remplissez une ligne pour chaque personne de votre foyer, y compris les enfants de plus de 12 ans.

	Déplacements du lundi au vendredi
<input type="text"/>	euros

E- CHOIX PERSONNELS

PREFERENCES

E1 - Lors de l'achat d'un système de chauffage, sur quels critères parmi les suivants vous basez-vous prioritairement pour effectuer votre choix parmi plusieurs systèmes ?

Veillez noter de 1 à 3 pour les 3 critères de choix les plus importants pour vous (1 étant votre 1^{er} critère de choix)

• Prix d'achat.....	<input type="text"/>
• Facilité d'utilisation et d'entretien	<input type="text"/>
• Consommation d'énergie.....	<input type="text"/>
• Durabilité du système (durée de vie du système).....	<input type="text"/>
• Impact environnemental	<input type="text"/>
• Performance du système (rapidité de chauffage, qualité air...)...	<input type="text"/>
• Sécurité	<input type="text"/>
• Avoir été conseillé par un proche	<input type="text"/>

E2 - Imaginez maintenant qu'il vous est proposé de remplacer dans l'année qui vient votre système de chauffage actuel par un autre plus performant au niveau énergétique, dont le coût s'élève à 7 000€.

A partir de quel montant d'économie annuelle sur votre facture de chauffage seriez-vous prêt à installer ce nouveau système ?

- Vous êtes prêt à le remplacer pour une économie annuelle

de euros

- Vous ne remplacerez pas votre système actuel

E3 - Lors de l'achat d'un réfrigérateur, sur quels critères parmi les suivants vous basez-vous prioritairement pour effectuer votre choix parmi plusieurs réfrigérateurs ?

Veillez noter de 1 à 3 pour les 3 critères de choix les plus importants pour vous (1 étant votre 1^{er} critère de choix)

• Prix d'achat.....	<input type="text"/>
• Facilité d'utilisation et d'entretien	<input type="text"/>
• Consommation d'énergie.....	<input type="text"/>
• Impact environnemental	<input type="text"/>
• Durabilité du système (durée de vie du système).....	<input type="text"/>
• Performance du système.....	<input type="text"/>
• Design.....	<input type="text"/>
• Avoir été conseillé par un proche	<input type="text"/>

E4 - Imaginez maintenant qu'il vous est proposé de remplacer dans l'année qui vient votre réfrigérateur actuel par un autre plus performant au niveau énergétique dont le coût s'élève à 400€.

A partir de quel montant d'économie annuelle sur votre facture d'électricité seriez-vous prêt à acheter cet autre réfrigérateur ?

- Vous êtes prêt à le remplacer pour une économie annuelle

de euros

- Vous ne remplacerez pas votre système actuel

E5 - Lors de votre prochain achat de véhicule principal, vers quelle gamme vous tournerez-vous ?

- Citadine
- Compacte.....
- Familiale.....
- Break.....
- Routière.....
- Monospace.....
- Tout-terrain.....
- Cabriolet.....

E6 - Lors de l'achat d'une voiture, sur quels critères vous basez-vous prioritairement pour effectuer votre choix parmi plusieurs véhicules ?

Veillez noter de 1 à 3 pour les 3 critères de choix les plus importants pour vous (1 étant votre 1^{er} critère de choix)

• Prix d'achat.....	<input type="text"/>
• Performances techniques du véhicule (accélération, vitesse, qualité freinage.....)	<input type="text"/>
• Marque.....	<input type="text"/>
• Confort.....	<input type="text"/>
• Durée de vie du véhicule.....	<input type="text"/>
• Consommation d'énergie.....	<input type="text"/>
• Design et esthétique.....	<input type="text"/>
• Impact environnemental	<input type="text"/>
• Avoir été conseillé par un proche	<input type="text"/>

E7 - Quel montant approximatif pensez-vous dépenser lors du renouvellement de votre véhicule principal par un nouveau véhicule (neuf ou d'occasion) ? *1 seule réponse*

- Moins de 3 000€.....
- Environ 6 000€.....
- Environ 9 000€.....
- Environ 12 000€.....
- Environ 15 000€.....
- Environ 18 000€.....
- Environ 21 000€.....
- Environ 24 000€.....
- Environ 27 000€.....
- Environ 30 000€.....
- Environ 40 000€.....
- Environ 50 000€.....
- Plus de 50 000€.....

E8 - Lors de l'achat de ce nouveau véhicule, s'il vous est proposé d'acquérir un modèle du même type que celui que vous comptiez acquérir mais qui serait plus efficace au niveau énergétique pour un coût supérieur de 2 000 euros, pour quel montant annuel d'économie sur votre facture de carburant seriez-vous prêt à vous procurer le modèle le plus efficace au niveau énergétique ?

- Vous seriez prêt à acquérir le modèle plus efficace pour une économie annuelle de : euros

E9 - S'il vous est proposé de remplacer dans l'année qui vient votre voiture principale actuelle par ce modèle plus efficace au niveau énergétique, à partir de quel montant annuel d'économie sur votre facture de carburant êtes-vous prêt à acheter cet autre véhicule ?

- Vous êtes prêt à le remplacer pour une économie annuelle de : euros

- Vous ne remplacerez pas votre véhicule actuel.....

E10 - Voici une série de portraits de personnes. Pouvez-vous dire, pour chacun d'eux, jusqu'à quel point cette personne est comme vous ou différente de vous ? Si elle n'est pas du tout comme vous, cochez la case " pas du tout comme moi " ; si elle est tout à fait comme vous, cochez la case " tout à fait comme moi " ; les cases intermédiaires servent à nuancer votre opinion.

1 réponse par ligne

	Pas du tout comme moi	Pas comme moi	Un petit peu comme moi	Un peu comme moi	Comme moi	Tout à fait comme moi
• C'est important pour cette personne d'avoir des idées nouvelles et d'être créative. Il / Elle aime faire des choses à sa façon, de manière originale.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Il / Elle pense que c'est important que tous les hommes du monde soient traités de manière égale. Il / Elle croit que tout le monde devrait avoir les mêmes chances dans la vie.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Il est très important pour cette personne de montrer ses capacités. Il / Elle veut que les gens admirent ce qu'il / elle ait.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Il / Elle croit que la plupart des choses qui nous arrivent dans la vie ont une signification cachée. Pour lui / elle, rien n'arrive par hasard.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• C'est important pour cette personne de vivre dans un endroit où il / elle se sent en sécurité. Il/Elle évite tout ce qui pourrait le / la mettre en danger.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Il / Elle aime les surprises et est toujours à la recherche de nouvelles choses à faire. Il / Elle pense que c'est important de faire une foule de choses différentes dans la vie.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Il / Elle croit que les gens devraient faire ce qu'on leur dit de faire. Il / Elle pense que l'on doit toujours suivre les règles, même si personne ne vous surveille.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• C'est important pour cette personne d'écouter des gens différents de lui / elle. Même si il/elle n'est pas d'accord avec eux, il / elle veut malgré tout les comprendre.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• C'est important pour lui / elle d'être humble et modeste. Il / Elle essaie de ne pas attirer l'attention sur lui/elle.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Il / Elle recherche toutes les occasions de s'amuser. C'est important pour lui / elle de faire des choses qui lui procurent du plaisir.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• C'est important pour cette personne d'être riche. Il / Elle veut avoir beaucoup d'argent et posséder des choses qui coûtent cher.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Il / Elle pense qu'il faut toujours progresser et approfondir ses connaissances. Ce qui est vrai est important pour lui / elle.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• C'est important pour cette personne d'avoir des responsabilités. Il / Elle aime être le leader.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• C'est important pour cette personne de décider lui-même / elle-même de ce qu'il / elle fait. Il / Elle aime être libre et ne pas dépendre des autres.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• C'est très important pour cette personne d'aider les gens qui l'entourent. Il / Elle veut prendre soin de leur bien-être.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Avoir beaucoup de succès est important pour lui / elle. Il / Elle espère que les gens reconnaîtront ses réussites.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• C'est important pour lui / elle de se fier essentiellement à son instinct pour prendre des décisions importantes. Il / Elle pense qu'on doit toujours suivre ses pulsions même quand elles sont contraires à la raison.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Il est important pour cette personne que le gouvernement garantisse sa sécurité face à tous les dangers. Il / Elle veut que l'Etat soit fort de manière à défendre les citoyens.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Il / Elle cherche toujours l'aventure et aime prendre des risques. Il / Elle veut avoir une vie passionnante.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• C'est important pour lui / elle de se comporter comme il faut. Il / Elle veut éviter de faire des choses qui ne seraient pas jugées correctes.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Il est important pour lui / elle d'être respecté(e) par les autres. Il / Elle veut que les autres fassent ce qu'il leur dit.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• C'est important pour lui / elle d'être fidèle à ses amis. Il / Elle veut se dévouer aux gens qui lui sont proches.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Il est important pour lui / elle de ne pas se priver. Il / Elle aime prendre du bon temps.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Les traditions sont importantes pour cette personne. Il / Elle essaie de suivre les coutumes transmises par sa religion ou sa famille.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Il / Elle est convaincu(e) que les gens devraient protéger la nature. Préserver l'environnement est important pour lui / elle.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Il est important pour cette personne que tout soit bien organisé et que les choses soient à leur place. Il / Elle n'aime pas le désordre.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• C'est important pour lui / elle de connaître le pourquoi des choses. Il / Elle aime réfléchir de manière logique en faisant appel à sa raison.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

QUESTIONS GENERALES

RS1 - Quel est le patrimoine de votre ménage (prenez en compte le patrimoine financier et immobilier) ?

- Inférieur à 5 000 euros
- Entre 5 001 et 30 000 euros.....
- Entre 30 001 et 150 000 euros.....
- Entre 150 001 et 300 000 euros.....
- Supérieur à 300 000 euros

RS2 - Quel montant mensuel total de crédit(s) votre ménage a-t-il à rembourser (prenez en compte vos crédits immobiliers et vos crédits à la consommation) ?

- Aucun crédit.....
- Inférieur à 250 euros
- Entre 250 et 500 euros.....
- Entre 501 et 750 euros.....
- Entre 751 et 1000 euros.....
- Entre 1 001 et 1 500 euros.....
- Supérieur à 1 500 euros.....

RS3 - Si vous exercez un travail, quel est le risque que vous soyez au chômage dans les 12 mois à venir ?

- Il n'y a aucun risque.....
- C'est possible mais le risque est faible
- C'est possible et le risque est moyen.....
- C'est possible et le risque est élevé.....
- C'est quasiment inévitable.....
- Je n'exerce pas de travail

Volet « Individu »



138, avenue Marx Dormoy
92129 Montrouge Cedex - France
Tél. Vert : 0 800 36 90 58

Valeur questionnaire : n points

Ce questionnaire est à remplir par :

QUESTIONNAIRE DÉPLACEMENTS

DÉPLACEMENTS DOMICILE / TRAVAIL OU DOMICILE / LIEU D'ÉTUDES

Répondez aux questions qui suivent (A0 à A4) pour vous-même d'abord, puis pour votre conjoint si vous vivez en couple.

	VOUS-MEME	VOTRE CONJOINT
A0 - Actuellement avez-vous un travail ou faites-vous des études ? <i>1 seule réponse par personne</i>		
• Oui, j'exerce un travail.....	<input type="checkbox"/> → <i>Passez à A1</i>	<input type="checkbox"/> → <i>Passez à A1</i>
• Oui, je fais des études.....	<input type="checkbox"/> → <i>Passez à A1</i>	<input type="checkbox"/> → <i>Passez à A1</i>
• Non.....	<input type="checkbox"/> → <i>Passez à B1</i>	<input type="checkbox"/> → <i>Passez à B1</i>
A1 - Combien de jours par semaine vous rendez-vous sur votre lieu de travail ou votre lieu d'études ? <i>Notez en clair : (entre 1 et 7)</i>	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/> jour(s)	<input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/> jour(s)
A2 - Votre lieu de travail ou d'études est-il globalement toujours le même ? <i>1 seule réponse par personne</i>		
• Oui, je travaille / étudie toujours dans le même lieu.....	<input type="checkbox"/> → <i>Passez à A3</i>	<input type="checkbox"/> → <i>Passez à A3</i>
• Non, je travaille / étudie sur des lieux différents.....	<input type="checkbox"/> → <i>Passez à B1</i>	<input type="checkbox"/> → <i>Passez à B1</i>
A3 - A quelle distance de votre domicile se situe votre lieu de travail ou d'études ? <i>Indiquez en clair la distance :</i>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> <i>(mètres si moins d'1 km)</i> ou <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> <i>(kilomètres si plus d'1 km)</i>	<input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> <i>(mètres si moins d'1 km)</i> ou <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> <i>(kilomètres si plus d'1 km)</i>
A4 - Quel mode de déplacement habituel utilisez-vous pour vous rendre sur votre lieu de travail / d'études ? <i>Si vous utilisez plusieurs modes de déplacement pour réaliser le trajet de votre domicile à votre lieu de travail / d'études : cochez également le mode de déplacement secondaire.</i> <i>Par exemple : Si vous prenez le métro pendant 10 minutes et le bus pendant 30 minutes, le bus est le mode de déplacement principal et le métro le mode de déplacement secondaire.</i> <i>Reportez le code à partir de la liste 3</i>	Mode de déplacement principal <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/> Mode de déplacement secondaire <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	Mode de déplacement principal <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/> Mode de déplacement secondaire <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>

SI VOUS UTILISEZ VOTRE VOITURE (PRINCIPALE, SECONDAIRE, AUTRE), COMME MODE DE TRANSPORT PRINCIPAL OU SECONDAIRE POUR VOUS RENDRE SUR VOTRE LIEU DE TRAVAIL OU D'ÉTUDES : RÉPONDEZ DE A6 À A7, SINON PASSEZ EN B1

A5 - Pratiquez-vous le covoiturage pour vous rendre sur votre lieu de travail / études ? *1 seule réponse*

• Oui, régulièrement.....

• Oui, occasionnellement.....

• Non, jamais.....

A6 - Pouvez vous citer 3 adjectifs qui vous semblent les plus adaptés pour qualifier le mode de transport automobile, et les transports en commun ? *Plusieurs réponses possibles*

	Automobile	Transports en commun
1	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	1
2	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	2
3	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	3

A7 - De quel le type d'emplacement disposez-vous pour garer votre véhicule à votre lieu de travail / études ? *1 seule réponse*

• Disposition d'un emplacement de parking réservé.....

• Pas de place réservée mais le stationnement est aisé près du lieu de travail / études.....

• Pas de place réservée et le stationnement est difficile près du lieu de travail / études.....

• Autre situation.....

• Pas de voiture.....

AUTRES DÉPLACEMENTS QUOTIDIENS DEPUIS LE DOMICILE

B1 - Reportez dans le tableau ci-dessous l'ensemble des déplacements que vous avez effectués à partir de votre domicile **AU COURS DE LA SEMAINE PASSÉE** (les 7 derniers jours) et pour un autre motif que celui de vous rendre sur votre lieu de travail ou votre lieu d'études. Un aller-retour est comptabilisé comme un seul déplacement. Seuls sont à reporter les déplacements effectués à partir de votre domicile. Si vous avez réalisé 4 déplacements à partir de votre domicile dans la même journée, vous devez décrire les 4 déplacements.

Vous devez reporter pour chaque jour et chaque déplacement le code correspondant :

- au motif du déplacement (Liste 1)
- à la distance parcourue lors du déplacement (seule est comptabilisée la distance aller) (Liste 2),
- au mode de déplacement principal et secondaire (Liste 3),
- aux conditions du déplacement : étiez-vous accompagné, transportiez-vous du matériel (bagage, équipement sportif...) (Liste 4).

La liste des codes est présentée en annexe 1.
Si vous vous êtes déplacé pour plusieurs motifs lors du même trajet, notez le motif principal.

Par exemple : je me suis rendu lundi dernier à un club de football avec un ami. Le club est situé à 1km5 de chez moi et j'ai dû prendre le métro pendant 10 minutes et le bus pendant 20 minutes. Par ailleurs, je transportais mes affaires de sport. Je remplis donc la grille comme ci-dessous :

	Déplacement x	
• Motif (liste 1)	0	6
• Distance (liste 2) ...	3	
• Mode 1 (liste 3)	0	6
• Mode 2 (liste 3)	0	5
• Condition (liste 4) ..	4	

	Lundi	mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
	Déplacement 1						
• Motif (liste 1)	□	□	□	□	□	□	□
• Distance (liste 2) ...	□	□	□	□	□	□	□
• Mode 1 (liste 3)	□	□	□	□	□	□	□
• Mode 2 (liste 3)	□	□	□	□	□	□	□
• Condition (liste 4) ..	□	□	□	□	□	□	□
	Déplacement 2						
• Motif (liste 1)	□	□	□	□	□	□	□
• Distance (liste 2) ...	□	□	□	□	□	□	□
• Mode 1 (liste 3)	□	□	□	□	□	□	□
• Mode 2 (liste 3)	□	□	□	□	□	□	□
• Condition (liste 4) ..	□	□	□	□	□	□	□
	Déplacement 3						
• Motif (liste 1)	□	□	□	□	□	□	□
• Distance (liste 2) ...	□	□	□	□	□	□	□
• Mode 1 (liste 3)	□	□	□	□	□	□	□
• Mode 2 (liste 3)	□	□	□	□	□	□	□
• Condition (liste 4) ..	□	□	□	□	□	□	□
	Déplacement 4						
• Motif (liste 1)	□	□	□	□	□	□	□
• Distance (liste 2) ...	□	□	□	□	□	□	□
• Mode 1 (liste 3)	□	□	□	□	□	□	□
• Mode 2 (liste 3)	□	□	□	□	□	□	□
• Condition (liste 4) ..	□	□	□	□	□	□	□
	Déplacement 5						
• Motif (liste 1)	□	□	□	□	□	□	□
• Distance (liste 2) ...	□	□	□	□	□	□	□
• Mode 1 (liste 3)	□	□	□	□	□	□	□
• Mode 2 (liste 3)	□	□	□	□	□	□	□
• Condition (liste 4) ..	□	□	□	□	□	□	□

ANNEXE 1 : CODES À REPORTER POUR LES DÉPLACEMENTS QUOTIDIENS Question B1

Liste 1 : Codification des motifs

Achats, courses alimentaires	01
Autres achats	02
Démarches / affaires personnelles (démarches administratives, médicales)	03
Visites à des proches, à des amis	04
Activités associatives	05
Activité sportive	06
Sorties type restaurant/ café/ cinéma/ théâtre...	07
Autres activités de loisir	08
Promenade	09
Accompagnement d'une personne (à l'école, à la gare...)	10

Liste 3 : Codification du mode de transport

La voiture principale de votre foyer	01
La voiture secondaire de votre foyer	02
Une autre voiture (possédée ou non par votre foyer)	03
Le train (TER, RER ou un autre train)	04
Le bus / car / tramway	05
Le métro	06
Un autre transport en commun	07
Un véhicule motorisé à deux roues	08
Le vélo	09
La marche à pied	10
Un autre mode de déplacement	11

Liste 2 : Codification des distances

Moins de 300 m	1
Entre 301 m et 1 km	2
Entre 1,1 km et 5 km	3
Entre 5,1 km et 10 km	4
Entre 10,1 km et 25 km	5
Entre 25,1 km et 50 km	6
Entre 50,1 km et 100 km	7
Plus de 100 km	8

Liste 4 : Codification des conditions de déplacement

Seul sans bagage, ni matériel à transporter	1
Seul avec bagage ou matériel à transporter	2
Accompagné d'autres personnes (famille, amis) sans bagage, ni matériel à transporter	3
Accompagné d'autres personnes (famille, amis) avec bagage ou matériel à transporter	4

DÉPLACEMENTS MOYENNE DISTANCE

C1 - AU COURS DU DERNIER MOIS (30 derniers jours), combien de fois êtes-vous parti(e) à plus de 100 km de chez vous pour des motifs de vacances, de loisir ou de visite à des proches.

Un voyage correspond à un aller-retour de votre domicile. Si vous vous êtes rendu(e) à plusieurs destinations au cours d'un voyage donné, décrivez-le par rapport à la destination la plus lointaine.

- a) Veuillez Indiquer le nombre de voyages que vous avez effectués correspondant aux différents types de distance proposés.
 b) Veuillez préciser si ces voyages ont été effectués seul(e) ou avec d'autres personnes de votre foyer
 c) Veuillez également indiquer le ou les mode(s) de transport utilisé(s) le plus souvent pour ce type de distance : cochez 1 pour le mode de transport principal et 2 pour le mode de transport secondaire).

Par exemple : si vous êtes parti(e) 2 fois au cours du dernier mois à plus de 500km :

- 1 fois à l'étranger en avion puis en train => Cochez 1 pour avion et 2 pour train
- Et une fois en France en train puis voiture => Cochez 1 pour train et 2 pour voiture

Distance	a) Nombre total de voyages au cours du mois	b) <u>Détail</u> du nombre de voyages réalisés seul(e) ou avec d'autres personnes du foyer				c) Mode(s) utilisé(s)			
		Seul(e)	Vous + 1 autre personne	Vous + 2 autres personnes	Vous + 3 autres personnes ou +	Voiture	Train	Avion	Autre
100-200km	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			
201-350km	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			
351-500km	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			
> 500 km	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			

DÉPLACEMENTS LONGUE DISTANCE

D1 - DEPUIS 1 AN, combien de fois êtes-vous parti(e) à plus de 500 km de chez vous pour des motifs de vacances, de loisir ou de visite à des proches. (Voir annexe 2 pour une visualisation des distances)

Un voyage correspond à un aller-retour de votre domicile. Si vous vous êtes rendu(e) à plusieurs destinations au cours d'un voyage donné, décrivez-le par rapport à la destination la plus lointaine.

- a) Veuillez Indiquer le nombre de voyages que vous avez effectués correspondant aux différents types de distance proposés.
 b) Veuillez préciser si ces voyages ont été effectués seul(e) ou avec d'autres personnes de votre foyer
 c) Veuillez également indiquer le ou les mode(s) de transport utilisé(s) le plus souvent pour ce type de distance : cochez 1 pour le mode de transport principal et 2 pour le mode de transport secondaire).

Distance	a) Nombre total de voyages au cours de l'année	b) Détail du nombre de voyages réalisés seul(e) ou avec d'autres personnes du foyer				c) Mode(s) utilisé(s)			
		Seul(e)	Vous + 1 autre personne	Vous + 2 autres personnes	Vous + 3 autres personnes ou +	Voiture	Train	Avion	Autre
500 - 1500 km	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>
						2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
1501 - 3000 km	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>
						2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
3001 - 8000 km	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>
						2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
> 8000 km	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>
						2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>

QUESTIONS GÉNÉRALES

E1 - En général vous adoptez une conduite plutôt sportive (accélération et freinages francs) ou souple (accélération et freinages modérés) ? *1 seule réponse*

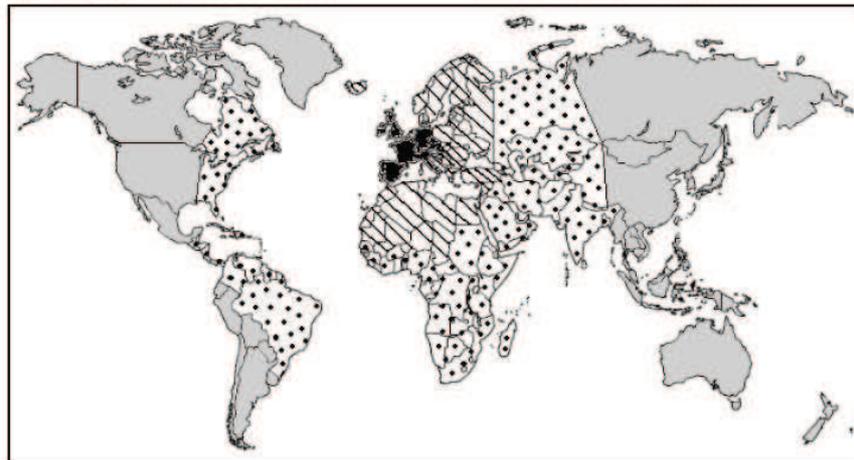
- Sportive.....
- Plutôt sportive.....
- Plutôt souple.....
- Souple.....
- Je ne conduis pas.....

E2 - Sur autoroute, à quelle vitesse moyenne roulez-vous le plus souvent ? *1 seule réponse*

- 110km/h ou moins vite.
- Entre 111 et 120 km/h.
- Entre 121 et 130km/h...
- Entre 131 et 140 km/h.
- Entre 141 et 150km/h..
- A 151 km/h ou plus vite.
- Je ne conduis pas.....

ANNEXE 2 : DÉPLACEMENTS TRÈS LONGUES DISTANCES Question D1

- : Entre 500 et 1500 km environ
- : Entre 1500 et 3000 km environ
- : Entre 3000 et 8000 km environ
- : Au delà de 8000 km environ



Annexe 3.4 : Calcul des consommations de chauffage avec la méthode DPE-3CL

La méthode DPE-3CL est la méthode de calcul retenue par le ministère du logement pour évaluer, entre autres, les consommations théoriques de chauffage des logements en France. Cette méthode sert notamment d'appui à l'établissement des étiquettes énergie des logements. La base du calcul thermique repose sur une demande de chauffage normative qui suppose que la totalité du logement est chauffé à 18°C pendant la totalité de la saison de chauffe. Le calcul nécessite une quantité d'informations relatives au logement assez importante, et c'est d'ailleurs pour cela que le questionnaire envoyé aux ménages est si détaillé. Néanmoins dans certains cas l'information requise est manquante ou le niveau de désagrégation des questions posées ne permet pas de mener le calcul thermique dans sa totalité : nous avons donc dû avoir recours à des hypothèses. Sans détailler la totalité du calcul thermique⁹⁴ nous apportons dans le tableau XX ci-dessous quelques précisions sur les hypothèses principales qui ont été établies sur la base de l'expertise de Marie-Hélène Laurent, Dominique Osso, Thierry Duforestel, Guillaume Binet et Frédéric Marteau, chercheurs EDF R&D du département Energie dans les bâtiments et les territoires (ENERBAT).

Les calculs thermiques utilisés par la méthode DPE-3CL sont rappelés ci-dessous : la consommation de chauffage Cch est le produit de l'inverse du rendement du système de chauffage Ich et du besoin de chauffage Bch qui lui-même est le produit de la surface SH, des déperditions surfaciques ENV, du besoin de chauffe en degrés-heure METEO ainsi que d'un facteur correctif INT.

$$Cch = Ich \times Bch \text{ avec } Bch = SH \times ENV \times METEO \times INT$$

Le facteur Ich lié au système de chauffage se décompose comme suit :

$$Ich = Pg \left(\frac{1}{R_g \times R_e \times R_d \times R_r} + Corch \right)$$

où Pg dépend de la présence d'un programmateur, Corch est un correctif pour les chaudières qui dépend du besoin Bch et le rendement global est le produit du rendement de génération de la chaleur Rg et des rendements de distribution Rd, d'émission Re et de régulation Rr dont les

⁹⁴ Le texte est disponible sur le site du ministère du logement : arrêté 9 novembre 2006 NOR :SOCU 0610563A

valeurs sont renseignées dans un tableau en fonction du type de système, de son âge et du combustible utilisé.

Les déperditions surfaciques ENV se définissent de la façon suivante :

$$ENV = \frac{S_{murs} \times U_{murs} + S_{fenetre} \times U_{fenetre} + S_{plafond} \times U_{plafond} + S_{plancher} \times U_{plancher} + S_{porte} \times U_{porte} + S_{veranda} \times U_{veranda} + PT}{2,5 \times SH} + Ara$$

où les S représentent les surfaces des parois et les U les coefficients de déperdition associés aux parois, PT représentent les ponts thermiques et sont calculés à partir de tables pour les maisons individuelles ainsi que pour les logements collectifs et Ara sont les déperditions par ventilation.

Les surfaces et les U des différentes parois sont calculés à partir des informations sur la configuration du logement : forme FOR, mitoyenneté MIT, nombre de niveaux NIV pour une maison, position dans l'immeuble Cf, périmètre PER pour un logement collectif, configuration sous plancher/plafond, isolation et épaisseur d'isolant e, tableau de U de référence.

Le facteur correctif INT est défini comme :

$$INT = \frac{I_0}{1 + 0,1 \times \left(\frac{ENV}{CORH} - 1 \right)}$$

où CORH est un correctif qui dépend de la hauteur sous plafond HSP et I_0 une constante

Enfin, le calcul du besoin de chauffage normatif METEO est assez complexe mais on peut retenir qu'une première variable CLIMAT dépend de la localisation géographique du logement (département, zone climatique d'été et d'hiver et altitude) et fournit un besoin en nombre de degré-heures corrigé. L'autre partie COMPL prend en compte l'inertie thermique du logement et corrige ainsi le besoin de chauffage comme suit :

$$COMPL = 2,5 \times \left(1 - \frac{(X - X^{2,9})}{(1 - X^{2,9})} \right) \text{ avec } X = \frac{B_{zoneclim} + S_{se} \times E}{ENV \times 2,5 \times CLIMAT}$$

où $B_{zoneclim}$ est un coefficient qui dépend de la zone climatique d'hiver, S_{se} dépend de l'orientation des parois vitrées et E de l'ensoleillement.

en fonction de l'ensoleillement E, de l'orientation des parois vitrées Sse et des déperditions surfaciques du logement ENV.

Variable du calcul DPE-3CL	Variables utilisées issues du questionnaire et hypothèses
Pg : présence de programmateur	Variable C6 ⁹⁵ , par défaut pas de programmateur
Rg, Rd, Re et Rr : rendements	Variable C1, C2, C3 et C6. Par défaut, pas de robinets thermostatiques
HSP : hauteur sous plafond	Variable B14, par défaut 2m50
CLIMAT	Numéro INSEE de la commune et table d'altitudes par commune
Sse	Variable B17, par défaut pas d'orientation plein-sud
Ara : pertes par ventilation	Variable B14bis et B24 : Si pas de VMC et présence de cheminée en MI alors Ara=0,45, sinon 0,35. Si présence de VMC et logement construit après 2000 : 0,16, si construit après 1983 : 0,20 sinon 0,23.
Umur, Uplafond, Uplancher, Uporte	Variable B14bis, C2, zone climatique. Le matériau de fabrication des parois n'est pas renseigné directement
FOR	Variable B3, par défaut configuration a: carré
NIV	Variable B2
MIT	Variable B1
Cf	Variable B9, B10, B11, B12
Configuration sous plancher/plafond	Variable B4, B5, par défaut terre-plein et combles perdus
Isolation murs et plafond	Variable B6, B21, par défaut pas d'isolation pour les logements anciens
e : épaisseur isolant	Variable B7, B23, par défaut 5cm pour murs, 7,5cm combles aménagés et 12,5cm combles perdus
PER : périmètre logement collectif	La configuration est déterminée à partir de B13 pour le nombre de murs du logement qui donne la configuration
S : Surfaces des parois	Smurs, plafond, plancher : donné par le calcul Sporte : 2m ² Svéranda : variable B8 et part de la surface totale estimée par rapport aux données EL 2006 INSEE Sfenêtres : variable B15, B16bis par défaut 15% surface MI et 18% surface LC
Ufenêtres, Uvéranda	Ufenêtres : variable B16, B18, B19 pour le double-vitrage et la part de volets. Le double-vitrage correspond à une lame d'air 4/8/4 avant 1990 et 4/12/4 après 1990. Les matériaux de construction des fenêtres sont inconnus on se base donc sur une moyenne en fonction des parts de marché reconstituées via un modèle de parc de fenêtres. Parc de fenêtres : Les parts de marché des fenêtres sont reconstituées sur la base des parts de marché historiques des matériaux, du parc de

⁹⁵ Il s'agit du numéro des questions tel que proposé dans le questionnaire papier, voir annexe 3.2 pour le détail.

	<p>bâtiment, du nombre de fenêtres par type de logement et des gestes de rénovation en supposant des remplacements à l'identique en terme de matériau⁹⁶.</p> <p>Uvéranda : idem Ufenêtres</p>
--	--

Tableau 3.18 : Hypothèses pour le calcul thermique DPE-3CL

Comme le montre la complexité et le niveau de détail du tableau ci-dessus, il est assez difficile de mener un calcul du type DPE-3CL à partir de simples données issues d'enquêtes papier. En effet certaines connaissances comme le type de matériau et l'épaisseur des parois font le plus souvent défaut aux répondants, il est alors inutile de leur poser la question et il faut alors passer par des considérations liées aux pratiques les plus courantes dans le bâtiment en fonction des régions et des périodes de construction pour proposer une valeur vraisemblable mais qui reste néanmoins une estimation «à dire d'expert». De la même manière, les informations relatives aux travaux d'isolation passés menés dans le bâtiment sont soit inconnus du répondant si celui-ci n'est que locataire ou si il vient d'acquérir le logement, soit soumis à des biais en raison de la connaissance imparfaite par le propriétaire ou à cause de malfaçons lors de la réalisation des travaux. Il est clair que concernant les données sur le bâti, aucun questionnaire ne peut remplacer une campagne de mesures sur le terrain des performances du bâtiment étudié. Pour autant le niveau de détail des caractéristiques techniques récoltées au cours de l'enquête se situe largement au dessus de celui disponible dans l'enquête logement de l'INSEE⁹⁷.

On peut remarquer que le calcul thermique est certes complexe et implique des par exemple des rétroactions du niveau de déperditions sur le besoin de chauffage via la variable METEO à cause de l'inertie du bâti, entraînant des non linéarités importantes. Une formule simplifiée peut néanmoins être utilisée dans les faits étant donné les valeurs des coefficients du calcul pour déterminer le besoin de chauffage en énergie utile. Elle est donnée par :

$$B_{ch} = A \times Surf \times ENV \times Dh$$

où Dh correspond au nombre de degré-heures corrigé, Surf à la surface du logement, ENV aux déperditions surfaciques du bâti et A une constante qui vaut A=1,684.

⁹⁶ Source : EDF R&D, Batim Etudes 2003, Batim Etudes 2008, Union Fenêtre PVC 2004

⁹⁷ Ce qui semble logique puisque la visée de l'EL n'est pas de connaître avec précision les consommations d'énergie mais d'évaluer les conditions de logement des français.

A partir des données de l'enquête, on compare la valeur obtenue à partir de la formule complète DPE-3CL et la valeur obtenue avec la formule simplifiée. Le coefficient de détermination $R^2=0,996$ indique que dans les faits cette formule simplifiée est valide.

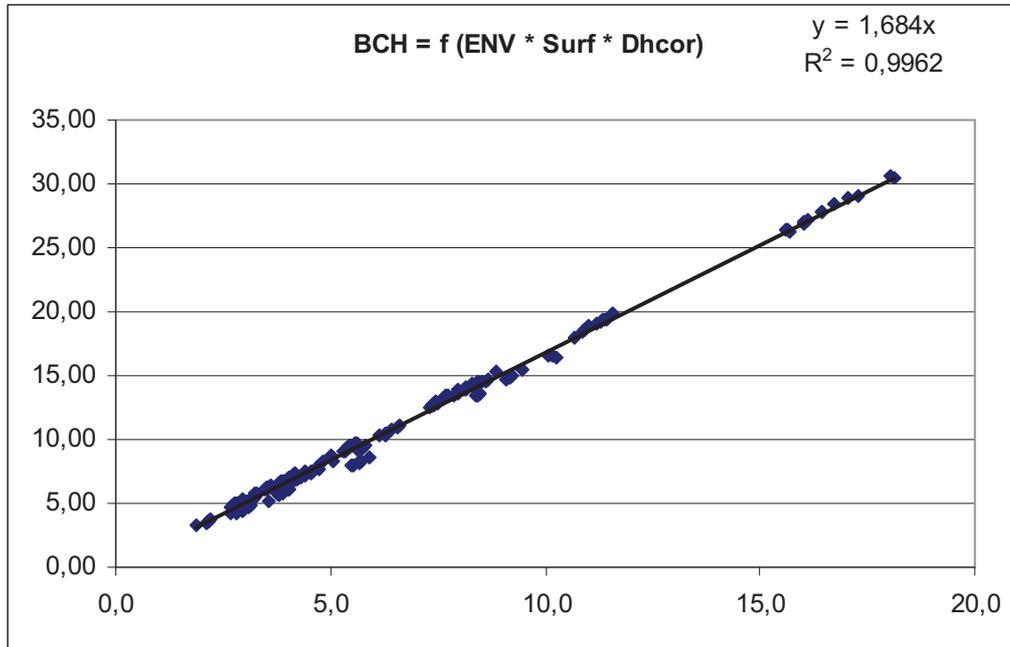


Figure 3.17 : Validation de la formule de calcul des besoins simplifiée

L'utilisation d'une telle formule pour estimer le besoin en énergie utile permet en particulier de simplifier grandement le calcul des économies d'énergie réalisées à partir d'opérations de rénovation du bâti en reliant proportionnellement les variations de performance de l'enveloppe aux variations de besoin utile.

Annexe 3.5 : Consommations de carburant des véhicules particuliers

Les répondants ne savent pas toujours avec précision la consommation de carburant de leur véhicule, de plus, celle-ci varie en fonction du type de voirie empruntée et la valeur renseignée peut donc dépendre des trajets précédemment effectués.. En revanche il est possible de collecter des informations simples et objectives telles que celles qui se trouvent sur la carte grise du véhicule. A partir de la puissance fiscale, du poids total à vide PTAV, du type de carburant utilisé et de l'année de mise en circulation il est possible de remonter à la consommation mixte du véhicule en utilisant un modèle statistique de régression linéaire. On utilise pour cela deux échantillons de véhicules issues des données constructeurs : l'une pour les véhicules datant d'avant 1998 (N=50) et l'autre pour les véhicules d'après 1998 (N=402). En effet, la définition de la puissance fiscale a changé à partir de 1998⁹⁸ de manière à prendre explicitement en compte les émissions de CO₂, passant de (1) à (2).

$$P_{fis} = 1,48Carb \left(0,0458 \frac{Puiss}{K} \right) \quad (1) \quad P_{fis} = \frac{CO_2}{45} + \left(\frac{Puiss}{40} \right)^{1,6} \quad (2)$$

où *Carb* est un coefficient dépendant du carburant essence ou gazole, *Puiss* la cylindrée du moteur et *K* un coefficient complexe⁹⁹ retranscrivant la nervosité du moteur

Pour les voitures anciennes, la faible dispersion de la variable d'année de mise en circulation ne permet pas d'utiliser l'échantillon pour déterminer le rôle joué par l'année. On utilise donc d'une part les données de l'ADEME disponibles à partir de 1995 sur les émissions de CO₂ du parc de véhicules neufs obtenues à partir de test sur le cycle normalisé MVEG [Carballes 2009] et d'autre part les émissions de CO₂ obtenues à partir des consommations des véhicules neufs entre 1980 et 1995 [Parent 2005]. On essaye d'expliquer cette série temporelle d'émissions de CO₂ du parc neuf à partir d'une régression linéaire en utilisant l'année de mise en circulation, la part gazole du parc et de données sur la structure du parc en terme de puissance fiscale.

⁹⁸ Elle a également changée en 1978 mais on considère que les VP d'avant 1998 répondent tous à la définition en vigueur entre 1978 et 1998.

⁹⁹ *K* est un paramètre exprimant la transmission du mouvement et s'obtient en calculant « la moyenne arithmétique pondérée des vitesses exprimées en kilomètres par heure, théoriquement atteintes par le véhicule au régime du moteur de mille tours par minute pour les différents rapports de la boîte de vitesses en marche avant »

Variable	$R^2_{adj} = 0,86$	Estimate	Pr > t
Constante		160	< 0,0001
Année de mise en circulation		-0,75	0,001
Part véhicules 7CV		0,55	0,002
Part véhicules >11CV		0,91	0,082
Part gazole du parc neuf		0,18	0,055

Tableau 3.19 : Estimation du progrès technique annuel pour les véhicules avant 1998

On obtient avec ce modèle de régression linéaire une estimation du progrès technique annuel tout en ayant contrôlé les évolutions de structure du parc neuf et notamment le fait que celui-ci se soit fortement « diésélisé » et que le poids et la cylindrée des véhicules aient fortement augmentés également.

On peut donc à présent mener la régression sur les véhicules anciens également et utiliser ce coefficient de progrès technique pour les millésimes antérieurs à 1995. En effet, le millésime du véhicule ne joue pas de rôle significatif sur notre échantillon puisque celui-ci s'étend seulement de 1995 à 1997, les données fournissant les émissions de CO₂ par km n'étant pas disponibles avant.

Une fois les émissions de CO₂ obtenues on remonte mécaniquement à la consommation mixte du véhicule et les régressions menées avec ces mêmes données indiquent une excellente corrélation entre consommation en extra-urbain, consommation en urbain et consommation mixte. Le coefficient de détermination des régressions associées varie de 0,94 à 0,99 en fonction de la qualité des données. Le tableau 3.20 présente les régressions obtenues pour les différentes catégories de véhicules.

Véhicule après 1998 N=408 $R^2_{adj} = 0,76$		
	Estimate	Pr > t
Constante	2,526	< 0,0001
Puissance fiscale en CV	0,375	< 0,0001
PTAV en kg	0,00060	< 0,0001
Année de mise en circulation après 1998	-0,107	< 0,0001
Carburant essence	0,672	< 0,0001
Véhicules avant 1998 N=50 $R^2_{adj} = 0,90$		
	Estimate	Pr > t
Constante	1,182	0,1201
Puissance fiscale en CV	0,457	< 0,0001
PTAV en kg	0,0024	0,0003
Carburant essence	0,4773	0,0419

Tableau 3.20 : Estimation par régression de la consommation mixte des véhicules

Annexe 3.6 : Traitement des variables de l'enquête

Certaines variables utilisées dans la régression multilinéaire présentée en 3.3.1 ont été préalablement traitées afin de limiter le nombre de variables en entrée du modèle et également afin de limiter le nombre de variables dont l'impact est supposé non-linéaire sur la consommation de chauffage.

Degrés-heure de chauffage (HDH), déperditions surfaciques et efficacité du système de chauffage

Ces variables sont issues du calcul thermique suivant la méthode DPE-3CL présentée en annexe 3.3.

Durée d'aération hebdomadaire

Cette variable est calculée en multipliant les valeurs obtenues pour les variables C11 et C12 du questionnaire.

Gestion de la température

La gestion de la température est un indicateur lié au caractère sobre du répondant. Il est construit en attribuant une note de 1 à 4 à chacune des pratiques renseignée dans la question C10 et en sommant le tout. 1 correspondant à la situation « Oui toujours » et 4 à la situation « Non jamais ».

Part du logement non chauffé

La part du logement non chauffé est calculée à partir des questions C8 et C9. On calcule le nombre de pièces non chauffées équivalentes en considérant que dans les pièces moins chauffées la température est inférieure de 3°C à celle de la pièce de confort. On en déduit la part du logement non chauffé à partir du nombre de pièces du logement.

Jours d'absence du domicile

Les occurrences d'absence du domicile sont obtenues à partir du questionnaire « individu » en considérant les déplacements de longue distance et lorsqu'ils impliquent la totalité des membres du ménage. Le nombre de jours d'absence du domicile est extrapolé à partir de ces données à l'ensemble de la saison de chauffe.

Dépassement de soi vs Affirmation de soi et Ouverture au Changement vs Continuité

Le calcul de ces variables est effectué à partir des réponses aux valeurs de Schwartz collectées dans la partie E du questionnaire. Le questionnaire ne correspond pas à la version originale du questionnaire de Schwartz qui consistait à noter les valeurs. Il s'agit ici de la version par portraits : la personne doit s'identifier ou non à une déclaration incarnant une certaine valeur.

En notant sa ressemblance à la personne qui déclare le propos. La formulation exacte des intitulés nécessite bien entendu le plus grand soin, elle est issue du travail de formulation de Wach & Hammer [2003]. Chaque item de réponse renvoie à une valeur particulière telle que celles présentées dans la figure 3. Une fois ces réponses collectées, on obtient donc une note moyenne en sommant les notes des items correspondant à chaque valeur. Les quatre indicateurs sont ensuite obtenus en sommant les notes des valeurs concernées comme le montre la figure 3.18.

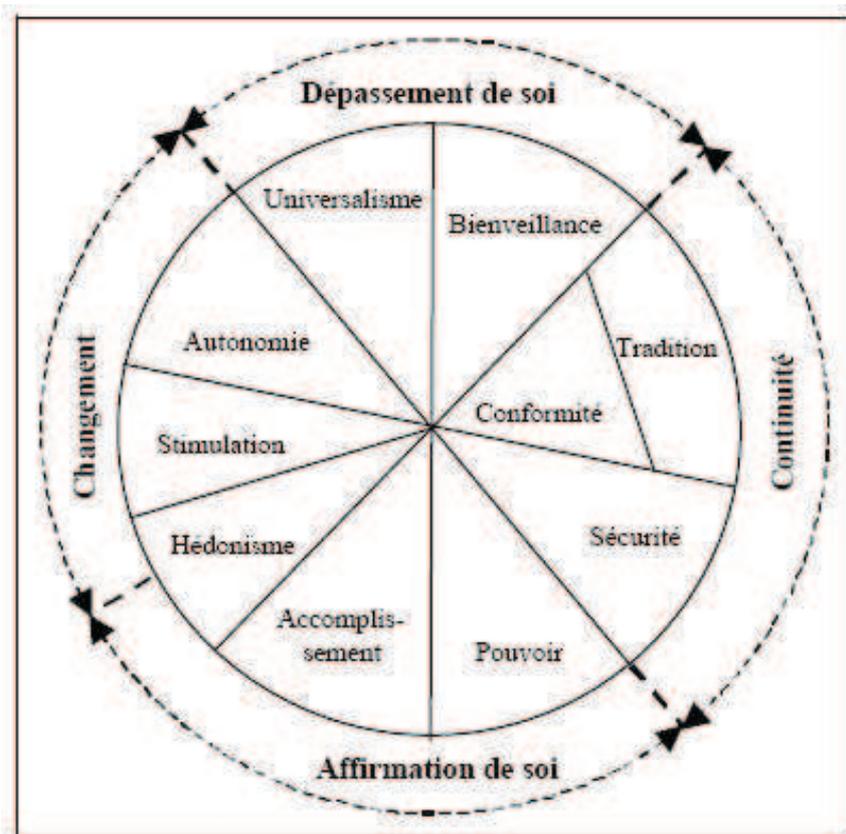


Figure 3.18 : Structure universelle des valeurs

Annexe 3.7 : Résultats des régressions sur les pratiques de consommation

Deux régressions multilinéaires sont menées afin d'expliquer la note globale d'intensité de service et la note globale de gestion en fonction de variables socio-démographiques et de variables liées aux valeurs de Schwartz de la personne, dont le calcul est présenté en annexe 3.6. Dans le cas de la note d'intensité de service, on obtient un coefficient de détermination $R^2=0,19$ et seules les variables socio-démographiques semblent avoir un impact non nul selon les p-values obtenues. Dans le cas de la note de gestion, on obtient un coefficient de détermination $R^2=0,05$, ce qui est mauvais. On ne peut donc pas conclure grand chose d'une telle régression si ce n'est que les variables utilisées en entrée ne semblent pas explicatives. A la limite on peut observer que les variables dont l'impact semble être le plus significatif sont liées aux valeurs de Schwartz de la personne.

Définition de la variable	Plage de variation	Intensité $R^2=0.19$		Gestion $R^2=0.05$	
		Pr > t	Estimate	Pr > t	Estimate
Constante		<0.0001	2.146	<0.0001	1.801
Type de logement – Maison	0-1	0.0013	0.032	<0.0001	-0.041
Décile de revenu	1-10	<0.0001	0.023	0.8529	-0.000
Age de la PR en tranches	1-4	<0.0001	-0.046	<0.0001	0.0697
Présence d'enfants	0-1	<0.0001	-0.073	0.0271	-0.016
Famille constituée d'un couple	0-1	<0.0001	-0.089	0.1836	-0.013
Type de tissu urbain - Rural	0-1	0.0280	-0.043	0.2167	0.020
Type de tissu urbain - Périurbain	0-1	0.1140	0.025	0.3370	-0.024
Type de tissu urbain - Banlieue	0-1	0.3110	0.009	0.7705	0.017
Statut d'occupation - propriétaire	0-1	0.0450	0.023	0.6318	-0.004
Dépassement de soi vs Affirmation de soi	-1.7 – 4.8	0.1319	-0.030	<0.0001	-0.050
Ouverture au changement vs Continuité	-3.3 – 3.5	0.1822	0.013	0.0002	0.018

Tableau 3.21 : Régressions menées sur les notes d'intensité et de gestion

Annexe 3.8 : Définition des parts budgétaires

La valeur des parts budgétaires obtenues dépend largement de la définition du revenu et surtout du périmètre des dépenses considérées. De plus selon que l'on considère la dépense moyenne divisée par le revenu moyen ou la part budgétaire moyenne on peut constater une différence. De plus ces valeurs moyennes diffèrent des valeurs médianes c'est à dire correspondant aux parts budgétaires du 3^{ème} quintile de revenu.

Ainsi à partir du même jeu de données provenant de l'enquête « Budget des Familles 2006 », l'INSEE publie tour à tour une part des dépenses énergétiques dans le budget de 7,3% et de 8,4% en considérant le même périmètre de dépenses [INSEE 2008, INSEE 2010]. C'est à dire factures énergétiques dans le logement et carburants et lubrifiants pour les transports.

Lorsque l'on compare les données obtenues à partir de notre enquête pour 2008-2009 aux données les plus « récentes » de l'INSEE sur le même périmètre, on constate que les valeurs moyennes sont très proches pour le résidentiel et un peu supérieures pour les transports, ce qui peut être dû à une augmentation des prix des carburants entre 2006 et 2008-2009.

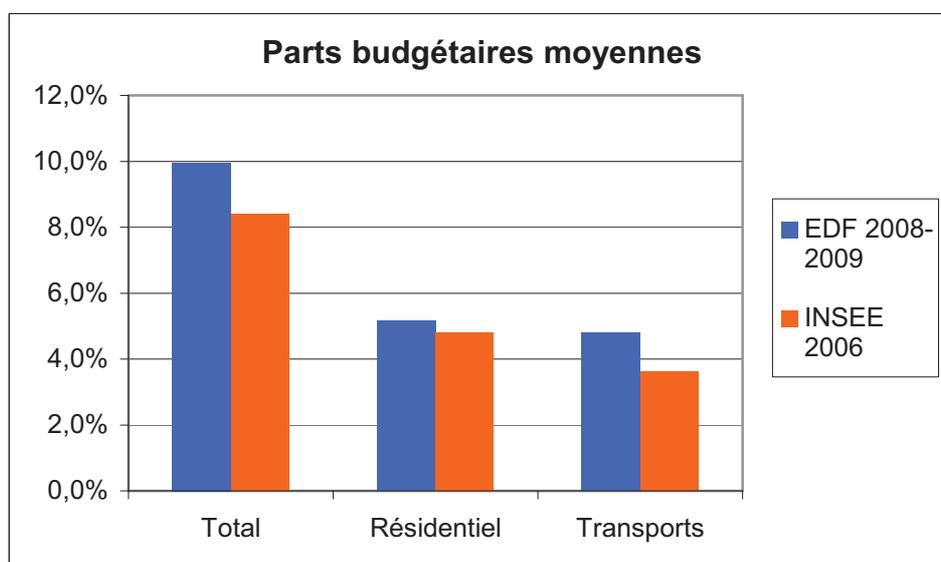


Figure 3.19 : Parts budgétaires moyennes

Prendre en compte les charges dans les dépenses résidentielles ainsi que les transports en commun de proximité dans les transports, tout en ôtant les dépenses pour les voyages à longue-distance permet de se rendre mieux compte encore des inégalités liées au revenu. La figure 3.20 montre un « accroissement » des inégalités lorsque l'on passe du périmètre INSEE

au périmètre incluant les charges et les transports en commun et ce à partir du même jeu de données provenant de notre enquête.

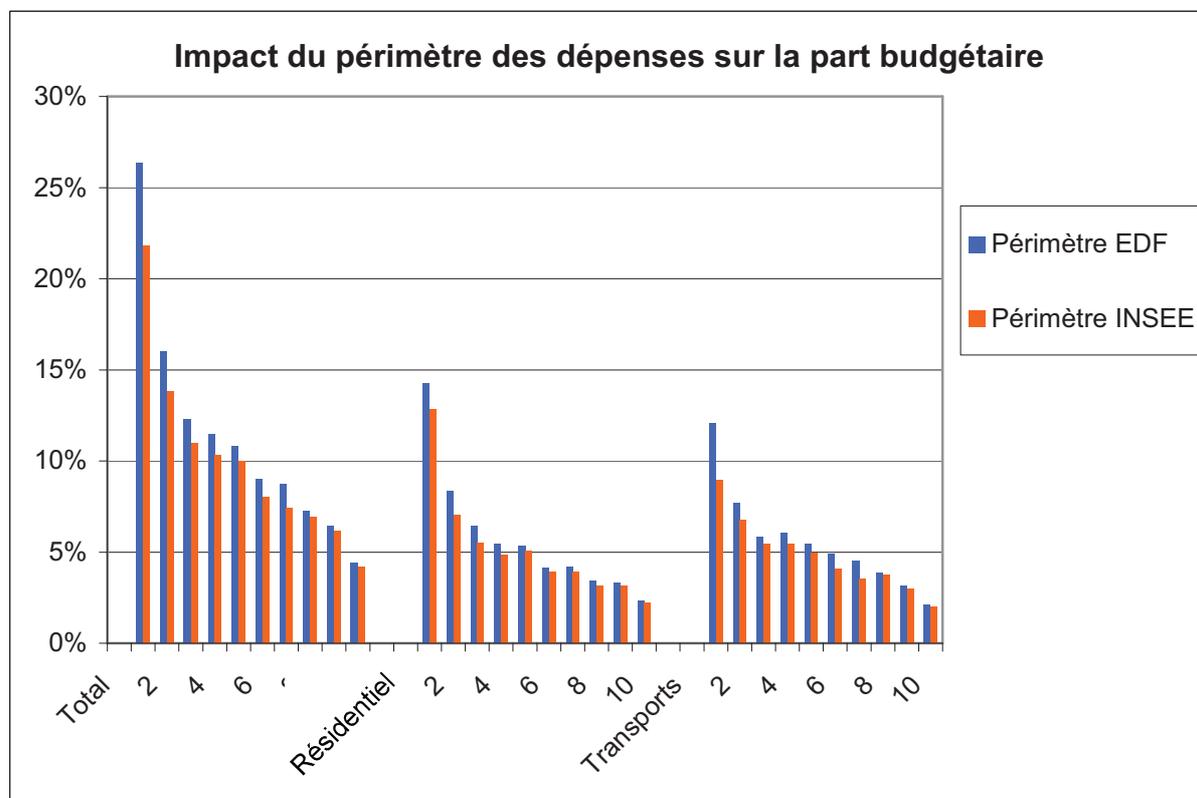


Figure 3.20 : Impact du périmètre des dépenses considérées sur la part budgétaires des différents déciles de revenu

L'année d'observation, le périmètre d'étude ainsi que le fait que les dépenses soient calculées¹⁰⁰ sont trois éléments qui peuvent expliquer que les parts budgétaires que l'on obtient soient relativement plus élevées que celles qui sont annoncées par l'INSEE.

¹⁰⁰ La dépense théorique ne tient donc pas compte du fait que certains ménages soient soumis à des tarifs réduits pour les abonnements et les titres de transport et à des tarifs de première nécessité pour l'électricité par exemple.

Annexe 4.1 : Quantification du potentiel de report modal

A partir des enquêtes globales transports (EGT) réalisées sur l'île de France et l'agglomération lyonnaise, Massot et alii [2004] repèrent les origines et destinations des trajets réalisés en voiture par les résidents. Afin d'étudier le potentiel de report modal ils géo-localisent les origines et destinations ainsi que les stations de transports en commun. Pour chaque déplacement, une distance de marche de 2km et une distance en vélo de 11km maximum sont autorisées afin de compléter les déplacements en transports en commun. A partir des vitesses de chacun des modes de TC et des dessertes de chacune des lignes ils simulent les trajets possibles alternatifs à la voiture. En fonction de l'augmentation du budget-temps permise ils estiment alors un potentiel de report modal en terme de nombre de déplacements et de trafic. On peut d'ailleurs constater sans surprise que le potentiel en nombre de déplacements est supérieur au potentiel en trafic. En effet, beaucoup de gens utilisent la voiture pour des petits trajets alors qu'ils pourraient utiliser des modes doux. D'autre part beaucoup d'impossibilités de report modal vers les TC sont liées aux heures d'utilisation et aux motifs (accompagnement, achats) constatent les auteurs.

% de croissance du BT	Zone dense Francilienne		Grand Lyon	
	% des boucles restant attachées à la vitesse de la voiture	% du trafic restant attaché à la vitesse de la voiture	% des boucles restant attachées à la vitesse de la voiture	% du trafic restant attaché à la vitesse de la voiture
0%	93%	95%	86%	94%
10%	90%	94%	82%	91%
25%	84%	91%	77%	88%
30%	82%	90%	76%	87%
40%	78%	88%	73%	85%
50%	75%	85%	72%	85%
75%	72%	79%	72%	84%
100%	63%	74%	71%	84%

Sources : INRETS, d'après (EGT-DREIF) 1991-1992 ;
LET, d'après (EM Lyon-SYTRAL) 1994-1995

Source : Massot et alii [2004]

Tableau 4.10 : Potentiel de report modal en fonction de l'augmentation du budget-temps

Nous retenons le potentiel de report modal sous hypothèse d'une augmentation des budget-temps de 25% maximum. Les déplacements à moins d'un kilomètre représentent 5% des déplacements mais seulement 0,1% du trafic. On considère donc que le gisement liés aux

modes doux est relativement faible en part du trafic et l'on attribue le potentiel de 9% en petite couronne et de 12% dans le grand Lyon aux transports en commun. On caractérise ensuite l'offre de transports en commun par mode : car, bus, métro, RER, tramway et TER/Corail en fonction du nombre de ligne existantes par commune¹⁰¹, que l'on pondère du nombre d'habitants. On obtient ainsi un nombre de lignes moyen par type de tissu urbain que l'on compare à l'offre en TC de la petite couronne parisienne et du grand Lyon. Ensuite, on considère que tous les modes ne peuvent pas répondre à toutes les gammes de distance. Les hypothèses de desserte par mode et par distance sont résumées dans le tableau 4.11.

Gamme de distance	Bus/Car	Métro/RER	Train TER
< 300m	X	X	X
300m-1km	X	X	X
1-5km	O	O	X
5-10km	O	O	X
10-25km	O	O	X
25-50km	X	O	O
50-100km	X	X	O

Tableau 4.11 : Hypothèses de desserte des différents modes de transports en commun

Enfin on considère que le déplacement ne peut être effectué en transport en commun que si l'utilisation d'un mode doux permet de se rendre à la station facilement. On retient pour cela une distance à la station de TC inférieure à 20% de la distance du déplacement total. La distance aux stations des différents TC les plus proches du domicile sont collectées grâce à l'enquête EDF R&D et varient fortement avec le type de tissu urbain.

Pour chaque type de tissu urbain, un accès aux transports en commun par mode et par gamme de distance est donc défini. L'offre de quantité de déplacements potentiellement desservis est alors calculée par comparaison avec l'offre de transports des deux zones étudiées par Massot et alii [2004].

¹⁰¹ On utilise pour cela les données du site <http://www.itransports.fr>

Les ménages sous la contrainte carbone

Exercice de modélisation prospective des secteurs résidentiel et transports avec TIMES

RESUME : Le contexte énergétique et politique en France laisse présager de l'apparition d'une forte contrainte de réduction des émissions de CO₂ des ménages dans les décennies à venir. Plusieurs interrogations se posent alors : Quelles sont les technologies permettant d'atteindre une telle réduction ? Quelles politiques mettre en œuvre pour atteindre un tel objectif ? Et quel est l'impact de ces politiques sur le budget des ménages ?

Le présent travail de thèse s'attache à répondre à ces questions à partir d'un modèle bottom-up d'optimisation de type TIMES portant sur les secteurs résidentiel et transports, réalisé dans le cadre de cette thèse. Ce modèle s'appuie notamment sur une représentation des ménages très désagrégée qui permet d'apporter beaucoup plus de robustesse par rapport aux autres modèles de ce type, basés sur la description d'un ménage moyen. De plus, à l'aide d'une enquête auprès de 2000 ménages réalisée dans le cadre de cette thèse, il est possible de prendre en compte le comportement de consommation des ménages de manière relativement fine, notamment en rendant compte des contraintes subies par les ménages et des arbitrages qu'ils réalisent entre coût et confort.

L'exercice de prospective réalisé à partir de ce modèle permet d'évaluer l'efficacité en terme de réduction et l'impact sur le budget des ménages de différents outils politiques. Il permet notamment de visualiser que l'instauration d'une taxe carbone est un moyen efficace de réduire les émissions et que la mise en place conjointe de subventions ciblées permet de compléter l'action de cette taxe tout en diminuant son impact distorsif sur le budget des ménages.

Mots clés : Comportement des ménages, modélisation prospective, MARKAL/TIMES, résidentiel, transports, contrainte carbone

Households under carbon constraint

Modeling residential and transports sectors with TIMES in a prospective context

ABSTRACT : The energy and political context in France suggests that households would have to deal with a strong constraint of CO₂ emissions reduction in the next decades. Many questions then arise: Which technologies would enable this level of emission reduction? What policies should be implemented to achieve such a reduction ? What is the impact of these policies on household budget ?

This PhD work tries to answer to these issues thanks to a residential and transports sectors TIMES model, which is a bottom-up model based on an optimization paradigm. This model relies on a highly disaggregated representation of households that allows a largely enhanced level of confidence in the results obtained, compared to other bottom-up models. Moreover, thanks to a survey we have launched among 2000 French households we are able to better design household energy consumption behavior. It is thus possible to take into account the constraints faced by the households and the tradeoffs they make between cost and comfort.

This model is very useful for evaluating different policy tools considering their ability to lead to strong reductions and their impact on the household budget. A carbon tax then seems a good way to reduce CO₂ emissions and subsidies seem to enhance the impact of the tax and help to reduce its distorting effect on household budget.

Keywords : Household behaviour, prospective modeling, MARKAL/TIMES, residential, transports, carbon constraint