



UNIVERSITÉ LILLE I
École doctorale SESAM (ED n° 73)
Laboratoire Lille Économie et Management (LEM) – UMR CNRS 9221

THÈSE
Pour obtenir le grade de
DOCTEUR EN SCIENCES ÉCONOMIQUES

Présentée par
Rasha Daoud

**LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DOMESTIQUE
POUR LE CHAUFFAGE EN FRANCE**

Sous la direction de
Hubert Jayet, Professeur à l'Université Lille I

Thèse soutenue le 6 juillet 2018 devant le jury composé de :

Mme. Catherine BAUMONT, Professeur à l'Université Dijon, Rapporteur
M. Fateh BELAÏD, Chercheur Économiste et Statisticien à CSTB, Examineur
M. Didier CORNUEL, Professeur à l'Université Lille I, Examineur
M. Hubert JAYET, Professeur à l'Université Lille I, Directeur de thèse
Marko KRYVOBOKOV, Chargé de recherches à CEHD, Examineur
Mme. Ingrid NAPPI-CHOULET, professeur à l'ESSEC, Rapporteur
M. Isam SHAHROUR, Professeur à l'Université Lille I, co-directeur de thèse

L'université n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

Celui-ci n'aurait pas pu être mené à bien sans l'aide de mes financeurs qui sont l'Université de Lille 1 et l'organisme Lille Métropole Habitat. Je les remercie pour leur soutien matériel et pour la confiance qu'ils m'ont accordée.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à mon directeur de thèse, M. Hubet Jayet, pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant d'encadrer cette thèse, pour tous les conseils qu'il m'a prodigués, pour le temps qu'il a consacré à ce travail et pour m'avoir appris à être de plus en plus autonome tout au long de ce travail de recherche. Aussi, j'ai été extrêmement sensible à ses qualités humaines d'écoute et de compréhension tout au long de mon parcours doctoral.

Je remercie également M. Issam Shahrour, pour sa disponibilité, ses conseils et tout ce qu'il m'a apporté dans le domaine de l'ingénierie.

Je souhaite aussi exprimer ma gratitude à monsieur Nicolas Vanecloo. Je le remercie pour son accueil chaleureux à chaque fois que j'ai sollicité son aide, ainsi que pour ses multiples encouragements et son soutien sur le plan humain.

J'adresse pareillement mes remerciements aux membres du laboratoire LEM, à tous les professeurs, les MCFs et tous les personnels administratifs. Je remercie en particulier M. Didier Cornuel pour nos nombreuses discussions, pour tout ce qu'il m'a apporté dans le domaine de l'économie du logement et pour ses conseils et ses encouragements.

J'adresse toute ma gratitude à tous mes ami(e)s formidables dans le laboratoire, les anciens doctorants Clément, Jérôme, Kassoum, Marion et les doctorants actuels Fadi, Franck, Hugo, Juan, Mammadou, Médédé et Thomas. Je les remercie pour toute leur

aide, pour leur gentillesse et pour l'ambiance familiale que j'ai vécu avec eux et qui m'avait beaucoup manquée par ailleurs.

Un grand merci à mon amie Radmila pour son aide précieuse et généreuse. Elle m'a donné de nombreux coups de main sans même que je ne les lui demande.

Je souhaite également remercier énormément mon amie Aurélie, son compagnon Antony et ses parents Daniel et Nicole. J'ai la chance de les connaître et je suis reconnaissante envers eux de tout ce qu'ils ont fait pour moi.

J'adresse aussi mes remerciements à ma future belle-mère Djamila pour sa gentillesse, sa sollicitude, son soutien et ses encouragements permanents. Ses quelques visites m'ont fait regoûter au sentiment d'appartenance à une famille.

Mes remerciements vont aussi à ma grande famille et à mes amis en Syrie. Malgré tous les moments difficiles qu'ils sont entrain de vivre à cause de la guerre, tous les malheurs et toutes les pertes qu'ils endurent, ils ont toujours été une source de courage pour moi. J'espère en retour être une source de fierté pour eux.

Je remercie mes frères Nizar, Hussam, Ahmed et ma soeur Reem qui font tous les jours, dans un pays qui n'est pas le leur, des efforts surréalistes pour se construire un avenir brillant. J'espère que le travail que j'ai accompli dans cette thèse leur témoigne que les efforts finissent toujours par porter leurs fruits.

Je n'oublie pas mon petit frère Aloush que j'ai laissé en Syrie. Je sais que je lui ai beaucoup manqué pendant toutes ces années. Quand je suis partie il était gamin. Aujourd'hui il est entrain de devenir un homme et j'ai hâte de le voir.

Enfin, je remercie mes parents pour leur soutien. Malgré mon éloignement depuis de nombreuses années, leur intelligence, leur confiance, leur tendresse et leur amour me portent et me guident tous les jours.

Enfin, je remercie mon cher El-Mehdi d'être présent à mes côtés et pour son soutien quotidien indéfectible. Merci...c'est un mot trop simple ... Je ne pourrai jamais le remercier assez.

Résumé

Nous analysons dans ce travail les déterminants du choix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage et l'impact de ce choix sur la consommation et la facture énergétiques domestiques des ménages en France.

Afin de combler partiellement le vide académique qui tranche avec l'importance de la problématique de la consommation énergétique pour le chauffage domestique, cette thèse est construite en quatre chapitres.

Dans le premier, nous construisons un modèle théorique décrivant l'utilisation de l'énergie pour le chauffage domestique et le choix des équipements de chauffage, tout en mettant l'accent sur l'interdépendance entre ce choix et l'intensité de l'utilisation des équipements de chauffage prévue.

Dans le second, nous mettons en évidence le manque de données relatives à la consommation énergétique domestique et nous effectuons, en recourant aux données issues de l'enquête PHEBUS, une analyse factorielle et une classification des logements basée sur leurs caractéristiques, l'énergie utilisée pour le chauffage et la quantité d'énergie consommée.

Dans Le troisième, nous analysons les déterminants de la demande énergétique pour le chauffage et de la dépense énergétique globale dans tous les logements français en estimant une série de modèles économétriques dérivés de Dubin et Mcfadden (1984) pour traiter le biais de sélection.

Enfin, dans le quatrième, nous nous focalisons sur le secteur locatif afin de déterminer d'une part les singularités qui lui sont propres et de l'autre les particularités qui distinguent le secteur social du secteur libre, tant au niveau des déterminants des choix d'équipements de chauffage qu'au niveau de la consommation et de la dépense énergétiques.

Table des matières

Introduction générale	1
0.1 Contexte	1
0.2 Problématique	3
0.3 Littérature sur la consommation énergétique domestique	5
0.3.1 Approches macroéconomiques	6
0.3.2 Approches microéconomiques	7
0.4 Objectifs et organisation	10
1 Le choix des équipements de chauffage et la demande énergétique domestique.	
Une approche théorique	15
1.1 Introduction	15
1.2 Modèle microéconomique de la consommation énergétique à système de chauffage donné	17
1.2.1 Les fonctions de demande	19
1.2.2 Le comportement des fonctions de demande :	21
1.2.3 Effets d'une variation des caractéristiques du ménage :	26
1.3 Le choix de l'énergie utilisée pour le chauffage	27
1.4 Le cas du chauffage collectif	31
1.4.1 Un modèle	31
1.4.2 L'optimum symétrique	32
1.4.3 Équilibre	33
1.4.4 Comparaison entre équilibre et optimum	34
1.5 Conclusion	37
1.A Annexe	39
2 Présentation des bases de données et classification énergétique des logements	45
2.1 Introduction	45

2.2	Données issues de l'enquête Budget Des Familles 2011	46
2.2.1	Présentation de l'enquête et de ses avantages	46
2.2.2	Difficultés d'exploitation des données	47
2.3	Données issues de l'enquête PHEBUS	51
2.3.1	Présentation de l'enquête et de ses avantages	51
2.3.2	Difficultés rencontrées en travaillant sur la Base CLODE :	52
2.4	La représentativité des échantillons après le nettoyage des bases :	56
2.5	Statistiques descriptives :	56
2.5.1	Les caractéristiques des logements	59
2.5.2	Les caractéristiques des ménages	59
2.5.3	Les caractéristiques des équipements de chauffage	60
2.5.4	Les niveaux de la consommation et de la dépense énergétiques	61
2.5.5	Les niveaux de la consommation et de la dépense énergétiques par source d'énergie	62
2.6	Analyse factorielle et classification des logements :	64
2.6.1	Analyse factorielle via la méthode des correspondances multiples	65
2.6.2	Classification ascendante hiérarchique	70
2.7	Conclusion	77
2.A	Annexe	79
2.A.1	Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes	79
2.A.2	Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes	88
3	Les déterminants du choix du système de chauffage et son impact sur la consommation et la dépense énergétiques domestique en France	101
3.1	Introduction	101
3.2	Revue de littérature	102
3.2.1	Papiers sans interdépendance	102
3.2.2	Papiers avec interdépendance	105
3.3	Méthodologie	107
3.3.1	L'aspect théorique	107
3.3.2	L'aspect empirique	110
3.4	Résultats de la régression du modèle de choix discret	113
3.4.1	L'impact des caractéristiques du logement	116
3.4.2	L'impact des caractéristiques du ménage	117
3.5	Résultats des régressions des équations de demande d'énergie	118
3.5.1	L'impact des caractéristiques du logement	119
3.5.2	Le statut d'occupation du logement	120
3.5.3	L'impact des caractéristiques du ménage	121

3.5.4	Autre déterminants	123
3.6	Conclusion	129
3.A	Annexe	130
3.A.1	Résultats des régressions du modèle de choix discret avec BDF et DPE	130
3.A.2	Résultats de la régression des équations de demande et dépense énergétique avec DPE	132
3.A.3	Résultats de la régression des équations de demande et dépense énergétique avec BDF	137
4	Les déterminants du choix du système de chauffage et son impact sur la consommation et la dépense énergétiques pour les logements locatifs en France	141
4.1	Introduction	141
4.2	Catégorisation des logements du secteur locatif	142
4.2.1	Classification en 4 groupes	143
4.2.2	Classification en 2 groupes	147
4.3	Choix des équipements de chauffage et demande d'énergie	149
4.3.1	les déterminants du choix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage	150
4.3.2	Les déterminants du niveau de la consommation (dépense) de la source d'énergie utilisée pour le chauffage	152
4.4	Conclusion	160
4.A	Annexe	161
4.A.1	Résultats ACM	161
4.A.2	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en deux groupes	163
4.A.3	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes	169
	Conclusion générale	179
	Bibliographie	183

Table des figures

1	Répartition de la consommation d'énergie et des émissions de CO2 par secteur en France, en % du totale	2
1.1	Évolution de l'utilité en fonction des besoins énergétiques du logement . . .	31
2.1	La consommation énergétique totale des logements en France en TEP . . .	61
2.2	La dépense énergétique totale des logements en France	62
2.3	Part de chaque source d'énergie dans la consommation énergétique domestique nationale	63
2.4	Part de chaque source d'énergie dans la dépense énergétique domestique nationale	63
2.5	La contribution des modalités représentées sur les trois premiers axes (seuil de 1%)	69
2.6	Arbre de la classification	71
2.7	La projection du nuage de points (3 Classes)	74
2.8	La projection du nuage de points (5 Classes)	77
4.1	Arbre de la classification des logements locatifs	143
4.2	Projection du nuage de points (4 classes)	144
4.3	Projection du nuage de points (2 classes)	149
4.4	La classe énergétique du logement selon la source d'énergie pour le chauffage et le statut d'occupation de logement	155
4.5	Les systèmes de régulation de chauffage selon la zone climatique ,la source d'énergie pour le chauffage et le statut d'occupation de logement	157
4.6	La contribution des modalités représentées sur les deux premiers axes (seuil de 1%)	162
4.7	La contribution des modalités représentées sur le troisième et quatrième axes (seuil de 1%)	163

Liste des tableaux

2.1	Nouvelles variables et anciennes variables utilisées pour leur création	50
2.2	La répartition des ménages locataires selon le statut d'occupation du logement et le mode de chauffage	55
2.3	Les caractéristiques des logements, des ménages et des chauffages en France	57
2.4	Les caractéristiques des logements, des ménages et des chauffages en France	58
2.5	La consommation et la dépense annuelles moyenne par source d'énergie . .	62
2.6	Liste des variables actives	65
2.7	Liste des variables supplémentaires	67
2.8	Décomposition de l'inertie et du Khi-2	68
2.9	Caractérisation des trois classes	73
2.10	Caractérisation des cinq classes	76
2.11	Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables actives)	80
2.11	Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables actives)	81
2.11	Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables actives)	82
2.11	Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables actives)	83
2.11	Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables actives)	84
2.12	Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables supplémentaires)	85
2.12	Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables supplémentaires)	86
2.12	Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables supplémentaires)	87
2.13	Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)	89
2.13	Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)	90
2.13	Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)	91
2.13	Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)	92
2.13	Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)	93
2.13	Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)	94
2.13	Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)	95

2.13	Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)	96
2.14	Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables supplémentaires)	97
2.14	Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables supplémentaires)	98
2.14	Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables supplémentaires)	99
2.14	Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables supplémentaires)	100
3.1	Les déterminants du choix de la source d'énergie (Base CLODE)	114
3.2	Effet de chaque variable sur les probabilités de choix de chaque source d'énergie, variation en pourcentage (Base CLODE)	115
3.3	Les déterminants de la consommation et de la dépense totale (Base CLODE)	124
3.4	Les déterminants de la consommation et de la dépense de gaz (Base CLODE)	125
3.5	Les déterminants de la consommation et de la dépense de l'électricité (Base CLODE)	126
3.6	Les déterminants de la consommation et de la dépense de fioul (Base CLODE)	127
3.7	Les déterminants de la consommation et de la dépense de bois (Base CLODE)	128
3.8	Les déterminants du choix de la source d'énergie (Base DPE)	130
3.9	Les déterminants du choix de la source d'énergie (Base BDF)	131
3.10	Les déterminants de la consommation et de la dépense d'électricité (Base DPE)	132
3.11	Les déterminants de la consommation et de la dépense de gaz (Base DPE)	133
3.12	Les déterminants de la consommation et de la dépense de fioul (Base DPE)	134
3.13	Les déterminants de la consommation et de la dépense de bois (Base DPE)	135
3.14	Les déterminants de la consommation et de la dépense totales (Base DPE)	136
3.15	Les déterminants de la consommation et de la dépense d'électricité (Base BDF)	137
3.16	Les déterminants de la consommation et de la dépense de gaz (Base BDF)	138
3.17	Les déterminants de la consommation et de la dépense de fioul (Base BDF)	138
3.18	Les déterminants de la consommation et de la dépense de bois (Base BDF)	139
3.19	Les déterminants de la consommation et de la dépense énergétiques totales (Base BDF)	140
4.1	Caractérisation des quatre classes	146
4.2	Caractérisation des deux classes	148

4.3	Les déterminants du choix de gaz comme une source d'énergie pour le chauffage selon le statut d'occupation du logement (base CLODE)	151
4.3	Les déterminants du choix de gaz comme une source d'énergie pour le chauffage selon le statut d'occupation du logement (base CLODE)	152
4.4	Les déterminants de la consommation et de la dépense de gaz	156
4.5	Les déterminants de la consommation et la dépense d'électricité	159
4.6	Décomposition de l'inertie et du Khi-2	161
4.7	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en deux groupes (variables actives)	164
4.7	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en deux groupes (variables actives)	165
4.7	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en deux groupes (variables actives)	166
4.8	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en deux groupes (variables supplémentaires)	167
4.8	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en deux groupes (variables supplémentaires)	168
4.9	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables actives)	170
4.9	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables actives)	171
4.9	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables actives)	172
4.9	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables actives)	173
4.9	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables actives)	174
4.9	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables actives)	175
4.10	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables supplémentaires)	176
4.10	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables supplémentaires)	177
4.10	Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables supplémentaires)	178

Introduction générale

0.1 Contexte

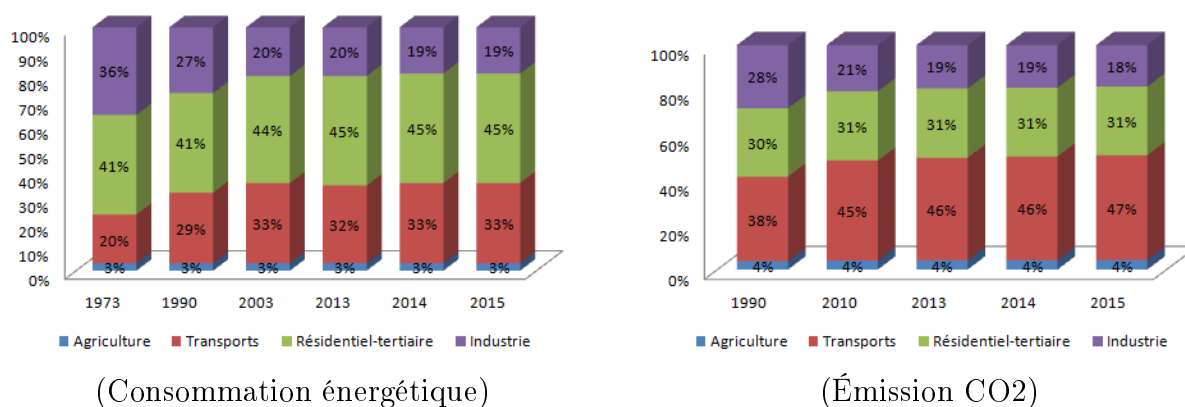
L'objet de cette thèse est d'analyser de façon approfondie les déterminants du choix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage et l'impact de ce choix sur la consommation et la facture énergétiques dans le secteur résidentiel en France. L'objectif ici est double : d'une part, il s'agit de décrire avec précision le panorama réel de l'usage énergétique pour le chauffage en France, chose qui n'a pas encore été réalisée à ce jour, et de l'autre de fournir aux décideurs publics un outil d'analyse et de décision sur lequel ils peuvent s'appuyer pour formuler des politiques énergétiques pertinentes en direction du secteur résidentiel et qui contribueront efficacement à ce que la France atteigne les différents objectifs de réduction de consommation énergétique et d'émissions de gaz à effets de serre qu'elle s'est fixés.

L'intérêt de se plonger dans l'étude de la consommation énergétique dans le logement en France vient du fait que le secteur résidentiel-tertiaire est le plus énergivore et le second en terme d'émissions polluantes avec respectivement 45% de la consommation énergétique totale du pays et 31% des émissions de gaz à effet de serre. Le Figure 1 montre la part de quelques secteurs de l'économie dans la consommation énergétique globale nationale entre 1973 et 2015 et la part des mêmes secteurs dans les émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2015.

Choisir, parmi tous les postes de dépense énergétique dans le logement, de se focaliser sur le chauffage se justifie en trois points : le premier est que le chauffage est responsable à lui seul de plus de 60% de la consommation énergétique résidentielle totale en France¹, le second est que la réponse à la nécessité de se chauffer peut être apportée par le recours à différentes sources d'énergie qui diffèrent toutes en terme d'efficacité, de prix, d'accessibilité, de facilité d'utilisation et d'émissions polluantes et le troisième est que le choix de la source que l'on utilise pour se chauffer se fait, le cas échéant, au regard desdites caractéristiques.

1. Et plus généralement dans les pays avec des caractéristiques climatiques similaires à celles de la France.

GRAPHIQUE 1 – Répartition de la consommation d'énergie et des émissions de CO2 par secteur en France, en % du total



Source : Bilan énergétique de la France pour 2015, calculé l'auteur

C'est d'ailleurs en partie pour ces raisons qu'une grande part des efforts entrepris par la France depuis plusieurs décennies déjà pour réduire sa consommation énergétique se sont matérialisés en une série de réglementations thermiques en direction du secteur résidentiel dans un premier temps, puis également en direction du secteur tertiaire par la suite. La première réglementation thermique a été instaurée en 1973, au lendemain du premier choc pétrolier, et la dernière en 2012. La première réglementation à concerner le secteur tertiaire est celle de 1988. L'objectif de chacune des réglementations est d'imposer aux bâtiments neufs un plafond de consommation d'énergie par mètre carré qui est inférieur d'un certain pourcentage à celui de la réglementation précédente.

De ce fait, la réglementation thermique 2012 est celle dont le seuil d'exigence est le plus élevé. Elle découle des lois Grenelle I et Grenelle II adoptées en 2009 et 2010 et dont l'objectif est de définir une politique de développement durable en France reprenant les engagements du protocole de Kyoto qui place l'action globale dans un temps long, avec des objectifs à l'horizon 2050.

La particularité de la réglementation thermique 2012, en plus d'imposer aux bâtiments neufs une consommation énergétique inférieure à $50kWh/m^2/an$ en énergie primaire, c'est qu'elle est la première à viser les bâtiments existants à travers une série de dispositifs d'aide gouvernementaux de financement des travaux d'amélioration thermique dans les logements. Ces dispositifs s'insèrent dans le cadre du « Plan de Rénovation Énergétique de l'Habitat » lancé par le gouvernement en 2013, avec pour objectif la rénovation énergétique de 500000 logements par an à l'horizon 2017. Parmi les incitations financières mise en place nous citons : le Crédit d'Impôt de Transition Énergétique, l'Eco-Prêt à taux zéro, La TVA à taux réduit et le programme « Habiter Mieux » de l'Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat. Pour ce qui est du secteur du logement social, un plan particulier a été

lancé pour rénover les 800.000 logements dont la consommation énergétique annuelle est supérieure à $230kWh/m^2/an$ d'énergie primaire, et les 180.000 logements sociaux dans les zones relevant du programme national de rénovation urbaine.

Cependant, les résultats espérés de la mise en place de ces différents dispositifs se font attendre. En effet, le rapport publié en janvier 2017 sur le financement des rénovations énergétiques dans le secteur résidentiel par un groupe de travail de l'Energy Efficiency Financial Institutions Group (IEFIG), qui est un groupe d'experts mis en place par la Commission Européenne et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, indique que les dispositifs incitatifs mis en place au niveau national n'ont pas eu d'effet significatif sur la demande et l'offre de travaux de rénovation énergétique dans le bâtiment. Le rapport pointe en particulier du doigt la multitude des dispositifs incitatifs et leur complexité causée par l'enchevêtrement des modalités et des conditions nécessaires à leur obtention.

A notre sens, le faible impact des dispositifs incitatifs aux travaux de rénovation thermique s'explique majoritairement par l'absence d'études économiques, académiques ou non académiques, menées préalablement d'un point de vue microéconomique, avec pour objectif la détermination de la réaction des ménages aux évolutions des prix de l'énergie, que ce soit sur le court terme à travers l'ajustement de leur consommation, ou sur le long terme à travers l'amélioration de l'isolation thermique de leurs logements ou le renouvellement de leurs équipements consommateurs d'énergie. La complexité des dispositifs gouvernementaux pointée par l'IEFIG n'est, à notre sens, qu'une conséquence de ce manque d'études.

0.2 Problématique

Pour saisir simplement les mécanismes sous-jacents à la demande énergétique des ménages, il convient de partir du fait que celle-ci est formulée pour pouvoir consommer un certain nombre de services essentiels qui, au même titre que la fourniture d'un toit protégeant contre le froid hivernal glacial ou le soleil de plomb estival, constituent la substance même de la représentation qu'on se fait de ce qu'est un domicile. En effet, il est difficilement imaginable au 21^{ème} siècle de loger dans une maison ou un appartement sans éclairage, sans frigo, sans cuisinière ou sans eau chaude. Dans les zones climatiques chaudes, occuper un logement n'offrant pas la possibilité de jouir de la climatisation est difficilement concevable. De même, dans les régions froides, on ne peut habiter un logement dépourvu d'un système de chauffage. De ce fait, les dépenses liées à l'occupation d'un logement ne se limitent pas au règlement d'un loyer ou au remboursement d'un crédit immobilier, mais couvrent également les frais engendrés par la consommation des services

essentiels au bon fonctionnement du logement et au confort de ses occupants.

Ces services essentiels et beaucoup d'autres, moins indispensables, sont fournis par des appareils qui fonctionnent en consommant de l'énergie, en quantités plus ou moins importantes, générant ainsi une facture énergétique domestique plus ou moins élevée. Certains appareils, comme les frigos, les téléviseurs et les systèmes d'éclairages ne peuvent fonctionner qu'avec une source d'énergie, l'électricité en l'occurrence. D'autres équipements, comme les systèmes de chauffage, les chauffe-eau ou les cuisinières peuvent, au contraire, fonctionner en recourant à différentes sources d'énergie.

En somme, la demande d'énergie totale dans un logement est la résultante d'une combinaison de demandes de services, en quantités plus ou moins importantes, produits par une diversité d'appareils consommateurs d'énergie. Ces appareils diffèrent en terme de qualité, d'efficacité énergétique et, en conséquence, de prix. En général, les appareils qui fournissent une grande quantité de service en consommant assez peu d'énergie coûtent cher à l'achat. En revanche, les appareils dont l'efficacité énergétique est faible sont généralement moins chers à l'acquisition, mais leur utilisation intensive peut générer des factures énergétiques exorbitantes.

Au vu de ces éléments, il apparaît, de façon assez claire, que lors de l'achat des appareils domestiques consommateurs d'énergie, le consommateur rationnel effectue son choix parmi les diverses variantes d'un bien produisant un service donné en fonction, notamment, de la quantité dudit service qu'il prévoit de consommer. Le choix entre les alternatives résulte d'un arbitrage dont les tenants et les aboutissants principaux sont le coût d'achat de chacune d'entre elles et le coût engendré par son utilisation. Si le consommateur pense qu'un service sera consommé en quantité importante, entraînant un usage intensif de l'appareil qui le produit, il investit dans un équipement coûteux, mais dont l'efficacité énergétique est élevée, son utilisation fréquente permettant d'amortir dans un délai assez raisonnable le surcoût à l'achat à travers les économies réalisées lors de l'utilisation. Si au contraire le consommateur pense que le service en question sera consommé en faible quantité, il n'a aucun intérêt à investir dans un équipement dont l'efficacité énergétique est grande, la fréquence de son utilisation étant trop faible pour espérer un retour sur investissement dans un délai raisonnable.

Ainsi, la demande d'énergie dans un logement dépend de l'efficacité énergétique des équipements consommateurs d'énergie choisis, ce choix étant lui-même fonction de la demande d'énergie anticipée par les ménages en fonction de leurs besoins et de leurs goûts en matière de services. De ce fait, la consommation énergétique d'un logement est le résultat d'un problème d'optimisation complexe mené par les ménages et dans lequel le choix des équipements énergétiques, qui sont des biens durables d'un point de vue microéconomique, et la demande d'énergie qui en résulte, sont interdépendants. Traiter

la demande énergétique domestique sans tenir compte des choix d'équipements effectués revient à analyser des élasticités de la demande énergétique au prix de l'énergie et au revenu des ménages à stock d'équipements énergétiques fixes. Cela permet certes d'étudier les réponses des ménages à des variations des prix de l'énergie et des revenus dans le court terme, mais ne permet pas une analyse de long terme, car celle-ci peut être très probablement marquée par l'adaptation des ménages aux évolutions des prix de l'énergie à travers l'ajustement progressif de leurs stock d'équipements énergétiques.

Le problématique microéconomique posée par l'interdépendance entre le choix d'un bien durable et la demande énergétique qui résulte de son utilisation a été soulevée dès la fin des années soixante-dix, entre autres, par Taylor (1975), Hanneman (1984), Dubin et McFadden (1984) et Haussman (1984). Pour la traiter convenablement, ces auteurs suggèrent des modèles microéconomiques qui tiennent compte de cette interdépendance et qu'ils nomment « modèles de choix discret / continu ». La demande énergétique pour le chauffage domestique s'inscrit dans ce cadre d'étude. Cependant, il n'existe aucune étude spécialement dédiée aux systèmes et au service de chauffage.

L'interdépendance entre le choix des équipements consommateurs d'énergie et la demande de cette dernière ne pose pas uniquement un problème de modélisation microéconomique mais aussi un problème de spécification économétrique. Dubin et Mcfadden (1984) insistent sur le fait que toute modélisation économétrique de la demande énergétique qui ne tient pas compte de son interdépendance avec le choix des équipements qui la consomment que suggère la théorie microéconomique conduit à des estimations biaisées et non convergentes des élasticités prix et revenu². Hanneman (1984) affirme que les méthodes d'Amemya, d'Heckman et de Lee peuvent être utilisées pour implémenter des modèles économétriques de demande d'énergie, mais que ces méthodes ne reposent pas sur des fondement théoriques microéconomiques. Il signale également que les seuls spécifications économétriques qui le sont sont celles de Dubin et Mcfadden (1984) et King (1980). Il est à noter que la méthode suggérée par Dubin Mcfadden (1984) est devenue la pierre angulaire des modèles de micro-simulation de demande énergétique utilisés par l' "U.S Department of Energy's National Energy Modeling System" (Lucas W. D. - 2008).

0.3 Littérature sur la consommation énergétique domestique

Traiter la question de la consommation énergétique du point de vue des sciences économiques peut se faire via un prisme macroéconomique ou un prisme microéconomique.

2. Une présentation plus détaillée de Dubin et McFadden (1984) figure dans le chapitre 3 de cette thèse.

Dans cette section, nous présentons un premier ensemble de contributions relevant d'une approche macroéconomique et un second ensemble adoptant une approche microéconomique.

Compte tenu du fait que cette thèse s'insère dans le sphère de la microéconomie, l'accent est d'avantage mis sur les articles qui traitent la consommation énergétique des ménages de ce point de vue.

Il est à noter que les papiers spécialement dédiés au chauffage domestique sont très rares. Il n'en existe à notre connaissance que deux : Dubin et McFadden (1984) et Nesbaken (2001). Ils seront présentés en détail dans le Chapitre 3.

0.3.1 Approches macroéconomiques

D'un point de vue macroéconomique, la grande majorité des études dédiées à la consommation énergétique se concentrent sur la relation entre cette dernière et la croissance économique, au niveau national. Bien que des réserves méthodologiques peuvent être émises quant aux méthodes utilisées pour déterminer la direction de la causalité et qu'il n'y ait pas la littérature de consensus cette direction, (Ozturk I. 2010)³ affirme que le rôle positif de la consommation énergétique dans la croissance économique est devenu, depuis longtemps, un fait stylisé. Soytaş et Sari (2003) nuancent cette affirmation. En effet, à travers l'analyse des propriétés des séries chronologiques des consommations énergétiques de dix pays en développement et des pays du G7 et le réexamen de la relation de causalité entre ces séries avec les PIB nationaux, les auteurs montrent que le sens de la causalité diffère d'un pays à l'autre. Pour l'Argentine, cette relation est bidirectionnelle. Concernant l'Italie et la Corée, la causalité va du PIB vers la consommation énergétique. Enfin, pour la Turquie, l'Allemagne, la France et le Japon, il s'avère que la relation de causalité va dans le sens inverse et que la réduction de la consommation énergétique nationale peut nuire au développement économique de ces pays.

L'existence d'une corrélation entre consommation énergétique et développement économique a été partiellement contestée par Someth et al. (2016). En analysant la consommation énergétique de dix-huit pays en développement et dix-huit pays développés entre 1980 et 2013, ils montrent que, dans les pays en développement, la quantité d'énergie consommée par habitant a un impact négatif sur la croissance économique et que le contraire prévaut dans les pays développés. L'explication avancée par les auteurs est que la part des énergies renouvelables est beaucoup plus importante dans les pays développés et que dans ces pays, l'énergie est utilisée pour produire des biens qui ont une valeur

3. Cf Ozturk (2010) pour une revue de littérature détaillée des papiers traitant le lien entre consommation énergétique et croissance économique.

économique très élevée, contrairement à ce qu'il en est dans les pays en développement.

Il est à noter que, dans la grande majorité des travaux qui traitent du lien entre croissance économique et consommation énergétique, cette dernière est considérée comme un « tout » aucune distinction n'étant faite quant aux différents types de demande. A notre connaissance, l'un des rares papiers macroéconomiques qui s'intéresse à une demande énergétique particulière est celui de Slini et al. (2015), qui se penche sur le cas de la Grèce. Les auteurs s'intéressent au changement de demande énergétique des ménages grecs au lendemain de la crise financière de 2008. Les résultats montrent qu'à partir de 2010, la dépense des ménages dédiée au chauffage a baissé, que leur demande de pétrole et de gaz naturel a chuté et que leur demande de bois a augmenté de façon exponentielle, avec des conséquences « dramatiques » sur la qualité de l'air et une accélération de la déforestation. Les auteurs expliquent cet état de fait par la baisse brutale du pouvoir d'achat en Grèce, couplée à une envolée du prix du pétrole au niveau mondial.

0.3.2 Approches microéconomiques

Les papiers traitant de la consommation énergétique résidentielle d'un point de vue microéconomique présentent une caractéristique importante liée à leur date de parution. Une première vague de papiers académiques a été publiée entre la fin des années soixante-dix et la première moitié des années quatre-vingt et une seconde vague l'a été à la fin des années deux-mille. Les motivations conduisant à ces deux vagues de publications sont de natures différentes. Si les recherches récentes sont stimulées par la prise de conscience relativement tardive de la problématique écologique et de son lien avec les problématiques économiques, les auteurs des papiers de la première vague ont surtout été motivés par le besoin de fournir un cadre théorique et des méthodologies économétriques adéquats pour traiter empiriquement la problématique de l'interdépendance entre la demande de biens durables et la demande d'énergie nécessaire au bon fonctionnement de ces biens durables.

Pour se rendre compte de cette dichotomie, qui caractérise les papiers qui traitent de la consommation énergétique domestique, il suffit de jeter un œil sur les revues où les articles de la première vague ont été publiés et celles où les articles de la seconde vague l'ont été. Les articles de la première vague ont été publiés dans des revues qui mettent l'accent sur les avancées méthodologiques relatives au traitement des questions économiques tandis que les papiers de la deuxième vague l'ont été dans des revues spécialisées dans l'économie énergétique et l'économie de l'environnement.

Papiers de la première vague

Les papiers de la première vague se concentrent majoritairement sur l'analyse de la demande domestique d'électricité. Les travaux empiriques qui font partie de cette vague sont majoritairement appliqués à des échantillons de ménages résidant dans l'un ou l'autre des Etats américains. En 1975, Taylor publiait déjà un article dans lequel il présente l'état de l'art de la littérature économétrique traitant de la demande d'électricité et formulait un certain nombre de critiques et de remarques. Il soulignait notamment que la consommation d'électricité se caractérise par deux particularités qui doivent être prises en compte : la première est que son prix unitaire à la consommation n'est pas fixe et la seconde est que sa demande sur le long terme diffère de sa demande sur le court terme. Taylor (1975) indique que le premier papier ayant soulevé et traité les difficultés méthodologiques posées par l'interdépendance entre le prix de l'électricité et la quantité d'électricité consommée est Houthakker (1962)⁴. Il est à noter que les papiers cités dans Taylor (1975) exploitent des données agrégées. L'auteur exprime d'ailleurs sa surprise quant au fait qu'aucune des études qu'il a citées ne prend le ménage comme unité d'observation. Enfin, il conclut son article en indiquant que la demande d'électricité sur le long terme n'avait pas encore été traitée de la façon la plus efficace tout en insistant sur la nécessité de construire des bases de données de prix et des bases contenant des informations sur la consommation des ménages, les stocks d'appareils électriques et leurs évolutions dans le temps.

En 1979, Hausman et ses co-auteurs publient un article dont l'objectif est d'étudier l'effet du mode de tarification sur la demande d'électricité domestique. Ils exploitent pour cela des données collectées lors d'une expérimentation menée sur 200 ménages résidant dans l'état du Connecticut entre octobre 1975 et octobre 1976. Partant du fait que la demande globale d'électricité n'est pas constante dans la journée et que le coût marginal de sa production est beaucoup plus élevé en période de pointe que lors des périodes de moyenne ou de faible demande, l'expérimentation consiste en l'application d'une facturation de l'électricité qui dépend du moment de la journée où elle est consommée. La journée est ainsi divisée en trois périodes, une période de pointe au cours de laquelle le kw/h est facturé 16 cents, une période de « demande intermédiaire » au cours de laquelle il est facturé 3 cents et une période de « faible demande » au cours de laquelle il est facturé 1 cent. Le relevé des compteurs est effectué et enregistré toutes les 15 minutes tout au

4. En raison de l'absence de données précises relatives au prix des sources d'énergies utilisées pour le chauffage et en particulier celui de l'électricité en France, nous n'avons d'autre choix dans les chapitres suivants que de les considérer comme constants. Pour cela, nous ne présentons dans ce chapitre qu'un nombre limité de papiers consacrés à cet aspect de la problématique et nous le faisons de façon assez sommaire.

long de la période d'expérimentation.

L'analyse statistique de ces relevés fait état du déplacement d'une part significative de la demande d'électricité formulée en périodes de pointe vers les périodes de « demande intermédiaire ». Fort de ce constat, les auteurs construisent un modèle microéconomique théorique qui explique l'ajustement de la demande des ménages à ce type de tarification. Dans ce modèle, l'électricité est considérée comme un bien « hétérogène » dont la nature et le prix varient d'une période à l'autre. Le nombre de variétés de ce bien est égal au nombre de prix figurant dans la grille tarifaire. La consommation de chacune des variétés procure une certaine « sous-utilité », et toutes les sous-utilités s'emboîtent de façon substituable de façon à fournir une « utilité globale » de la consommation d'électricité.

De ce modèle découle une fonction de demande d'électricité que les auteurs implémentent économétriquement via un modèle à deux niveaux. Dans le premier niveau les auteurs estiment la demande d'électricité par période de tarification et utilisent les fonctions de sous-utilité qu'ils ont considéré pour construire un indice de prix de l'électricité qui reflète un coût unitaire hebdomadaire. Dans un second temps, l'indice estimé est utilisé pour déterminer la demande d'électricité hebdomadaire. En procédant ainsi, les auteurs tiennent compte du fait que la demande d'électricité des ménages est dictée par leurs besoins, dont certains ne peuvent être reportés, et est influencée, en partie, par le mode de tarification. Les modèles ainsi estimés prévoient de façon assez fine la demande d'électricité en période de pointe et en période de basse demande.

Les auteurs concluent leur papier en mentionnant que la période d'étude est courte et que le stock d'appareils ménagers est donc considéré comme fixe et de ce fait, les résultats obtenus ne peuvent être utilisés pour prévoir la demande d'électricité sur le long terme. A cette remarque, nous ajoutons que l'échantillon des ménages sur lequel l'expérimentation a été menée est assez restreint, ce qui pose la question de sa représentativité.

En 1984, Hausman et Trimble publient un article dans lequel ils analysent l'effet d'une application permanente de la tarification de l'électricité en fonction de l'heure de la journée où elle est consommée. Dès 1976, les ménages résidant dans l'état du Vermont pouvaient choisir entre ce type de tarification ou une tarification classique. Les auteurs trouvent que les ménages qui ont choisi la tarification « modulable » s'y sont adaptés en achetant un certains nombres d'appareils qui permettent de mieux contrôler la demande d'électricité et qu'au final ces ménages « s'en sortent mieux » que ceux qui ont choisi la tarification classique.

Toujours en 1984, Hanneman publie un papier dont l'objectif est de présenter une série de modèles microéconomiques standards et modulables dans lesquels le

consommateur maximise son utilité en effectuant un choix entre une variété de biens durables et en utilisant la variété choisie avec une certaine intensité. Il s'inspire en cela des travaux de Lancaster (1971) et Novshek et Sonnenschein (1979) et fournit des méthodes d'implémentation économétrique permettant d'analyser empiriquement ce type de demande qui se caractérise par une composante discrète et une composante continue.

Les propositions de Hanneman couvrent une large variété de formes fonctionnelles et de distributions de probabilité pour la composante aléatoire. Cependant, les modélisations proposées dans ce papier sont très génériques et restent assez vagues à notre sens. Elles peuvent donner des intuitions quant à la manière de construire un modèle de choix discret / continu, mais pour la problématique de cette thèse, elles sont difficilement exploitables dans l'état. Pour cette raison, nous n'allons pas nous étendre d'avantage sur les modèles et les méthodes d'implémentation économétriques proposées dans ce papier.

Enfin, Dubin et Mcfadden (1984), évoqué brièvement dans la section 2, est à notre sens l'un des papiers les plus influents de cette première vague de publications. Nous nous appuyons sur la méthode d'estimation économétrique qui y est développée dans les analyses empiriques que nous effectuons dans le Chapitre 3 de cette thèse. Pour cette raison, une présentation détaillée en est faite dans ce chapitre.

Papiers de la deuxième vague

Les papiers de la deuxième vague de publications laissent de côté l'aspect théorique de la modélisation de la demande énergétique domestique pour se concentrer sur l'aspect empirique de la problématique. Quelques uns de ces papiers tiennent compte de l'interdépendance entre le choix des équipements consommateurs d'énergie et l'utilisation qui en est faite, mais la grande majorité des papiers n'en tiennent pas compte.

Les papier de la deuxième vague sont présentés de façon détaillée dans la revue de littérature du chapitre 3.

0.4 Objectifs et organisation

L'objet principal de cette thèse est de fournir un éclairage détaillé sur l'utilisation de l'énergie pour le chauffage en France et de déterminer les facteurs qui impactent le choix des équipements et la demande énergétique pour le chauffage dans le pays. Un intérêt particulier est porté à l'interdépendance entre le choix des équipements de chauffage et l'usage qui en est prévu, l'objectif principal étant de mesurer les élasticités de la demande d'énergie pour le chauffage par rapport aux prix de l'énergie sur le long terme.

Cette thèse s'inscrit dans un contexte paradoxal où le poids de la question de la consommation énergétique induite par le chauffage domestique fait face à un manque criant d'études économiques l'analysant. L'une des raisons qui peuvent expliquer le manque d'études académiques sur la consommation énergétique résidentielle en France, en particulier celles qui sont consacrées au chauffage domestique, réside dans le manque de bases de données contenant des informations exploitables dans ce sens. Pour combler ce vide, le ministère du développement durable a lancé en 2012 L'enquête Performance de l'Habitat, Équipements, Besoins et USages de l'énergie (PHEBUS). De cette enquête résultent les deux premières bases de données nationales construites uniquement pour contenir des informations relatives à la consommation énergétique dans les logements et aux comportements de leurs occupants vis-à-vis de l'énergie. Des versions préliminaires de ces bases nous ont été fournies en septembre 2015.

Ainsi, pour apporter un éclairage théorique et empirique qui se veut le plus large possible compte tenu de l'outil statistique dont nous disposons, cette thèse s'articule autour de quatre chapitres.

Dans le premier, nous construisons un modèle microéconomique théorique décrivant la demande énergétique pour le chauffage domestique et l'impact de cette demande sur le choix des équipements de chauffage. De ce modèle, nous dérivons des élasticités de la demande d'énergie par rapport aux caractéristiques des logements, des ménages qui les occupent et des prix des énergies avec lesquelles les systèmes de chauffage fonctionnent. Nous traitons également dans ce chapitre le cas du chauffage collectif, un mode très souvent utilisé dans les grands complexes résidentiels. L'intérêt de ce chapitre est de fournir un certain nombre d'hypothèses à tester dans les chapitres empiriques

Les résultats principaux qui découlent du modèle développé dans ce chapitre montrent que l'élasticité de la demande d'énergie par rapport à son prix est négative, que la hausse du prix de l'énergie conduit à une baisse de la température intérieure du logement, que quand une caractéristique du logement permet d'avoir une même température intérieure avec une consommation énergétique moindre, le ménage diminue sa consommation tout en profitant du coût marginal plus faible de la hausse de la température pour augmenter cette dernière et enfin, que l'impact d'une modification des caractéristiques du ménage sur le choix de la température et la consommation énergétique passe essentiellement par la modification de ses préférences et ses conséquences sur sa disposition marginale à payer⁵.

Pour ce qui est du choix des équipements de chauffage, les différentes différentiations

5. Un ménage très sensible aux variations de la température devant avoir une disposition à payer plus importante.

de l'utilité indirecte montrent que le ménage n'a intérêt à investir dans des équipements onéreux mais efficaces et fonctionnant avec des énergies peu chères que si son logement ou ses besoins de chaleurs nécessitent une consommation énergétique élevée. Dans ce cas, sa satisfaction est plus grande et le coût d'investissement supplémentaire dans les équipements est amorti dans un bref délai.

Nous nous sommes également intéressés dans ce chapitre au cas du chauffage collectif. Nos résultats montrent que ce mode de chauffage peut être à l'origine d'une surconsommation énergétique en raison de l'insuffisance des efforts des ménages, chose qui conduit le gestionnaire du parc de logement à compenser partiellement cette insuffisance par une fourniture d'énergie plus importante. Cependant, en raison des effets d'échelle inhérents à ce mode de chauffage, le recours à des systèmes plus efficaces et fonctionnant avec des énergies peu chères est beaucoup plus envisageable que dans le cas du chauffage individuel et de ce fait, la surconsommation énergétique évoquée ci-avant peut ne pas exister.

Enfin, il est à noter que le modèle ne permet pas d'éclairer sur l'ampleur de l'élasticité de la demande d'énergie par rapport à son prix, ni même sur la nature normale ou supérieure de l'énergie en tant que bien de marché. Ceci renforce la nécessité des analyses empiriques effectuées dans les chapitre suivant de cette thèse.

Dans le deuxième chapitre, nous poursuivons trois objectifs. Dans un premier temps, nous présentons de façon assez détaillée les enquêtes et les informations contenues dans les bases qui résultent de l'enquête Budget des Familles 2010-2011 et de l'enquête PHEBUS. Ces bases de données sont exploitées dans ce chapitre et dans les chapitres suivants de la thèse. Deuxièmement, nous mettons en évidence les difficultés que pose l'exploitation statistique de ces bases. Ces difficultés sont causées par la façon avec laquelle les informations sont disposées, par l'existence d'un nombre important de valeurs manquantes pour plusieurs variables d'intérêt et par les erreurs de codage dues à la nature provisoire des bases issues de PHEBUS. Enfin, après un long et fastidieux travail de nettoyage des données qui a nécessité plus de six mois de travail, nous effectuons une exploration statistique approfondie de l'état de la consommation énergétique domestique dans le pays. Le choix méthodologique que nous adoptons pour cette analyse est celui d'une analyse factorielle suivie d'une classification ascendante hiérarchique, l'objectif étant de fournir une description détaillée de la situation de l'utilisation énergétique pour le chauffage en France qui tient compte des interrelations complexes des facteurs économiques, géographiques et sociaux qui en sont à l'origine.

Les résultats de cette classification montrent que les logements dont les besoins énergétiques sont élevés sont "souvent" équipés d'un système de chauffage fonctionnant

avec une énergie peu chère et que les logements dont les besoins sont faibles ont souvent recours à un chauffage fonctionnant à l'électricité. Cette interdépendance est conditionnée par la disponibilité des différentes sources ; une disponibilité elle-même fonction des spécificités de chaque territoire et de l'histoire des politiques menées pour son aménagement. Par ailleurs, il apparaît à travers la classification que le parc de logements du secteur locatif possède des caractéristiques particulières qui le distinguent du parc des logements occupés par leurs propriétaires. En cela, une analyse économétrique lui doit être dédiée. Cette nécessité est appuyée par le fait que le secteur locatif se décompose en secteur libre et secteur social : deux secteurs dont les logiques économiques et les objectifs sociaux différents et qui sont occupés par des ménages ayant des caractéristiques socioéconomiques différentes.

Dans le troisième chapitre, nous analysons les déterminants de la demande énergétique pour le chauffage et de la dépense énergétique globale dans tous les logements français. Pour cela, nous estimons des modèles économétriques dérivés de Dubin et Mcfadden (1984) en utilisant différents échantillons tirés des bases PHEBUS et Budget des Familles 2011. L'intérêt de cette modélisation est le traitement des problèmes de biais de sélection causés par le fait que le choix des équipements de chauffage est conditionné par l'intensité éventuelle de son utilisation.

La démarche suivie ici s'articule autour de deux étapes : la première consiste à estimer un modèle de choix discret permettant d'identifier les déterminants du choix des équipements et des sources d'énergie pour le chauffage dans les logements et la seconde consiste en l'utilisation des résultats de la première étape pour construire des correcteurs de biais de sélection et de les employer dans l'estimation de la demande de chauffage et de la dépense énergétique dans les logements.

Les principaux résultats de ce chapitre montrent que les trois principaux déterminants du choix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage sont le besoin énergétique du logement, l'accessibilité aux sources d'énergie et le prix des sources d'énergie. Pour ce qui est de la consommation énergétique, les résultats montrent que la consommation et la dépense augmentent avec les besoins du logement, que les logements avec des chauffages sans aucun système de régulation sont ceux où la consommation et la dépense sont les plus faibles et que, quand les prix des sources d'énergies utilisées pour le chauffage augmentent, la quantité d'énergie consommée diminue mais le niveau de la dépense énergétique augmente, ce qui semble indiquer qu'il existe un niveau de consommation minimal en-dessous duquel les ménages ne peuvent descendre et qu'ils sont prêts à payer le prix pour s'y maintenir.

Enfin, dans le quatrième chapitre, nous nous focalisons sur la consommation et la dépense énergétique dans le secteur du logement locatif. Ce choix se justifie, en plus du résultat de la classification obtenu dans le chapitre 2, par le fait qu'en dépit de l'importance de ce secteur qui représente 30% du stock de logements, aucune étude académique ne lui a été spécialement dédiée. Or cela est nécessaire car les caractéristiques des locataires et des logements qu'ils occupent diffèrent de ceux des propriétaires et compte tenu du fait qu'ils sont minoritaires, il est impossible d'extraire les déterminants de leurs choix et de leur comportement énergétique en effectuant une analyse qui prend en considération tous les logements et tous les ménages.

L'objectif de ce chapitre est double : d'une part nous souhaitons déceler d'éventuelles singularités propres au secteur locatif et de l'autre, nous souhaitons mettre en lumière les particularités qui peuvent distinguer le secteur locatif social du secteur locatif libre tant au niveau des déterminants des choix d'équipements de chauffage qu'au niveau de la consommation et de la dépense énergétiques. Pour traiter le problème du biais de sélection, nous recourons ici à la méthode de Heckman dont la méthode de Dubin et Mcfadden utilisée dans le Chapitre 3 est une généralisation, les principales sources utilisées pour le chauffage dans le secteur locatif étant le gaz de ville et l'électricité.

Les principaux résultats de ce chapitre montrent que les différences observés entre les logements des deux secteurs, tant au niveau de l'énergie utilisée pour le chauffage qu'au niveau de la consommation énergétique, sont plus dues aux caractéristiques intrinsèques des logements et de leurs occupants qu'à leur appartenance à tel ou à tel secteur. Des logements appartenant à des secteurs différents ayant des caractéristiques proches et occupés par des ménages similaires ont des probabilités très proches d'avoir recours au même système de chauffage et sont très susceptibles d'avoir une consommation et une dépense énergétiques voisines.

Chapitre 1

Le choix des équipements de chauffage et la demande énergétique domestique. Une approche théorique

1.1 Introduction

La question de la consommation énergétique domestique est au croisement de préoccupations économiques, écologiques et sociales. Y répondre efficacement par l'implémentation de politiques publiques nécessite une compréhension détaillée de la demande d'énergie domestique au niveau microéconomique et une analyse précise des déterminants des choix des équipements domestiques à l'origine de cette consommation.

D'un point de vue méthodologique, la question de la consommation énergétique dans le secteur résidentiel pose un problème microéconomique à la fois complexe et intéressant. Sa résolution est une des conditions préalables nécessaires à l'implémentation de toute politique publique énergétique qui se veut efficace et à même de permettre aux ménages d'aider les acteurs de la décision publique à atteindre des objectifs écologiques ambitieux. Cependant, il n'excite à notre connaissance aucun papier théorique s'intéressant à cette question.

La complexité méthodologique inhérente à la modélisation de la demande énergétique pour le chauffage vient de l'interdépendance entre le choix des équipements de chauffage et l'utilisation qui en est prévue. La problématique posée par l'interdépendance entre le choix d'un bien durable et la demande énergétique qui résulte de son utilisation a été soulevée dès la fin des années soixante-dix par Taylor (1975), Hanneman(1984), Dubin et Mcfadden (1984) et Haussman (1984) entre-autres. Cependant, le traitement

microéconomique de cette problématique a toujours été très superficiel au profit de la recherche de méthodes économétriques à même de permettre la réalisation d'analyses empiriques et de régressions économétriques fiables.

L'intérêt porté à la modélisation de la demande énergétique et du choix des équipements de chauffage se justifie en trois points. Premièrement, ce service est à l'origine de près de 60% de la consommation énergétique domestique en France et dans les pays avec des caractéristiques climatiques similaires. Deuxièmement, le besoin de se chauffer peut être comblé en recourant à plusieurs sources d'énergie qui diffèrent entre elles par leur facilité d'utilisation, leur accessibilité, les équipements nécessaires, le prix et les émissions polluantes. Enfin, le chauffage est le poste le plus énergivore dans un logement et donc le plus gros émetteur de gaz polluants dans le secteur résidentiel. Pour ces raisons, le fait que les incitations financières faites aux ménages par les gouvernements d'un certain nombre de pays pour les inciter à se diriger vers des logements éco-responsables ne soient pas précédées d'études microéconomiques théoriques traçant les contours des comportements des ménages nous paraît paradoxale.

L'objectif de ce chapitre est de combler partiellement ce vide en construisant un modèle microéconomique théorique décrivant la demande énergétique pour le chauffage domestique et l'impact de cette demande sur le choix des équipements de chauffage. De ce modèle, nous dérivons des élasticités de la demande d'énergie par rapport aux caractéristiques des logements, des ménages qui les occupent et des prix des énergies avec lesquelles les systèmes de chauffage fonctionnent. Nous traitons également ici le cas du chauffage collectif, un mode très souvent utilisé dans les grands complexes résidentiels.

Les résultats obtenus sont globalement conformes aux attentes. Le modèle développé aboutit au fait qu'un besoin de chauffage élevé causé par un besoin plus important des ménages ou dû aux caractéristiques des logements engendre une consommation énergétique supplémentaire, que les ménages n'ont intérêt à investir dans des équipements chers mais plus efficaces énergétiquement et qui fonctionnent avec des énergies peu chères que si leur demande énergétique est suffisamment élevée, que le comportement des ménages dans le cas du chauffage collectif peut engendrer une surconsommation énergétique mais que cette surconsommation peut ne pas être observable car les effets d'échelle inhérents au chauffage collectifs permettent d'investir dans des équipements plus efficaces.

Cependant, le modèle ne permet pas d'éclairer sur l'ampleur de l'élasticité de la demande d'énergie par rapport à son prix, ni sur le fait que l'énergie soit un bien normal

ou supérieur.

La suite du chapitre se présente comme suit. Dans la section 2 nous développons un modèle microéconomique décrivant la demande d'énergie pour le chauffage domestique. Dans la section 3 nous analysons la conséquence de cette demande sur le choix des équipements de chauffage. Enfin, dans la section 4, nous nous intéressons au cas particulier du chauffage collectif qui est un mode très répandu dans les grands complexes de logements.

1.2 Modèle microéconomique de la consommation énergétique à système de chauffage donné

Le système de chauffage est un bien durable qui consomme de l'énergie. Comme pour tous les biens durables, la demande qui le concerne découle du flux de service que sa possession engendre. Le service du chauffage peut être assuré en recourant à différentes énergies, dans le cadre d'une facturation individuelle ou collective et en utilisant des équipements qui offrent différents degrés de contrôle. Dans un premier temps, nous laissons de côté la question du choix de l'équipement de chauffage et nous considérons un ménage disposant d'un chauffage individuel qu'il peut entièrement gérer et qui fonctionne avec une énergie qu'il considère comme donnée.

Nous représentons les préférences du ménage par une fonction d'utilité de la forme :

$$u = U(X, t, M)$$

où X est une variable qui représente l'ensemble de la consommation du ménage hors chauffage considérée ici comme numéraire, t la température du logement qu'il occupe et M un vecteur de variables décrivant les caractéristiques du ménage susceptibles d'avoir un impact sur la consommation énergétique dans le logement comme l'âge de la personne de référence du ménage ou le nombre d'enfants en bas âge. Ce faisant, nous supposons que l'usage du système de chauffage n'a pas d'utilité en soi, mais que son utilité passe par la température du logement qu'il permet d'assurer.

L'utilité est une fonction concave et croissante en X ($\partial U / \partial X > 0$ et $\partial^2 U / \partial X^2 \leq 0$). Pour ce qui est de la température du logement, nous faisons l'hypothèse qu'il en existe une température idéale, notée $t^*(M)$, qui maximise le confort et donc l'utilité et qui dépend des besoins du ménage et de ses préférences en termes de chaleur. Tant que le logement est en-dessous de $t^*(M)$, tout degré supplémentaire engendre une augmentation du confort et donc de l'utilité. En revanche, une fois $t^*(M)$ atteinte, il n'existe aucun intérêt à chauffer

davantage car il en résulte une surchauffe qui diminue le confort et donc l'utilité.

En termes mathématiques, U est une fonction concave de t , avec un maximum en $t^*(M)$. Nous avons ainsi $\partial U/\partial t \geq 0$ pour $t \leq t^*(M)$ et $\partial^2 U/\partial t^2 \leq 0$.

La température du logement dépend de ses caractéristiques intrinsèques (surface, zone climatique dans laquelle il se situe ...) et de l'utilisation que ses occupants font du système de chauffage. On peut donc la représenter par une fonction de production de la forme :

$$t = T(E, L)$$

où E est la quantité d'énergie consommée par le ménage via l'utilisation du système de chauffage et L le vecteur des caractéristiques intrinsèques du logement susceptibles d'impacter sa température.

Enfin, le ménage est soumis à une contrainte de budget :

$$X + pE \leq Y - C$$

où Y est le revenu du ménage, p le prix de l'énergie et C un coût fixe lié à l'utilisation du système de chauffage et qui inclut, entre autres, les coûts de l'investissement pour se le procurer et les coûts liés à son entretien.

En conséquence, la consommation énergétique, la dépense énergétique et l'utilité du ménage résultent de la résolution du problème suivant :

$$\text{Max}_{X,t} u = U(X, t, M)$$

sous les contraintes suivantes :

$$\begin{aligned} t &= T(E, L) \\ X + pE &\leq Y - C \end{aligned}$$

Le lagrangien de ce problème d'optimisation s'écrit :

$$\mathcal{L} = U(X, t; M) - \lambda(X + pE - Y + C) - \mu(t - T(E, L))$$

d'où les conditions d'optimalité du premier ordre :

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial X} = \frac{\partial U}{\partial X} - \lambda = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial t} = \frac{\partial U}{\partial t} - \mu = 0$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial E} = -\lambda p + \mu \frac{\partial T}{\partial E} = 0$$

De ces conditions du premier ordre, on tire l'égalité suivante :

$$\frac{\frac{\partial U}{\partial t} \frac{\partial T}{\partial E}}{\frac{\partial U}{\partial X} \frac{\partial E}} = TMS_{X,t}(X, t, M) \frac{\partial T(E, L)}{\partial E} = p \quad (1.1)$$

où $TMS_{X,t} = \frac{\partial U/\partial t}{\partial U/\partial X}$ est le taux marginal de substitution de la consommation à la température. Le bien de consommation étant ici le bien numéraire, $TMS_{X,t}$ s'interprète également comme la disposition marginale à payer pour une augmentation de la température. Le terme de gauche de cette égalité est alors la disposition marginale à payer de l'agent pour une unité supplémentaire d'énergie utilisée, compte tenu de l'augmentation de la température que celle-ci induit. Cette disposition marginale à payer doit être égale au prix de l'énergie.

On notera de plus que, comme le TMS est positif, on doit avoir $\partial T/\partial E > 0$, ce qui implique que le ménage choisit de se chauffer à une température $t < t^*(M)$.

La température, t , la dépense énergétique E , et la consommation non énergétique, X , sont alors solutions du système d'équations :

$$TMS_{X,t}(X, t, M) \frac{\partial T(E, L)}{\partial E} = p_e \quad (1.2)$$

$$t = T(E, L) \quad (1.3)$$

$$X + pE = Y - C \quad (1.4)$$

1.2.1 Les fonctions de demande

La résolution du problème d'optimisation donne une fonction de demande de bien banal et une fonction de consommation énergétique :

$$X = X(p, Y - C; L, M)$$

$$E = E(p, Y - C; L, M)$$

Il en découle une fonction de dépense énergétique :

$$D = pE(p, Y - C; L, M)$$

S'y ajoute une fonction de température du logement que nous appelons la température de confort du ménage :

$$t = T(E(p, Y - C; L, M), L) = \bar{T}(p, Y - C; L, M)$$

ainsi qu'une fonction d'utilité indirecte :

$$\begin{aligned} v &= V(p, Y - C; L, M) \\ &= U(X(p, Y - C; L, M), \bar{T}(p, Y - C; L, M), M) \end{aligned}$$

Dans le cadre d'étude qui est le notre, il convient de s'intéresser à l'impact des caractéristiques du logement et du ménage sur l'utilité indirecte en tenant compte du choix de la température du logement. En effet, un logement mal isolé thermiquement et / ou localisé dans une zone géographique froide requiert une dépense énergétique plus importante pour être chauffé. Il en est de même pour les logements avec une grande surface habitable. Cela se traduit mathématiquement par une plus faible concavité de la fonction de production de chaleur T . Ainsi, à budget donné, la température de confort dans un logement spacieux, moins bien isolé thermiquement et / ou localisé dans une zone froide est plus faible que dans un plus petit logement, mieux isolé thermiquement et / ou localisé dans une zone plus chaude. Cela entraîne naturellement un différentiel du niveau d'utilité en faveur du second logement.

Pour ce qui est de l'impact des caractéristiques du ménage, le besoin de chaleur, et donc de confort, est plus grand quand la personne de référence est âgée ou quand il y a des enfants en bas âge. Ces ménages sont plus sensibles au froid. Une légère baisse de la température leur logement entraîne une forte diminution de leur utilité. Cela se traduit mathématiquement par une fonction d'utilité plus concave, ce qui donne, toutes les choses égales par ailleurs, une plus forte demande d'énergie. La relation 1.1 montre d'ailleurs que plus la fonction d'utilité est concave en t , plus la quantité des biens hors chauffage nécessaire à la compensation d'une perte éventuelle de chaleur est grande.

Par ailleurs, concernant la sensibilité au prix de l'énergie, compte tenu de fait que se chauffer est un service normal, nous pouvons légitimement supposer que la température de confort est d'autant plus faible que le revenu est faible et que l'élasticité de celle-ci au prix de l'énergie est également plus faible.

Enfin, il est à noter que lorsque le logement est petit, bien isolé ou / et localisé dans une zone chaude, cela se traduit également par une faible sensibilité du ménage au prix

de l'énergie.

1.2.2 Le comportement des fonctions de demande :

Impact d'une modification du prix de l'énergie

En différenciant (1.2) par rapport aux variables endogènes E , t et X , et au prix de l'énergie, nous obtenons (Démonstration Cf. Annexe) :

$$\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}}dX + \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}}dt + \frac{\partial^2 T(E, L)/\partial E^2}{\partial T/\partial E}dE = \frac{dp}{p} \quad (1.5)$$

En différenciant (1.3) par rapport au prix nous obtenons :

$$dt = \frac{\partial T}{\partial E}dE \quad (1.6)$$

Et en différenciant (1.4) par rapport au prix nous obtenons :

$$dX + pdE + Edp = 0 \quad (1.7)$$

En insérant les expressions de dt et dX tirées de (1.6) et (1.7) dans (1.5) nous obtenons :

$$-\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}}(pdE + Edp) + \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}}\frac{\partial T(E, L)}{\partial E}dE + \frac{\partial^2 T(E, L)/\partial E^2}{\partial T/\partial E}dE = \frac{dp}{p}$$

et donc en posant : $\eta_{TMS,t} = \frac{t}{TMS_{X,t}}\frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial t}$, $\eta_{T',E} = \frac{E}{t}\frac{\partial T(E,L)}{\partial E}$, $\eta'_{T',E} = \frac{E}{\partial T/\partial E}\frac{\partial^2 T(E,L)}{\partial E^2}$ et $\eta_{TMS,X} = \frac{X}{TMS_{X,t}}\frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X}$ nous obtenons les relations suivantes (Démonstrations en annexe) :

$$\frac{dE/E}{dp/p} = \frac{1 + \eta_{TMS,X}\frac{pE}{X}}{\eta_{TMS,t}\eta_{T,E} + \eta'_{T',E} - \eta_{TMS,X}\frac{pE}{X}} \quad (1.8)$$

$$\frac{dt/t}{dp/p} = \frac{\eta_{T,E}(1 + \eta_{TMS,X}\frac{pE}{X})}{\eta_{TMS,t}\eta_{T,E} + \eta'_{T',E} - \eta_{TMS,X}\frac{pE}{X}} \quad (1.9)$$

et

$$\frac{dX/X}{dp/p} = -\frac{pE}{X} \frac{1 + \eta_{TMS,t}\eta_{T,E} + \eta_{T',E}}{\eta_{TMS,t}\eta_{T,E} + \eta'_{T',E} - \eta_{TMS,X}\frac{pE}{X}} \quad (1.10)$$

Sachant que $TMS_{X,t} = \frac{\partial U/\partial t}{\partial U/\partial X}$ est positif, fonction décroissante de t ¹ (nulle pour $t = t^*$), fonction non décroissante de X , nous avons $\eta_{TMS,t} \leq 0$ et $\eta_{TMS,X} \geq 0$. En cela, plus l'agent est sensible à la température, plus $\eta_{TMS,t}$ est élevé en valeur absolue.

1. Nous travaillons uniquement pour les valeurs de t telles que $t \leq t^*$

Par ailleurs, l'efficacité marginale de l'énergie sur la température est a priori décroissante (rappelons que la chaleur est produite suivant une technologie dont la fonction est concave en E), d'où $\partial T/\partial E > 0$ et $\partial^2 T/\partial E^2 \leq 0$.

Ainsi, le dénominateur des relations (1.8, 1.9 et 1.10) est négatif et le numérateur de (1.8) est positif. Ceci confirme que l'élasticité de la demande d'énergie pour le chauffage par rapport à son prix est négative. Et comme t est une fonction croissante en E , la hausse du prix de l'énergie se traduit par une baisse de la température choisie par le ménage.

Par ailleurs, le signe de l'élasticité de la demande du bien de marché par rapport au prix de l'énergie utilisée pour le chauffage ne peut être déterminé directement à partir de (1.10). Ce signe dépend de l'importance du chauffage comme bien nécessaire. Si cette nécessité est faible, le ménage réagit à la hausse du prix de l'énergie en diminuant sa consommation pour se rabattre sur le bien de marché ; et si cette nécessité est élevée, le ménage sacrifie la consommation du bien de marché pour avoir suffisamment de ressources pour se chauffer.

Le chauffage étant un service fondamental, on s'attend à ce que l'énergie nécessaire à son obtention soit un bien nécessaire et sa demande faiblement élastique au prix. Pour que ce soit le cas, il faut que :

$$\frac{dE/E}{dp/p} > -1$$

En combinant cette inégalité avec (1.8) nous obtenons :

$$\frac{1 + \eta_{TMS,X} \frac{p_e E}{X}}{\eta_{TMS,t} \eta_{T,E} + \eta'_{T',E} - \eta_{TMS,X} \frac{p_e E}{X}} > -1$$

et, sachant que le dénominateur est :

$$-\eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta'_{T',E} > 1 \iff -\eta_{TMS,t} > \frac{1 + \eta'_{T',E}}{\eta_{T,E}}$$

Cette égalité montre que, en l'absence d'hypothèses supplémentaires, il est impossible de déterminer si la demande d'énergie est élastique ou non, et que ce résultat dépend à la fois des préférences du ménage, représentées par le terme $\eta_{TMS,t}$, et des caractéristiques du système de chauffage, représentées par le terme $(1 + \eta'_{T',E}) / \eta_{T,E}$. Pour que la demande d'énergie soit faiblement élastique, il faut que $\eta_{TMS,t}$, qui est négatif, soit suffisamment élevé en valeur absolue, ce qui signifie qu'une modification de la température doit faire varier rapidement la disposition marginale à payer du ménage pour une nouvelle augmentation de température. Ou bien, il faut que $\eta_{T,E}$ soit suffisamment faible, et donc que le système de chauffage soit peu efficace pour faire monter la température.

Impact d'une variation de revenu disponible du ménage :

En différenciant (1.2) par rapport aux variables endogènes, E , T , et X , nous obtenons :

$$\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}}dX + \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}}dt + \frac{\partial^2 T(E, L)/\partial E^2}{\partial T/\partial E}dE = 0 \quad (1.11)$$

que l'on combine avec (1.6) et la différentielle de (1.4) par rapport au revenu disponible :

$$dX + pdE = d(Y - C) \quad (1.12)$$

pour obtenir (voir calcul en annexe) :

$$\left[\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}}pE - \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}}E \frac{\partial T}{\partial E} - E \frac{\partial^2 T(E, L)/\partial E^2}{\partial T/\partial E} \right] \frac{dE}{E} = \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}}(Y - C) \frac{d(Y - C)}{(Y - C)}$$

et, en utilisant les expressions des élasticités

$$\left[\eta_{TMS,X} \frac{pE}{X} - \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta'_{T',E} \right] \frac{dE}{E} = \eta_{TMS,X} \frac{(Y - C)}{X} \frac{d(Y - C)}{(Y - C)}$$

d'où l'élasticité revenu de la demande :

$$\frac{dE/E}{d(Y - C)/(Y - C)} = \frac{\frac{Y-C}{X} \eta_{TMS,X}}{\eta_{TMS,X} \frac{pE}{X} - \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta'_{T',E}} > 0 \quad (1.13)$$

En combinant (1.6) et (1.13) nous obtenons :

$$\begin{aligned} \frac{dt/t}{d(Y - C)/(Y - C)} &= \frac{dT/T}{dE/E} \frac{dE/E}{d(Y - C)/(Y - C)} = \eta_{T,E} \frac{dE/E}{d(Y - C)/(Y - C)} \\ &= \frac{\frac{Y-C}{X} \eta_{T,E} \eta_{TMS,X}}{\eta_{TMS,X} \frac{pE}{X} - \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta'_{T',E}} > 0 \end{aligned}$$

L'énergie n'est donc pas un bien inférieur, un revenu plus élevé conduisant le ménage à augmenter sa consommation énergétique pour bénéficier d'une température plus élevée. Est-elle un bien normal ? Si c'est le cas, l'élasticité revenu de sa demande doit être comprise entre 0 et 1. Nous savons déjà qu'elle est positive. Pour qu'elle soit inférieure à l'unité, il faut que :

$$\frac{dE/E}{d(Y - C)/(Y - C)} = \frac{\frac{Y-C}{X} \eta_{TMS,X}}{\eta_{TMS,X} \frac{pE}{X} - \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta'_{T',E}} < 1$$

soit :

$$\eta_{TMS,X} < -\eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta'_{T',E}$$

Cette relation montre que, en l'absence d'hypothèses supplémentaires, il est impossible de savoir si l'énergie est un bien normal ou un bien supérieur. On peut cependant aller un peu plus

loin en s'intéressant à une spécification séparable :

$$U(X, T, ; M) = u_X(X; M) + u_T(t; M)$$

Dans de cas, l'égalité précédente devient :

$$-X \frac{u_X''}{u_X'} < -\frac{t \frac{u_T''}{u_T'} \eta_{T,E} + \eta_{T',E}}{1 + \frac{C}{X}}$$

où u_X' et u_X'' sont les dérivées première et seconde de u_X par rapport à X pendant que u_T' et u_T'' sont les dérivées première et seconde de u_T par rapport à t . Le terme de gauche s'interprète comme l'aversion du ménage à une modification de sa consommation tandis que le terme $t \frac{u_T''}{u_T'}$ s'interprète comme l'aversion du ménage à un changement de température. Ainsi, l'énergie est un bien normal quand l'aversion du ménage à un changement de revenu est faible ou son aversion à un changement de température est forte, ou l'efficacité du système de chauffage, mesurée par $\eta_{T,E}$ est élevée. La première hypothèse est vraisemblable pour les ménages qui ont un niveau de revenu suffisant tandis que la deuxième hypothèse est vraisemblable pour les ménages suffisamment sensibles à la température.

Pour conclure cette sous-sous-section, l'énergie peut être un bien normal ou un bien supérieur. Pour déterminer sa nature, il est essentiel d'effectuer un ensemble de régressions économétriques.

Effets d'une variation des caractéristiques du logement :

Une modification des caractéristiques du logement a des conséquences sur la demande d'énergie pour le chauffage et par conséquent sur la température du logement. A revenu constant, elle impacte également la demande du bien de consommation. Pour préciser cet impact, nous calculons l'élasticité de la demande d'énergie par rapport aux composantes de la variable L qui représente les caractéristiques du logement. En différenciant (1.2) par rapport aux variables endogènes E , t et X , et aux caractéristiques du logement, nous obtenons (voir annexe) :

$$\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}} dX + \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}} dt + \frac{\partial^2 T(E, L) / \partial E^2}{\partial T / \partial E} dE = -\frac{\partial^2 T(E, L) / \partial L \partial E}{\partial T / \partial E} dL \quad (1.14)$$

Par ailleurs, la différenciation de (1.3) par rapport à ces mêmes variables donne :

$$dt = \frac{\partial T}{\partial E} dE + \frac{\partial T}{\partial L} dL \quad (1.15)$$

et la différenciation de (1.4) donne :

$$dX + pdE = 0 \quad (1.16)$$

En remplaçant dans (1.14) dX et dt par leurs expressions tirées de (1.15) et (1.16) et en

posant $\eta_{T,L} = \frac{L}{t} \frac{\partial T}{\partial L}$ et $\eta'_{T',L} = \frac{\partial^2 T(E,L)}{\partial L \partial E} \frac{L}{\partial T / \partial E}$, nous obtenons (démonstration en annexe) :

$$\frac{dE/E}{dL/L} = \frac{\eta'_{T',L} + \eta_{TMS,t} \eta_{T,L}}{\eta_{TMS,X} \frac{pE}{X} - \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta'_{T',E}} \quad (1.17)$$

et, en combinant avec (1.15) :

$$\frac{dt/t}{dL/L} = \frac{\eta_{T,L} \eta_{TMS,X} \frac{pE}{X} - \eta_{T,L} \eta_{T',E} + \eta_{T,E} \eta'_{T',L}}{\eta_{TMS,X} \frac{pE}{X} - \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta'_{T',E}} \quad (1.18)$$

Rappelons que L est un vecteur dont les composantes sont les caractéristiques du logement susceptibles d'avoir un impact sur la consommation énergétique pour le chauffage. Parmi ces caractéristiques nous pouvons citer la zone climatique dans laquelle le logement se situe (elle donne une indication sur la température extérieure en hiver), la qualité de l'isolation thermique du logement, sa surface habitable, son type (logement individuel ou collectif) etc.... Dériver (1.2), (1.3) et (1.4) par rapport à L revient à les dériver par rapport à ces composantes. Quand une caractéristique du logement permet d'atteindre une même température avec une consommation d'énergie moindre, $\eta_{T,L}$ est positif. C'est par exemple le cas de la température extérieure en hiver, de la qualité de l'isolation thermique du logement, ou de la taille de l'immeuble quand celle-ci permet d'installer un chauffage collectif à rendement plus élevé. A l'opposé, quand une caractéristique du logement oblige à une consommation d'énergie plus élevée pour atteindre une même température, $\eta_{T,L}$ est négatif. C'est par exemple le cas de la superficie du logement.

$\eta_{TMS,X}$ étant positive et $\eta_{TMS,t}$ et $\eta_{T',E}$ étant négatives, le dénominateur de (1.17) et (1.18) est positif. Le signe de $\frac{dE/E}{dL/L}$ et celui de $\frac{dt/t}{dL/L}$ dépendent donc de leur numérateur.

Faisons dans un premier temps l'hypothèse que $\eta'_{T',L} = 0$, c'est à dire que le changement des caractéristiques du logement conduit à une simple translation de la courbe de température, ne modifiant pas l'impact marginal de la consommation d'énergie. Dans ce cas, le numérateur de (1.17) est de signe opposé à $\eta_{T,L}$, tandis que celui de (1.18) est de même signe que $\eta_{T,L}$. Ce résultat est intuitif. Quand une caractéristique du logement comme l'augmentation de la température extérieure permet d'atteindre la même température intérieure avec une consommation énergétique moindre ($\eta_{T,L} > 0$), cela permet au ménage de diminuer sa dépense énergétique ($\frac{dE/E}{dL/L} < 0$) ; le ménage profite certes du coût marginal plus faible d'une augmentation de température pour augmenter cette dernière ($\frac{dt/t}{dL/L} > 0$), mais le supplément de consommation énergétique qui en résulte n'est pas suffisant pour effacer l'effet initial. A l'opposé, quand une caractéristique du logement comme l'augmentation de sa superficie oblige à une consommation énergétique plus élevée pour atteindre la même température intérieure ($\eta_{T,L} < 0$), cela conduit le ménage à augmenter sa dépense énergétique ($\frac{dE/E}{dL/L} > 0$) ; le ménage cherche certes à atténuer cet effet en baissant la température ($\frac{dt/t}{dL/L} < 0$), mais l'économie de consommation énergétique qui en résulte n'est pas suffisante pour effacer l'effet initial.

Relâchons maintenant l'hypothèse $\eta'_{T',L} = 0$. On voit facilement qu'une modification de l'impact marginal de la consommation d'énergie induit par un changement de caractéristiques du

logement renforce l'effet initial quand $\eta_{T,L}$ et $\eta'_{T',L}$ sont de signes opposés² tandis qu'il l'atténue quand $\eta_{T,L}$ et $\eta'_{T',L}$ sont de même signe. Ainsi, si par exemple une température extérieure plus élevée diminue l'impact marginal de la consommation énergétique sur la température, la baisse de consommation énergétique est plus importante qu'en l'absence de cet effet.

1.2.3 Effets d'une variation des caractéristiques du ménage :

De même que pour les caractéristiques du logement, tout changement des caractéristiques du ménage entraîne une modification de la demande énergétique, qui passe par une modification de l'arbitrage entre température du logement et utilisation des autres biens de consommation.

La différentiation de (1.2) par rapport aux variables endogènes E , t et X , et aux caractéristiques du ménage donne :

$$\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}}dX + \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}}dt + \frac{\partial^2 T(E,L)/\partial E^2}{\partial T(E,L)/\partial E}dE = -\frac{\partial^2 T(E,L)/\partial M\partial E}{\partial T(E,L)/\partial E}dM \quad (1.19)$$

Par ailleurs, en différenciant (1.3) et (1.4) par rapport aux mêmes variables, nous obtenons :

$$dt = \frac{\partial T}{\partial E}dE \quad (1.20)$$

et

$$dX + pdE = 0 \quad (1.21)$$

En remplaçant dans (1.19) dX et dt par leurs expressions tirées de (1.20) et (1.21) et en posant $\frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial M} \frac{M}{TMS_{X,t}} = \eta_{TMS,M}$ nous obtenons :

$$\frac{dE/E}{dM/M} = \frac{\eta_{TMS,M}}{\eta_{TMS,X} \frac{pE}{X} - \eta_{TMS,X} \eta_{T,E} - \eta'_{T',E}} \quad (1.22)$$

et, en combinant avec (1.20) :

$$\frac{dt/t}{dM/M} = \eta_{T,E} \frac{dE/E}{dM/M} = \frac{\eta_{T,E} \eta_{TMS,M}}{\eta_{TMS,X} \frac{pE}{X} - \eta_{TMS,X} \eta_{T,E} - \eta'_{T',E}} \quad (1.23)$$

Le signe de $\frac{dE/E}{dM/M}$ et celui de $\frac{dt/t}{dM/M}$ dépendent uniquement du signe $\eta_{TMS,M}$. Rappelons l'interprétation de $TMS_{X,t}$: il s'agit de la disposition marginale à payer du ménage pour une augmentation de la température. Cette disposition marginale à payer est elle-même conséquence de la sensibilité du ménage aux variations de température. Un ménage très sensible aux variations de température aura une disposition marginale à payer plus élevée qu'un ménage qui l'est moins.

Le premier enseignement de (1.22) et (1.23) est que l'impact d'une modification des caractéristiques du ménage sur le choix de la température et la consommation énergétique passe essentiellement par la modification de ses préférences et ses conséquences sur sa disposition marginale à payer. Rappelons que la fonction d'utilité $U(X, t, M)$ est une fonction concave

2. Tous les termes du numérateur de (1.17) et du numérateur de (1.18) sont alors de même signe.

de la température, avec un maximum pour la température idéale $t^*(M)$. Un changement de caractéristiques du ménage, par exemple l'âge de ses membres, peut induire deux grands types de modifications de cette fonction d'utilité. En premier lieu, des ménages différents peuvent avoir des températures idéales différents. Or, la concavité de $U(X, t, M)$ par rapport à t implique que, plus la température effective t est éloignée de la température de confort t^* , plus la disposition marginale à payer est élevée, plus $\eta_{TMS, M}$ est élevé. Ainsi, pour une température donnée, t (inférieure à la température idéale), si la température idéale croît avec l'âge, plus le ménage est âgé, plus il est éloigné de sa température idéale, plus il choisit une température élevée et consomme de l'énergie. En second lieu, même s'ils ont la même température idéale, des ménages peuvent être inégalement sensibles à l'écart entre la température effective et la température idéale. Plus le ménage est sensible à cet écart, plus la concavité de $U(X, t, M)$ par rapport à t est forte, plus la disposition marginale à payer pour se rapprocher de la température idéale est forte, plus, à température donnée t , $\eta_{TMS, M}$ est élevé. Ainsi, si l'âge fait croître la sensibilité aux écarts de température, plus le ménage est âgé, plus il va vouloir se rapprocher de la température idéale, ce qui lui fait choisir une température plus élevée et consommer plus d'énergie.

Ainsi, les caractéristiques du ménage qui influencent la demande d'énergie (hors revenu, examiné plus haut) sont les caractéristiques qui influencent ses préférences. Parmi celles que nous pouvons observer, les plus importantes sont a priori l'âge des membres du ménage et la présence d'enfants en bas âge. Par contre, il n'y a pas de raison de considérer que la taille du ménage a un impact direct sur ses préférences, et donc sur sa demande d'énergie pour le chauffage.

1.3 Le choix de l'énergie utilisée pour le chauffage

Comme énoncé dans l'introduction générale de cette thèse et dans la section introductive de ce chapitre, le service du chauffage peut être rendu par des équipements et des systèmes fonctionnant avec différentes sources d'énergie³. Ces sources diffèrent en terme de prix, d'accessibilité et de facilité d'utilisation. En France, les ménages se chauffent, dans leur large majorité, à l'électricité et au gaz de réseau et, dans une moindre mesure au fuel ou au bois (Cf Chapitre 2)⁴. Pour le chauffage, ces sources d'énergie diffèrent entre elles dans trois dimensions principales. La première, qu'on n'incluera pas directement dans notre analyse, est la disponibilité locale ; ainsi, le gaz de réseau n'est pas disponible en zone rurale. La deuxième est l'importance et le coût des équipements nécessaires au fonctionnement d'une source d'énergie, qui sont à l'origine de coûts fixes, qui diffèrent d'une source d'énergie à l'autre. Le troisième est le coût d'utilisation de l'énergie, déterminé par le prix de l'énergie et le rendement de équipements.

L'électricité est une source d'énergie chère mais, elle est accessible partout et ne nécessite pas

3. Dans la suite du chapitre, le terme système de chauffage désignera énergie utilisée pour se chauffer. Cela est fait pour simplifier la rédaction. Quand cela est nécessaire, nous distinguerons explicitement les deux termes.

4. Certains ménages peuvent utiliser plusieurs systèmes de chauffages. Nous nous intéressons dans cette thèse principalement au chauffage principal.

le recours à des équipements onéreux. Pour ce qui est du gaz de réseau, c'est une énergie peu chère à l'utilisation. Cependant, si elle est disponible dans les grandes agglomérations urbaines et dans les zones climatiques froides, elle l'est nettement moins dans les petites villes et les zones rurales. Par ailleurs, l'utilisation du gaz nécessite d'investir dans des équipements coûteux et difficiles à installer. Si le logement n'en dispose pas dès sa construction, il est assez difficile et contraignant qu'il en soit équipé par la suite. Enfin, concernant le fuel et le bois, il s'agit de sources d'énergie peu chères mais qui posent des contraintes d'équipements et de stockage qui ne sont pas compatibles avec les caractéristiques des logements dans les grandes villes, où leur utilisation est très faible, alors qu'elle est fréquente en zone rurale et dans les petites unités urbaines (Cf. Chapitre 2).

Il est à noter que le choix du système de chauffage se fait, dans la grande majorité des cas, au moment de la construction du logement. Ce choix est rarement fait par le ménage qui occupe le logement mais par un promoteur immobilier. Cependant, pour des raisons de concurrence sur le marché immobilier, celui-ci choisit le système de chauffage de façon à être en adéquation avec les préférences et les besoins des ménages auxquels le logement est destiné. De ce fait, il n'est pas irrationnel de confondre le choix des ménages avec celui du constructeur du logement.

A la lumière de ces considérations techniques, il apparait clairement que, si l'on met de côté la question de la disponibilité locale, le recours à une source d'énergie donnée pour se chauffer doit tenir compte des coûts fixes et variables qui diffèrent d'une source à l'autre. Les coûts fixes peuvent englober l'amortissement des équipements de chauffage, le remboursement du coût de l'emprunt si ces équipements sont achetés à crédit, les dépenses courantes de maintenance etc.... Pour ce qui est des coûts variables, ils englobent principalement le montant payé pour la quantité d'énergie consommée.

Le choix d'une source d'énergie pour le chauffage parmi l'ensemble des alternatives possibles est la résultante d'un arbitrage dont les facteurs déterminants sont les besoins du ménage, les caractéristiques de son logement, les coûts de fonctionnement et les coûts d'investissement nécessaires pour utiliser chacune d'elles. Négligeons pour l'instant les coûts fixes engendrés par l'utilisation des différentes sources d'énergie. Par exemple, comme nous le démontrons dans la suite de cette section, un ménage résidant dans un petit appartement, situé dans une zone urbaine climatiquement chaude, aurait (vraisemblablement) intérêt à recourir à l'électricité pour se chauffer car le faible besoin de chaleur n'engendre pas une consommation énergétique telle qu'il soit nécessaire d'investir dans un système de chauffage au gaz de ville. A contrario, un ménage résidant dans un appartement spacieux, dans une unité urbaine en zone froide, investirait vraisemblablement dans un chauffage au gaz car, malgré le prix élevé des équipements, le besoin élevé de chaleur ferait que les économies engendrées par le recours à une source d'énergie peu chère permettrait d'amortir, dans des délais assez raisonnables, les dépenses consenties pour investir dans les équipements.

Formellement, le recours à une source d'énergie j pour se chauffer engendre pour le ménage

une utilité indirecte qui peut être exprimée comme suit :

$$\begin{aligned} v_j &= V(p_j, Y - C_j; L, M) \\ &= U(X(p_j, Y - C; L, M), \bar{T}(p_j, Y - C; L, M), M) \end{aligned}$$

où p_j est le prix de la source j et C_j le coût fixe engendré par son utilisation.

Le ménage choisit d'utiliser la source j qui lui procure la plus grande utilité indirecte. La condition suivante est alors vérifiée :

$$v_j = \max_k v_k$$

Pour analyser comment des ménages habitant dans des logements différents sont conduits à utiliser des sources d'énergie différentes, il nous faut analyser l'impact des caractéristiques du logement et du ménage sur l'utilité indirecte. Commençons par l'analyse des caractéristiques du logement. En dérivant l'utilité indirecte par rapport aux caractéristiques du logement, on a :

$$\frac{\partial v_j}{\partial L} = \frac{\partial U}{\partial X_j} \frac{\partial X_j}{\partial L} + \frac{\partial U}{\partial t_j} \frac{\partial T_j}{\partial L}$$

et, sachant que $\partial X_j / \partial L = -p_j \partial E_j / \partial L$:

$$\frac{\partial v_j}{\partial L} = -p_j \frac{\partial U}{\partial X_j} \frac{\partial E_j}{\partial L} + \frac{\partial U}{\partial t_j} \frac{\partial T_j}{\partial L}$$

En utilisant (1.17) et (1.18), nous obtenons :

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_j}{\partial L} &= p_j \frac{\partial U}{\partial X_j} \left[\frac{1}{\partial T_j / \partial E_j} \frac{\partial T_j}{\partial L} - \frac{\partial E_j}{\partial L} \right] \\ &= \frac{p_j E_j}{L_j} \frac{\partial U}{\partial X_j} \left[\frac{T_j / E_j}{\partial T_j / \partial E_j} \frac{L}{T_j} \frac{\partial T_j}{\partial L} - \frac{L}{E_j} \frac{\partial E_j}{\partial L} \right] \\ &= \frac{p_j E_j}{L} \frac{\partial U}{\partial X_j} \left[\frac{1}{\eta_{T,E}} \frac{\eta_{T,L} \eta_{TMS,X} \frac{p_e E}{X} - \eta_{T,L} \eta_{T',E} + \eta_{T,E} \eta'_{T',L}}{\eta_{TMS,X} \frac{p_e E}{X} - \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta_{T',E}} - \frac{\eta'_{T',L} + \eta_{TMS,t} \eta_{T,L}}{\eta_{TMS,X} \frac{p_e E}{X} - \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta_{T',E}} \right] \\ &= \frac{p_j E_j}{L \eta_{T,E}} \frac{\partial U}{\partial X_j} \eta_{T,L} = p_j \frac{\partial T / \partial L}{\partial T / \partial E_j} \frac{\partial U}{\partial X_j} \end{aligned}$$

soit

$$\frac{\partial v_j}{\partial L} = p_j TMT_{E,L} \frac{\partial U}{\partial X_j} \quad (1.24)$$

L'impact des caractéristiques du logement est en particulier décrit par le terme $TMT_{E,L} = \frac{\partial T / \partial L}{\partial T / \partial E_j}$, qui est le taux marginal de substitution entre la consommation énergétique et les caractéristiques du logement à température donnée. Plus précisément, $TMT_{E,L}$ donne la modification de la consommation énergétique nécessaire pour maintenir la température face à une modification marginale des caractéristiques du logement. Sachant que $\partial T / \partial E_j > 0$, $TMT_{E,L}$ est du même signe que $\partial T / \partial L$.

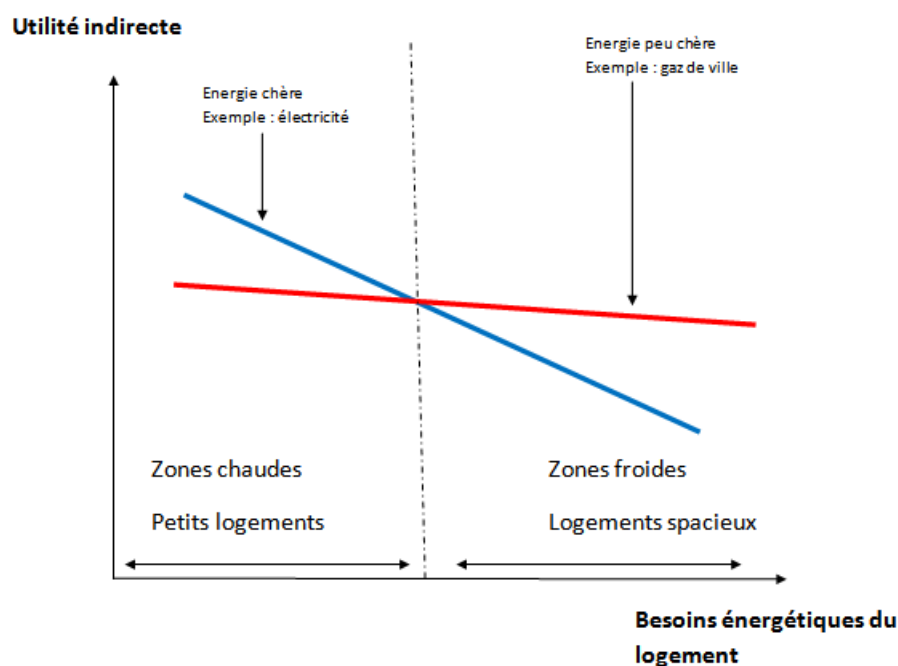
La présence du prix de la source d'énergie dans le membre de droite de (1.24) implique que la

penne de la fonction d'utilité indirecte $V(p_j, Y - C_j; L, M)$ en tant que fonction de L est d'autant plus importante (en valeur absolue) que le prix de la source d'énergie est élevée. Ce résultat est intuitif : plus le prix de la source d'énergie est élevée, plus la variation de la dépense induite par la modification de la consommation énergétique entraînée par le changement de caractéristiques du logement est important, plus son impact sur l'utilité de l'agent est important. Ce résultat a une conséquence importante sur le choix entre sources d'énergie.

Prenons l'exemple de deux sources d'énergie j et k , telles que $p_j < p_k$ et $C_j > C_k$: le prix de l'énergie est plus élevé pour k , mais les coûts fixes sont plus élevés pour j . C'est typiquement ce qu'on observe quand on compare les deux principales sources d'énergie utilisées pour se chauffer, j correspondant au gaz et k à l'électricité. Regardons maintenant l'impact d'une caractéristique qui augmente les besoins en chauffage, comme une baisse de la température extérieure (passage de zone froide à zone chaude) ou une augmentation de la taille du logement. Quand cette caractéristique induit une consommation faible de chauffage (zone chaude ou petit logement), la consommation d'énergie est faible, l'impact du prix de l'énergie est faible, et l'utilité indirecte est essentiellement affectée par l'effet revenu induit par les coûts fixes. L'utilité de l'agent est plus élevée quand il utilise la source d'énergie k , pour laquelle les coûts fixes sont plus faibles. Mais, quand on se déplace vers des logements dont les caractéristiques induisent une demande d'énergie plus élevée, d'après (1.24), le prix plus élevé de la source k entraîne une baisse de l'utilité indirecte plus forte avec la source d'énergie k qu'avec la source d'énergie j . C'est la situation que représente la figure 1.1. Eventuellement, les deux courbes se croisent, et l'utilité indirecte devient plus élevée avec la sources d'énergie j , pour laquelle le prix de l'énergie est plus faible. Ainsi, autour de ce point d'intersection, comme on peut le voir sur la figure 1.1, on a une bascule, les ménages occupant des logements dont les caractéristiques conduisent à une demande d'énergie élevée (logements situés en zone froide, ou spacieux, ou mal isolés) ayant une utilité plus élevée avec une source d'énergie dont le prix est faible, tandis que les ménages occupant des logements dont les caractéristiques induisent une demande d'énergie faible (logements situés en zone chaude, ou petits, ou bien isolés) ont une utilité plus élevée quand ils choisissent une source d'énergie dont les coûts fixes sont faibles, même le prix de l'énergie y est élevé.

L'analyse de l'impact des caractéristiques du ménage conduit à des résultats similaires : quand les caractéristiques du ménage le conduisent à une faible consommation d'énergie pour se chauffer, le ménage privilégie une source d'énergie dont les coûts fixes sont faibles, même si le prix de l'énergie y est élevé. A l'inverse, quand les caractéristiques du ménage le conduisent à une consommation élevée, il privilégie une source d'énergie dont le prix est plus faible, même si les coûts fixes sont plus élevé.

GRAPHIQUE 1.1 – Évolution de l'utilité en fonction des besoins énergétiques du logement



1.4 Le cas du chauffage collectif

1.4.1 Un modèle

Le chauffage collectif, très présent dans les grands immeubles, pose des problèmes particuliers. En effet, ce type de chauffage génère des interactions entre les ménages qui en bénéficient, avec pour conséquence que le comportement de chacun des utilisateurs peut être à l'origine d'externalités en direction des autres. Il est donc utile de préciser la nature de ces interactions en en précisant les conséquences. A cette fin, il est possible d'utiliser une version amendée de notre modèle, dans laquelle on ne s'intéresse pas spécifiquement aux différences entre ménages et logements. Plus précisément, on raisonne dans un contexte totalement symétrique en considérant un ensemble de N ménages identiques partageant un même système de chauffage, les préférences du ménage type $i = 1, \dots, N$ étant représentées par la fonction d'utilité

$$U(X_i, t_i, \eta_i)$$

où, comme plus haut, X_i est la consommation de bien générique et t_i est la température. Le paramètre η_i est un niveau d'effort fait par le ménage pour améliorer l'efficacité du chauffage dans son logement (par exemple éviter d'ouvrir les fenêtres quand il fait froid). On fait les mêmes hypothèses que plus haut sur les dérivées de U par rapport à X_i et t_i : $\partial U / \partial X_i > 0$, $\partial^2 U / \partial X_i^2 < 0$, $\partial U / \partial t_i \geq 0$ pour $t \leq t^*$, $\partial^2 U / \partial t_i^2 < 0$. Pour ce qui est de l'effort, on fait l'hypothèse qu'il est source de désutilité avec une désutilité marginale croissante : $\partial U / \partial \eta_i < 0$, $\partial^2 U / \partial \eta_i^2 < 0$.

La température t_i dépend d'un paramètre de chauffage θ_i et de l'effort fait pour maintenir la température, η_i :

$$t_i = T(\theta_i, \eta_i)$$

avec $\partial T/\partial\theta_i \geq 0$, $\partial^2 T/\partial\theta_i^2 < 0$, $\partial T/\partial\eta_i \geq 0$, $\partial^2 T/\partial\eta_i^2 < 0$. Ce paramètre de chauffage est par exemple la température de l'eau arrivant dans les radiateurs. Le paramètre de chauffage est fonction de la consommation énergétique globale E et de l'effort fait par l'ensemble des ménages

$$\theta_i = \Theta(E, \eta_1, \dots, \eta_N)$$

avec $\partial\Theta/\partial E > 0$, $\partial\Theta/\partial\eta_i > 0$, $\partial^2\Theta/\partial E^2 < 0$ et $\partial^2\Theta/\partial\eta_i^2 < 0$. Cette formulation tient compte du fait qu'un paramètre comme la température de l'eau peut être influencé directement par les efforts des ménages : l'eau du chauffage se refroidit plus rapidement quand on fait moins d'efforts d'isolation et exige plus d'énergie pour que sa température soit maintenue. De plus, dans un contexte parfaitement symétrique, les dérivées $\partial\Theta/\partial\eta_i$ sont toutes égales pour une même valeur de η .

Enfin, chaque ménage fait face à une contrainte budgétaire

$$X_i + \frac{1}{N}pE \leq Y$$

où Y_i est le montant des ressources du ménage, p est le prix de l'énergie et $1/N$ est la quote part du ménage dans la répartition des coûts de l'énergie du chauffage collectif.

1.4.2 L'optimum symétrique

L'optimum symétrique maximise l'utilité du ménage type $U(X, t, \eta)$, sous sa contrainte de budget,

$$X_i + \frac{1}{N}pE \leq Y$$

et sa contrainte de température, qu'on peut écrire sous la forme :

$$t = T(\Theta(E, \eta, \dots, \eta), \eta)$$

Le lagrangien correspondant à ce problème est :

$$\mathcal{L}_{opt} = U(X, t, \eta) - \lambda \left(X + \frac{1}{N}pE - Y \right) - \mu [t - T(\Theta(E, \eta, \dots, \eta), \eta)]$$

et conduit aux conditions du premier ordre :

$$\begin{aligned}\frac{\partial \mathcal{L}_{opt}}{\partial X} &= \frac{\partial U}{\partial X} - \lambda = 0 \\ \frac{\partial \mathcal{L}_{opt}}{\partial t} &= \frac{\partial U}{\partial t} - \mu = 0 \\ \frac{\partial \mathcal{L}_{opt}}{\partial \eta} &= \frac{\partial U}{\partial \eta} + \mu \left[\frac{\partial T}{\partial \eta} + \sum_i \frac{\partial T}{\partial \theta} \frac{\partial \Theta}{\partial \eta_i} \right] = 0 \\ \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial E} &= -\lambda p + N\mu \frac{\partial T}{\partial \theta} \frac{\partial \Theta}{\partial E} = 0\end{aligned}$$

d'où :

$$-\frac{\partial U / \partial \eta}{\partial U / \partial t} = \frac{\partial T}{\partial \eta} + \sum_i \frac{\partial T}{\partial \theta} \frac{\partial \Theta}{\partial \eta_i} \quad (1.25)$$

$$p = N \frac{\partial U / \partial t}{\partial U / \partial X} \frac{\partial T}{\partial \theta} \frac{\partial \Theta}{\partial E} \quad (1.26)$$

Ces deux conditions sont aisées à interpréter. La condition (1.25) nous dit que le taux marginal de substitution de la température à l'effort doit être égal à l'impact marginal de l'effort sur la température, en cumulant l'impact direct donné par le premier terme du membre de droite et l'impact indirect passant par la modification du paramètre de chauffage, qui correspond au deuxième terme du membre de droite. Cet impact indirect porte sur l'ensemble des utilisateurs du chauffage collectif. La condition (1.26) nous dit que le prix de l'énergie doit être égal à la somme des dispositions marginal à payer pour l'utilisation de cette énergie pour les N utilisateurs.

1.4.3 Équilibre

On considère maintenant un jeu dans lequel chaque ménage fixe séparément son niveau d'effort en considérant le paramètre de chauffage comme donné, tandis que le gestionnaire du chauffage maximise l'utilité du ménage représentatif en considérant le niveau d'effort de chaque ménage comme donné.

Le ménage i choisit donc son niveau d'effort η_i , pour maximiser $U(X_i, t_i, \eta_i)$, sous sa contrainte de budget,

$$X_i + \frac{1}{N} p E \leq Y$$

et sa contrainte de température :

$$t_i = T(\Theta, \eta_i)$$

les déterminants de Θ étant ignorés puisque le ménage considère Θ comme donné, le lagrangien correspondant à ce problème est :

$$\mathcal{L}_{men} = U(X_i, t_i, \eta_i) - \lambda \left(X_i + \frac{1}{N} p E - Y \right) - \mu [t_i - T(\Theta, \eta_i)]$$

et conduit aux conditions du premier ordre :

$$\begin{aligned}\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial X_i} &= \frac{\partial U}{\partial X_i} - \lambda = 0 \\ \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial t_i} &= \frac{\partial U}{\partial t_i} - \mu = 0 \\ \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \eta_i} &= \frac{\partial U}{\partial \eta_i} + \mu \frac{\partial T}{\partial \eta} = 0\end{aligned}$$

soit

$$-\frac{\partial U / \partial \eta_i}{\partial U / \partial t_i} = \frac{\partial T}{\partial \eta_i}$$

ou encore, à l'équilibre symétrique où tous les ménages choisissent le même niveau d'effort η :

$$-\frac{\partial U / \partial \eta}{\partial U / \partial t} = \frac{\partial T}{\partial \eta} \quad (1.27)$$

Par rapport à (1.25), le deuxième terme du membre de droite a disparu. Cette différence tient à la négligence par les ménages des interactions entre eux passant par les conséquences de leurs choix sur les paramètres de chauffage.

Du côté du gestionnaire, dans une situation symétrique, il choisit la consommation d'énergie qui maximise l'utilité $U(X, t, \eta)$ du ménage représentatif sous la contrainte de budget de ce dernier, en considérant le niveau d'effort η choisi par les ménages comme donné. Le lagrangien de ce problème est le même que celui de l'optimum et conduit également à la condition :

$$p = N \frac{\partial U / \partial t}{\partial U / \partial X} \frac{\partial T}{\partial \theta} \frac{\partial \Theta}{\partial E}$$

1.4.4 Comparaison entre équilibre et optimum

A l'équilibre, la condition (1.27) est satisfaite. En réinjectant cette égalité dans les conditions du premier ordre qui déterminent l'optimum on trouve que, aux valeurs d'équilibre⁵ :

$$\frac{\partial \mathcal{L}_{opt}}{\partial \eta} = \frac{\partial U}{\partial t} \sum_i \frac{\partial T}{\partial \theta} \frac{\partial \Theta}{\partial \eta_i} > 0 \quad (1.28)$$

En conséquence, quand on est aux valeurs d'équilibre, il faut augmenter le niveau d'effort des ménages pour atteindre l'optimum. On retrouve le résultat classique comme quoi, dans une situation de chauffage collectif, les interactions entre ménages ont pour conséquence que chacun d'entre eux fait un effort insuffisant pour utiliser le système de chauffage de manière efficace. Il faut noter que ce n'est pas le caractère collectif du système de chauffage en lui-même qui est à l'origine de ce résultat, mais l'interaction entre ménages générée par le paramètre de chauffage. En effet, dans un chauffage collectif où Θ ne dépend que de la consommation d'énergie, sans

5. Dans ce cas nous avons $\mu = \frac{\partial U}{\partial t_i}$.

influence des efforts des ménages, on a $\partial\Theta/\partial\eta_i = 0$ pour tout i et le membre de droite de (1.28) est nul, avec pour conséquence que l'équilibre et l'optimum coïncident.

Pour déterminer l'impact de ce choix sur la consommation de gaz, on dérive la condition (1.26), réécrite sous la forme

$$p \frac{\partial U}{\partial X} = N \frac{\partial U}{\partial t} \frac{\partial T}{\partial \theta} \frac{\partial \Theta}{\partial E}$$

par rapport à E et η . En calculant la dérivée logarithmique ; on trouve :

$$A_E dE + A_\eta d\eta = B_E dE + B_\eta d\eta + C_E dE + C_\eta d\eta + D_E dE + D_\eta d\eta$$

où

$$\begin{aligned} A_E &= \frac{\frac{\partial^2 U}{\partial X \partial t} \frac{\partial T}{\partial \theta} \frac{\partial \Theta}{\partial E} - \frac{p}{N} \frac{\partial^2 U}{\partial X^2}}{\partial U / \partial X} \\ A_\eta &= \frac{\frac{\partial^2 U}{\partial X \partial \eta} + N \frac{\partial^2 U}{\partial X \partial \eta} \frac{\partial T}{\partial \theta} \frac{\partial \Theta}{\partial \eta}}{\partial U / \partial X} \\ B_E &= \frac{\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} \frac{\partial T}{\partial \theta} \frac{\partial \Theta}{\partial E} - \frac{p}{N} \frac{\partial^2 U}{\partial X \partial t}}{\partial U / \partial t} \\ B_\eta &= \frac{\frac{\partial^2 U}{\partial t \partial \eta} + N \frac{\partial^2 U}{\partial t \partial \eta} \frac{\partial T}{\partial \theta} \frac{\partial \Theta}{\partial \eta}}{\partial U / \partial t} \\ C_E &= \frac{\frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} \frac{\partial \Theta}{\partial E}}{\partial T / \partial \theta} \\ C_\eta &= \frac{N \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} \frac{\partial \Theta}{\partial \eta} + \frac{\partial^2 T}{\partial \theta \partial \theta}}{\partial T / \partial \theta} \\ D_E &= \frac{\frac{\partial^2 \Theta}{\partial E^2}}{\partial \Theta / \partial E} \\ D_\eta &= N \frac{\frac{\partial^2 \Theta}{\partial \eta \partial E}}{\partial \Theta / \partial E} \end{aligned}$$

soit

$$\frac{dE}{d\eta} = \frac{B_\eta + C_\eta + D_\eta - A_\eta}{A_E - B_E - C_E - D_E}$$

En l'absence d'hypothèses sur les dérivées secondes croisées, il est impossible de donner le signe de cette expression. C'est cependant possible dans le cas de fonctions séparables⁶. Les dérivées croisées sont alors toutes nulles et l'expression se réduit à :

6. Ici, nous considérons la séparabilité au sens de la somme. C'est à dire, une fonction de 2 variables indépendantes est dite séparable si on peut l'écrire sous forme d'une somme de 2 fonctions chacune d'entre elles dépendant d'une seule variable.

$$\frac{dE}{d\eta} = - \frac{N \frac{\partial^2 T / \partial \theta^2}{\partial T / \partial \theta} \frac{\partial \Theta}{\partial \eta}}{\frac{p}{N} \frac{\partial^2 U / \partial X^2}{\partial U / \partial X} + \frac{\partial^2 U / \partial t^2}{\partial U / \partial t} \frac{\partial T}{\partial \theta} \frac{\partial \Theta}{\partial E} + \frac{\partial^2 T / \partial \theta^2}{\partial T / \partial \theta} \frac{\partial \Theta}{\partial E} + \frac{\partial^2 \Theta / \partial E^2}{\partial \Theta / \partial E}} < 0$$

L'insuffisance de l'effort des ménages conduit donc le gestionnaire à compenser partiellement cette insuffisance par une consommation d'énergie plus importante.

On trouve donc que, si les dérivées croisées ne sont pas suffisamment importantes pour inverser le résultat, dans le chauffage collectif, l'insuffisance de l'effort de gestion du chauffage par les ménages participants conduit à une consommation d'énergie plus importante. Il ne faut cependant pas transposer ce résultat immédiatement comme une comparaison entre chauffage individuel et chauffage collectif. En effet, entre chauffage individuel et chauffage et chauffage collectif, un autre facteur entre en jeu : le choix du système de chauffage. Et nous avons vu plus haut que les effets d'échelle inhérents au chauffage collectif permettent d'utiliser des sources d'énergies moins coûteuses et sans doute des équipements plus performants, ce qui est un facteur qui conduit à une consommation énergétique plus faible dans le chauffage collectif. Lequel des deux facteurs l'emporte est une question empirique.

1.5 Conclusion

Nous construisons dans ce chapitre un modèle microéconomique théorique décrivant la demande énergétique domestique pour le chauffage. Ce service peut être fourni en recourant à différents types d'équipements qui diffèrent en terme d'énergies nécessaires à leur fonctionnement, d'efficacité énergétique et par conséquent, en terme de coût à l'achat et à l'utilisation. De ce fait, le choix entre les équipements de chauffage résulte d'un arbitrage dont les facteurs déterminants sont les caractéristiques du logement, les besoins et les goûts du ménage occupant en matière de température, le coût à l'achat et le coût à l'utilisation de ces équipements.

Les résultats principaux qui découlent du modèle développé dans ce chapitre montrent que l'élasticité de la demande d'énergie par rapport à son prix est négative, que la hausse de celui-ci se traduit par une baisse de la température intérieure du logement, que quand une caractéristique du logement permet d'avoir une même température intérieure avec une consommation énergétique moindre, le ménage diminue sa consommation tout en profitant du coût marginal plus faible de la hausse de la température pour augmenter cette dernière et enfin, que l'impact d'une modification des caractéristiques du ménage sur le choix de la température et la consommation énergétique passe essentiellement par la modification de ses préférences et ses conséquences sur sa disposition marginale à payer⁷.

Pour ce qui est du choix des équipements de chauffage, les différentes différentiations de l'utilité indirecte montrent que le ménage n'a intérêt à investir dans des équipements onéreux mais efficaces et fonctionnant avec des énergies peu chères que si son logement ou ses besoins de chaleurs nécessitent une consommation énergétique élevée. Dans ce cas, sa satisfaction est plus grande et le coût d'investissement supplémentaire dans les équipements est amorti dans un bref délai.

Nous nous sommes également intéressé dans ce chapitre au cas du chauffage collectif qui est un mode très répandu dans les grands parcs de logements. Notre modèle montre que ce mode de chauffage peut être à l'origine d'une surconsommation énergétique en raison de l'insuffisance des efforts des ménages, chose qui conduit le gestionnaire du parc de logement à compenser partiellement cette insuffisance par une fourniture d'énergie plus importante. Cependant, en raison des effets d'échelle inhérents à ce mode de chauffage, le recours à des systèmes plus efficaces et fonctionnant avec des énergies peu chères est beaucoup plus envisageable que dans le cas du chauffage individuel et de ce fait, la surconsommation énergétique évoquée ci-avant peut ne pas être visible.

Pour conclure, il est à noter que si le modèle décrit de façon satisfaisante l'impact de certaines

7. Un ménage très sensible aux variations de la température devant avoir une disposition à payer plus importante.

caractéristiques des logements et des ménages sur la demande d'énergie et sur le choix des équipements pour le chauffage, il ne permet pas d'éclairer sur l'ampleur de l'élasticité de la demande d'énergie par rapport à son prix, ni sur la nature normale ou supérieure de l'énergie en tant que bien de marché. De ce fait, les analyses empiriques que nous effectuons dans les chapitres 3 et 4 de ce thèse sont essentielles. Ces analyses sont réalisées en recourant à trois bases de données nationales issues de deux enquêtes nationales indépendantes présentées dans le chapitre 2.

1.A Annexe

Démonstration de (1.5) :

On part de l'égalité

$$TMS_{X,t}(X, t, M) \frac{\partial T(E, L)}{\partial E} = p$$

qui, après différentiation, donne :

$$\left(\frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial p} + \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial p} \right) \frac{\partial T(E, L)}{\partial E} + TMS_{X,t} \frac{\partial^2 T(E, L)}{\partial E^2} \frac{\partial E}{\partial p} = 1$$

D'après (1.2) nous avons :

$$\frac{\partial T(E, L)}{\partial E} = \frac{p}{TMS_{X,t}}$$

d'où :

$$\left(\frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial p} + \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial p} \right) \frac{p}{TMS_{X,t}} + \frac{p}{\frac{\partial T(E, L)}{\partial E}} \frac{\partial^2 T(E, L)}{\partial E^2} \frac{\partial E}{\partial p} = 1$$

et donc :

$$\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}} dX + \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}} dt + \frac{\partial^2 T(E, L)/\partial E^2}{\partial T/\partial E} dE = \frac{dp}{p}$$

Démonstration de (1.8) :

En insérant les expressions de dt et dX tirées de (1.6) et (1.7) dans (1.5) nous obtenons :

$$-\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}} (pdE + Edp) + \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}} \frac{\partial T(E, L)}{\partial E} dE + \frac{\partial^2 T(E, L)/\partial E^2}{\partial T/\partial E} dE = \frac{dp}{p}$$

soit, après des manipulations élémentaires

$$\left[\frac{t}{TMS_{X,t}} \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial t} \frac{E}{t} \frac{\partial T(E, L)}{\partial E} + \frac{E}{\partial T/\partial E} \frac{\partial^2 T(E, L)}{\partial E^2} - \frac{X}{TMS_{X,t}} \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X} \frac{pE}{X} \right] \frac{dE}{E} \quad (1.29)$$

$$= \left[1 + \frac{X}{TMS_{X,t}} \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X} \frac{pE}{X} \right] \frac{dp}{p} \quad (1.30)$$

et, en utilisant les expressions des élasticités : $\eta_{TMS,t} = \frac{t}{TMS_{X,t}} \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial t}$, $\eta_{T',E} = \frac{E}{t} \frac{\partial T(E, L)}{\partial E}$, $\eta'_{T',E} = \frac{E}{\partial T/\partial E} \frac{\partial^2 T(E, L)}{\partial E^2}$ et $\eta_{TMS,X} = \frac{X}{TMS_{X,t}} \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X}$, on aboutit à :

$$\left[\eta_{TMS,t} \eta_{T',E} + \eta'_{T',E} - \eta_{TMS,X} \frac{pE}{X} \right] \frac{dE}{E} = \left[1 + \eta_{TMS,X} \frac{pE}{X} \right] \frac{dp}{p}$$

d'où :

$$\frac{dE/E}{dp/p} = \frac{1 + \eta_{TMS,X} \frac{pE}{X}}{\eta_{TMS,t} \eta_{T',E} + \eta'_{T',E} - \eta_{TMS,X} \frac{pE}{X}}$$

Démonstration de (1.9)

En dérivant l'égalité $t = T(E, L)$ par rapport à E , on obtient :

$$dt = \frac{\partial T}{\partial E} dE \iff dt/t = \frac{1}{t} \frac{\partial T}{\partial E} dE$$

soit :

$$\frac{dt/t}{dp/p} = \frac{1}{t} \frac{\partial T}{\partial E} dE \frac{1}{dp_e/p_e} = \frac{E}{t} \frac{\partial T}{\partial E} \frac{dE/E}{dp/p} = \eta_{T,E} \frac{dE/E}{dp/p}$$

et, en utilisant (1.8) :

$$\frac{dt/t}{dp/p} = \frac{\eta_{T,E} \left(1 + \eta_{TMS,X} \frac{pE}{X}\right)}{\eta_{TMS,t} \eta_{T,E} + \eta'_{T',E} - \eta_{TMS,X} \frac{pE}{X}}$$

Démonstration de (1.10) :

En différenciant la contrainte $X + pE = Y - C$, on obtient :

$$dX = -pdE - Edp$$

et, après des manipulations élémentaires :

$$\frac{dX/X}{dp/p} = -\frac{pE}{X} \frac{dE/E}{dp/p} - \frac{pE}{X} = -\frac{pE}{X} \left(1 + \frac{dE/E}{dp/p}\right)$$

et, en utilisant (1.8) :

$$\begin{aligned} \frac{dX/X}{dp/p} &= -\frac{pE}{X} \left(1 + \frac{1 + \eta_{TMS,X} \frac{pE}{X}}{\eta_{TMS,t} \eta_{T,E} + \eta'_{T',E} - \eta_{TMS,X} \frac{pE}{X}}\right) \\ &= -\frac{pE}{X} \frac{1 + \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} + \eta'_{T',E}}{\eta_{TMS,t} \eta_{T,E} + \eta'_{T',E} - \eta_{TMS,X} \frac{pE}{X}} \end{aligned}$$

Démonstration de (1.13) :

On part de (1.11) que l'on rappelle ici

$$\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}} dX + \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}} dt + \frac{\partial^2 T(E, L)/\partial E^2}{\partial T/\partial E} dE = 0$$

que l'on combine avec (1.6) et (1.12) pour obtenir

$$\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}} (d(Y - C) - pdE) + \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}} \frac{\partial T}{\partial E} dE + \frac{\partial^2 T(E, L)/\partial E^2}{\partial T/\partial E} dE = 0$$

soit

$$\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}} d(Y-C) + \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}} \frac{\partial T}{\partial E} dE + \frac{\partial^2 T(E,L)/\partial E^2}{\partial T/\partial E} dE = \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}} p dE$$

et donc :

$$\frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X} \frac{X}{TMS_{X,t}} \frac{(Y-C)}{X} \frac{d(Y-C)}{(Y-C)} + \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial t} \frac{t}{TMS_{X,t}} \frac{E}{t} \frac{1}{E} \frac{\partial T}{\partial E} dE + \frac{\partial^2 T(E,L)}{\partial E^2} \frac{E}{\partial T/\partial E} \frac{dE}{E} \quad (1.31)$$

$$= \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X} \frac{X}{TMS_{X,t}} \frac{p}{X} E \frac{dE}{E} \quad (1.32)$$

$$\left(\frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X} \frac{X}{TMS_{X,t}} \frac{p}{X} E - \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial t} \frac{t}{TMS_{X,t}} \frac{E}{t} \frac{\partial T}{\partial E} - \frac{\partial^2 T(E,L)}{\partial E^2} \frac{E}{\partial T/\partial E} \right) \frac{dE}{E} \quad (1.33)$$

$$= \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X} \frac{X}{TMS_{X,t}} \frac{(Y-C)}{X} \frac{d(Y-C)}{(Y-C)} \quad (1.34)$$

et, en utilisant les expressions des élasticité

$$\left[\eta_{TMS,X} \frac{pE}{X} - \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta'_{T',E} \right] \frac{dE}{E} = \eta_{TMS,X} \frac{(Y-C)}{X} \frac{d(Y-C)}{(Y-C)}$$

soit

$$\frac{dE/E}{d(Y-C)/(Y-C)} = \frac{\eta_{TMS,X} \frac{(Y-C)}{X}}{\eta_{TMS,X} \frac{pE}{X} - \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta'_{T',E}}$$

Démonstration de (1.14) et (1.17) :

On part de la condition du premier ordre

$$TMS_{X,t} \frac{\partial T(E,L)}{\partial E} = p_e$$

Après différentiation

$$\left(\frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial L} + \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial L} \right) \frac{\partial T(E,L)}{\partial E} + TMS_{X,t} \left(\frac{\partial^2 T(E,L)}{\partial E^2} \frac{\partial E}{\partial L} + \frac{\partial^2 T(E,L)}{\partial L \partial E} \right) = 0$$

et réorganisation des termes, on obtient (1.14) :

$$\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}} dX + \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}} dt + \frac{\partial^2 T(E,L)/\partial E^2}{\partial T(E,L)/\partial E} dE = - \frac{\partial^2 T(E,L)/\partial L \partial E}{\partial T(E,L)/\partial E} dL$$

En utilisant (1.15) et (1.16) nous obtenons :

$$-\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}}pdE + \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}} \left(\frac{\partial T}{\partial E}dE + \frac{\partial T}{\partial L}dL \right) + \frac{\partial^2 T(E, L)/\partial E^2}{\partial T/\partial E}dE = -\frac{\partial^2 T(E, L)/\partial L\partial E}{\partial T/\partial E}dL$$

d'où :

$$-\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}} \frac{X}{E} \frac{E}{X} pdE + \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}} \frac{t}{E} \frac{E}{t} \frac{\partial T}{\partial E}dE + \frac{\partial^2 T(E, L)/\partial E^2}{\partial T/\partial E} \frac{E}{E}dE \quad (1.35)$$

$$= -\frac{\partial^2 T(E, L)/\partial L\partial E}{\partial T/\partial E} \frac{L}{L}dL - \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}} \frac{\partial T}{\partial L} \frac{t}{L} \frac{L}{t}dL \quad (1.36)$$

soit :

$$\left[\frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X} \frac{X}{TMS_{X,t}} \frac{p_e E}{X} - \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial t} \frac{t}{TMS_{X,t}} \frac{E}{t} \frac{\partial T}{\partial E} - \frac{\partial^2 T(E, L)}{\partial E^2} \frac{E}{\partial T/\partial E} \right] \frac{dE}{E} = \quad (1.37)$$

$$\left[\frac{\partial^2 T(E, L)}{\partial L\partial E} \frac{L}{\partial T/\partial E} + \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial t} \frac{t}{TMS_{X,t}} \frac{L}{t} \frac{\partial T}{\partial L} \right] \frac{dL}{L} \quad (1.38)$$

et, en utilisant les expressions des élasticités :

$$\left[\eta_{TMS,X} \frac{p_e E}{X} - \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta'_{T',E} \right] \frac{dE}{E} = [\eta'_{T',L} + \eta_{TMS,t} \eta_{T,L}] \frac{dL}{L}$$

$$\frac{dE/E}{dL/L} = \frac{\eta'_{T',L} + \eta_{TMS,t} \eta_{T,L}}{\eta_{TMS,X} \frac{p_e E}{X} - \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta_{T',E}}$$

Démonstration de (23) :

De (20)

$$dt = \frac{\partial T}{\partial E}dE + \frac{\partial T}{\partial L}dL$$

$$\frac{dt/t}{dL/L} = \frac{\partial T/t}{\partial E/E} \frac{1}{dL/L} \frac{dE}{E} + \frac{\partial T/t}{\partial L} \frac{1}{dL/L}dL$$

$$\frac{dt/t}{dL/L} = \eta_{T,E} \frac{dE/E}{dL/L} + \frac{\partial T/t}{dL/L}$$

$$\frac{dt/t}{dL/L} = \eta_{T,L} + \eta_{T,E} \frac{dE/E}{dL/L}$$

En utilisant (21)

$$\frac{dt/t}{dL/L} = \eta_{T,L} + \eta_{T,E} \frac{\eta'_{T',L} + \eta_{TMS,t} \eta_{T,L}}{\eta_{TMS,X} \frac{p_e E}{X} - \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta_{T',E}}$$

$$\frac{dt/t}{dL/L} = \frac{\eta_{T,L} \eta_{TMS,X} \frac{p_e E}{X} - \eta_{T,L} \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta_{T,L} \eta_{T',E} + \eta_{T,E} \eta'_{T',L} + \eta_{T,E} \eta_{TMS,t} \eta_{T,L}}{\eta_{TMS,X} \frac{p_e E}{X} - \eta_{TMS,t} \eta_{T,E} - \eta_{T',E}}$$

$$\frac{dt/t}{dL/L} = \frac{\eta_{T,L}\eta_{TMS,X}\frac{p_e E}{X} - \eta_{T,L}\eta_{T',E} + \eta_{T,E}\eta'_{T',L}}{\eta_{TMS,X}\frac{p_e E}{X} - \eta_{TMS,t}\eta_{T,E} - \eta_{T',E}}$$

Démonstration de (1.19) et (1.22) :

On part de la condition du premier ordre :

$$TMS_{X,t} \frac{\partial T(E, L)}{\partial E} = p_e$$

d'où, après différentiation :

$$\left(\frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial M} + \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial M} \right) \frac{\partial T(E, L)}{\partial E} + TMS_{X,t} \left(\frac{\partial^2 T(E, L)}{\partial E^2} \frac{\partial E}{\partial M} + \frac{\partial^2 T(E, L)}{\partial M \partial E} \right) = 0$$

et, en réorganisant les termes, on obtient (1.19) :

$$\frac{\partial TMS_{X,t}/\partial X}{TMS_{X,t}} dX + \frac{\partial TMS_{X,t}/\partial t}{TMS_{X,t}} dt + \frac{\partial^2 T(E, L)/\partial E^2}{\partial T(E, L)/\partial E} dE = - \frac{\partial^2 T(E, L)/\partial M \partial E}{\partial T(E, L)/\partial E} dM$$

En utilisant (1.20) et (1.21) nous obtenons :

$$\left[\frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X} \frac{X}{TMS_{X,t}} \frac{p_e E}{X} - \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial t} \frac{t}{TMS_{X,t}} \frac{E}{t} \frac{\partial T}{\partial E} - \frac{\partial^2 T(E, L)}{\partial E^2} \frac{E}{\partial T/\partial E} \right] \frac{dE}{E} = \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial M} \frac{M}{TMS_{X,t}} \frac{dM}{M}$$

d'où :

$$\frac{dE/E}{dM/M} = \frac{\frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial M} \frac{M}{TMS_{X,t}}}{\frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial X} \frac{X}{TMS_{X,t}} \frac{p_e E}{X} - \frac{\partial TMS_{X,t}}{\partial t} \frac{t}{TMS_{X,t}} \frac{E}{t} \frac{\partial T}{\partial E} - \frac{\partial^2 T(E, L)}{\partial E^2} \frac{E}{\partial T/\partial E}}$$

soit

$$\frac{dE/E}{dM/M} = \frac{\eta_{TMS,M}}{\eta_{TMS,X} \frac{p_e E}{X} - \eta_{TMS,X} \eta_{T,E} - \eta'_{T',E}}$$

Chapitre 2

Présentation des bases de données et classification énergétique des logements

2.1 Introduction

La réduction de la consommation énergétique domestique est un objectif clairement affiché par les décideurs publics en charge des questions énergétiques dans un grand nombre de pays (Belaid 2017 ; Belaid 2016 ; Kuckshinrichs et al. 2010 ; Olaniyan et Evans 2014 ; Estiri 2014). La situation, les enjeux et les mécanismes qui sous-tendent la question diffèrent d'un pays à l'autre, voire dans un même pays d'une région à l'autre, au grès des conditions climatiques, des ressources énergétiques, des politiques énergétiques et d'aménagement du territoire nationales et / ou régionale menées par le passé etc... .

La compréhension d'une part importante des tenants et des aboutissants de la problématique de la consommation énergétique domestique dans un pays ou dans une région donnés nécessite un travail d'exploration et d'analyse statistique poussé. La condition sine qua non pour que ce travail puisse être réalisé est l'existence et la disponibilité de bases de données qui soient à la fois représentatives de l'ensemble des ménages et des logements et qui contiennent une quantité d'information suffisamment exhaustive.

Concernant la France, les bases de données qui peuvent être utilisées pour apporter une analyse approfondie de la question énergétique domestique sont rares ; et celles qui existent sont très récentes, ce qui témoigne de la prise de conscience tardive de l'importance de la question de la part des acteurs publics. Dans ce travail de thèse, nous recourons à deux source de données : la première est l'ensemble des bases issues de l'enquête Budget des Familles 2010-2011 et la seconde est l'ensemble des versions préliminaires des bases issues de l'enquête Performance de l'Habitat, Équipements, Besoins et USages de l'énergie (Phébus) réalisée à partir d'avril 2013. Il à noter que ces dernières n'ont été disponibles qu'à partir de la seconde moitié de l'année 2015 et que pour les obtenir il a été nécessaire d'effectuer une demande officielle appuyée par le soutien du laboratoire et de la faculté auprès du ministère de l'écologie. De ce fait, les bases de données en

question n'ont été mises à ma disposition qu'à la fin de l'année 2015, soit quasiment deux ans après le début de ma thèse.

Les bases de données issues des deux enquêtes affichent un grand nombre d'avantages mais elles présentent également quelques inconvénients qu'il convient de souligner.

L'objectif de ce chapitre est triple. Dans un premier temps, nous présentons de façon assez détaillée les enquêtes et les informations contenues dans les bases qui en résultent. Deuxièmement, nous mettons en lumière les difficultés que pose l'exploitation statistique de ces bases. Ces difficultés sont causées par la façon avec laquelle les informations sont disposées, par l'existence d'un nombre important de valeur manquantes pour plusieurs variables d'intérêt et par les erreurs de codage dues à la nature provisoire des bases issues de PHEBUS. Enfin, après un important et fastidieux travail de nettoyage des données¹, nous effectuons une exploration statistique approfondie de l'état de la consommation énergétique domestique dans le pays. Compte tenu de la complexité de la situation, l'information qui résulte de l'exploration statistique complète présente une trop grande exhaustivité, chose qui peut nuire à la compréhension et à la lisibilité. Pour remédier à cela, nous effectuons un travail de synthèse basé sur les techniques de l'analyse factorielle et de la classification. Ce travail est nécessaire pour justifier et mener à bien les travaux économétriques présentés dans les chapitres 3 et 4 et pour interpréter de façon éclairée les résultats qui en découlent.

2.2 Données issues de l'enquête Budget Des Familles 2011

2.2.1 Présentation de l'enquête et de ses avantages

La série d'enquêtes Budget des Familles a pour organisme producteur la Direction des Statistiques Démographiques et Sociales (DSDS) de l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE). La dernière enquête en date est celle de 2016-2017 et l'enquête la plus récente dont les données collectées sont disponibles est celle de 2010-2011. L'objectif central des enquêtes BDF est de recenser tous les revenus et toutes les dépenses des ménages résidant en France métropolitaine et dans les DOM. Elles visent à reconstituer toute la comptabilité du ménage : la totalité des dépenses (leur montant et leur nature) y compris celles qui ne relèvent pas de la consommation des biens et services (impôts, taxes, primes d'assurance, transferts interménages ...), les consommations ne donnant pas lieu à des dépenses (autoconsommation alimentaire, avantages en nature fournie par l'employeur), ainsi que les ressources (revenus, prestations sociales, sommes provenant d'autres ménages, héritage, primes de licenciement, loto ...). En cela, les bases de données qui résultent de ces enquêtes offrent aux chercheurs un outil puissant, leur permettant de comparer les niveaux de vie et les choix de consommation

1. Qui a pris plus de 6 mois.

des diverses catégories de ménage à l'échelle microéconomique. L'enquête BDF est réalisée tous les 5 ans environ. Elle existe en France sous sa forme actuelle depuis 1979. Les données collectées étaient, jusqu'en 1995, essentiellement monétaires. Depuis l'édition 2001, les quantités consommées de certains produits le sont également. En 2011, l'enquête est ramenée à 2 visites et a été étendue jusqu'au Dom de Mayotte. Elle s'est déroulée en 6 vagues de 8 semaines chacune entre octobre 2010 et septembre 2011. Les informations ont été collectées en recourant à deux instruments de collecte :

1 - un questionnaire sous CAPI (Collecte Assistée Par Informatique ; répartie sur 2 visites), qui enregistre les revenus des 12 derniers mois et les dépenses importantes ou régulières, ainsi que des informations socio-démographiques, les caractéristiques du logement et des questions qualitatives illustrant la situation financière du ménage ;

2 - un carnet auto-administré dans lequel tous les membres du ménage âgés de plus de 14 ans notent toutes leurs dépenses durant 7 jours.

L'ensemble des bases obtenues à l'issue de cette enquête contient des informations relatives aux caractéristiques socioéconomiques et aux dépenses de consommation de 10342 ménages résidant en France métropolitaine et de 5455 ménages résidant dans les Dom. Ces informations portent, entre autres, sur les caractéristiques des ces ménages (Taille du ménage, statut socioprofessionnel, âge de la personne de référence, revenu etc....) et de leurs logements (Taille du logement, année de construction, localisation etc....)².

Parmi les différents postes de dépense figurant dans les bases, nous nous intéressons à celles qui sont en rapport avec la dépense énergétique domestique, en particulier : le niveau de la dépense pour chaque source d'énergie, la dépense liée à l'utilisation d'un chauffage secondaire et le montant des charges collectives, celles-ci pouvant contenir les dépenses relatives au chauffage et à l'eau chaude sanitaire quand la fourniture de ces deux services est collective³.

2.2.2 Difficultés d'exploitation des données

En dépit de son exhaustivité, l'enquête BDF n'ayant pas pour question centrale la consommation énergétique, son exploitation dans notre cadre d'étude pose plusieurs problèmes et difficultés. Premièrement, le travail que nous effectuons requiert la connaissance pour chaque logement de l'ensemble des sources d'énergie qui y sont utilisées, de la dépense et de la consommation pour chacune d'elles. Cependant, ces informations n'ont pas toutes été renseignées pour l'ensemble des ménages enquêtés pour divers raisons précisées ci-après. Les observations pour lesquelles au moins une variable relative à ces informations enregistre une valeur manquante ont été supprimées. Cette opération a fait chuter le nombre d'observations de

2. Échantillon (aléatoire à taux de sondage uniforme) d'environ 17 000 logements en France métropolitaine, et 8 000 dans les Dom.

3. Pour les ménages qui utilisent le gaz en bouteille, la base fournit leur nombre et leur prix unitaire.

10342 à 4603. Les observations supprimées sont relatives aux ménages possédant au moins l'une des caractéristiques suivantes :

- Leur dépense énergétique est incluse dans des charges collectives (Co-propriété, syndic, etc...) : La part des ménages dont les frais de chauffage sont inclus dans des charges collectives payées à une copropriété ou à un syndic est de 14% et celle des ménages dont les frais pour l'eau chaude le sont également s'élève à 11%. Les charges collectives pouvant être relatives à un grand nombre de postes (nettoyage des parties communes, gardiennage, frais de syndic ...) et la base ne fournissant pas le détail de ces charges, il nous est impossible de connaître la dépense énergétique de ces ménages.
- Ils ne payent pas de facture énergétique : 2.5% des ménages qui utilisent l'électricité et 6% de ceux qui utilisent le gaz de ville ne paient pas la facture d'énergie correspondant à leur consommation. Il s'agit là majoritairement de ménages habitant dans des immeubles où la facturation du chauffage est collective.
- Ils n'ont pas fourni à l'enquêteur le montant de leurs factures énergétiques : 15% des ménages qui paient une facture d'électricité et 14% de ceux qui paient une facture de gaz de ville n'ont pas déclaré leurs montants.
- Ils ont une facture commune pour le gaz de ville et l'électricité : 14% des ménages enquêtés ont une facture commune pour le gaz de ville et l'électricité. Ils ne peuvent par conséquent pas connaître le montant exact payé pour chacune des sources. Pour ces ménages, l'analyse de la dépense et de la consommation d'énergie totales du logement est possible. Cependant, lors de l'analyse de l'utilisation de chacune des sources d'énergie, ces observations deviennent inexploitable.

La deuxième difficulté vient du mode de construction de la base, qui résulte de l'architecture du questionnaire adressé aux ménages. La suite de cette sous-section présente ces difficultés et les manipulations effectuées sur la base pour en simplifier l'exploitation.

- La manière de renseigner la dépense en chaque source d'énergie diffère d'une source à l'autre : concernant le gaz de ville et l'électricité, les questions qui sont posées aux ménages sont les suivantes : "Payez-vous une facture de gaz / électricité ? Si oui quel est son montant ?". Ainsi, la dépense pour chacune de ces deux sources est directement renseignée. En revanche, pour le fuel, mazout pétrole (FMP) et les énergies renouvelables (ER), le montant dépensé n'est pas directement renseigné. Pour l'obtenir il faut croiser les variables relatives aux réponses données aux deux questions suivantes : "Quelle est l'énergie que vous utilisez pour votre chauffage principal ? Quel est le montant annuel dépensé pour cette source ?" Par ailleurs, un certain nombre de ménages utilisent le gaz

en bouteille ou en citerne. Le nombre de bouteilles ou de citernes achetées par an ainsi que le prix unitaire moyen d'une citerne ou d'une bouteille est fourni. La dépense en gaz en bouteille / citerne est obtenue en multipliant le prix par la quantité achetée.

- Pour une grande part des ménages utilisant un chauffage collectif, la dépense énergétique totale du logement ne peut être connue. La raison en est que la dépense liée à l'utilisation du chauffage collectif est généralement comprise dans les charges collectives payées aux agences de gestion. Seulement 12% des ménages utilisant un chauffage collectif connaissent le montant qui lui est relatif. Par ailleurs, ce montant n'est pas directement renseigné dans la base. Pour l'obtenir il faut croiser les variables contenant les réponses aux trois questions suivantes : "Disposez-vous d'un chauffage collectif? Quel est la source d'énergie utilisée pour le chauffage collectif? Quel est le montant annuel payé?". Dans les 4603 observations restantes après suppression de celles pour lesquelles des informations concernant l'usage domestique de l'énergie sont indisponibles, la part des ménages utilisant le chauffage collectif est uniquement de 2%. Les logements du secteur social étant majoritairement équipés de chauffages collectifs, cette suppression conduit à la quasi éradication de ces logements. Au vu de ce manque de données concernant le chauffage collectif, il est impossible d'effectuer des analyses statistiques concernant la consommation et la dépense énergétique qu'il engendre.
- Chauffage secondaire : 25% des ménages utilisent au moins un chauffage secondaire fonctionnant avec une source d'énergie différente de celle avec laquelle le chauffage principal fonctionne. La base de données contient des variables renseignant sur la source d'énergie utilisée par chacun des chauffages secondaires et la dépense qui lui est imputée. Partant de ces variables, nous créons un ensemble de variables binaires renseignant sur l'utilisation ou pas de chauffages secondaires et si ceux-ci fonctionnent avec telle énergie ou pas. Un second ensemble de variables donnant le montant dépensé pour l'énergie avec laquelle fonctionnent les chauffages secondaires est également créé. Mille ménages ont déclaré l'utilisation d'un chauffage secondaire dans leur logement mais n'ont pas fourni de renseignement sur le montant dépensé pour la source d'énergie avec lequel ce chauffage fonctionne. Les observations relatives à ces ménages ont été supprimées.
- Les quantités d'énergie consommées : La base de données contient des informations relatives aux différentes dépenses énergétiques des logements mais pas celles relatives aux quantités d'énergie qui y sont consommées. Nous avons calculé celles-ci nous-même. Pour cela, nous nous sommes référés au site du ministère de l'environnement pour avoir des informations concernant les coûts fixes engendrés par l'utilisation de chacune des sources d'énergie disponibles sur le marché et les prix d'un KWH généré en ayant recours à chacune d'elles. Le calcul a été effectué conformément à la formule ci-dessous :

La consommation d'une source d'énergie = (la dépense de cette source - le coût fixe lié à l'utilisation de cette source)/le prix de cette source

Dans notre quête de rendre les données exploitables de la façon qui nous convient, nous avons créé les variables présentées dans le tableau 2.1 afin de calculer la dépense en chaque source d'énergie utilisée dans le logement et la dépense énergétique totale.

TABLEAU 2.1 – Nouvelles variables et anciennes variables utilisées pour leur création

Variables	Modalité
Dépense d'électricité	Facture d'électricité + Dépense de chauffage collectif électrique + Dépense de chauffage secondaire électrique
Dépense de gaz	Facture de gaz de ville + Dépense de gaz en bouteilles + Dépense chauffage collectif au gaz + Dépense chauffage secondaire au gaz
Dépense de FMP	Dépense de chauffage principal au FMP + Dépense de chauffage secondaire au FMP + Dépense de chauffage collectif au FMP
Dépense de bois	Dépense de chauffage principal au bois + Dépense de chauffage secondaire au bois + Dépense de chauffage collectif au bois
Dépense totale d'énergie	Facture d'électricité + Facture de gaz de ville + Dépense de gaz en bouteille + Dépense de chauffage principal + Facture de gaz et d'électricité + Dépense de chauffage secondaire + Dépense de chauffage collectif
Consommation de gaz	(Dépense de gaz - le cout fixe lie à l'utilisation de gaz)/Prix du gaz
Consommation d'électricité	Dépense d'électricité / Prix d'électricité
Consommation de FMP	Dépense de FMP / Prix de FMP
Consommation de bois (ER)	Dépense de bois (ER)/ Prix de bois (ER)
Consommation d'énergie totale	Consommation d'électricité + Consommation de gaz + Consommation de FMP + Consommation de bois (ER)

2.3 Données issues de l'enquête PHEBUS

2.3.1 Présentation de l'enquête et de ses avantages

L'enquête Performance de l'Habitat, Équipements, Besoins et USages de l'énergie (Phébus) a été réalisée de façon ponctuelle par le ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. Elle pourrait être reconduite à l'avenir. Elle vise à fournir une photographie des performances énergétiques du parc des résidences principales et des caractéristiques de leurs occupants afin de fournir aux chercheurs un outil à même d'être utilisé pour analyser les différents usages que font les ménages de l'énergie. Elle doit aussi permettre d'étudier la précarité énergétique, en mettant en regard les revenus et la part des dépenses énergétiques, ainsi que des questions plus subjectives sur la satisfaction en termes de chauffage. L'enquête PHEBUS concerne uniquement la France métropolitaine. La collecte d'information a été réalisée d'avril à octobre 2013. L'échantillon des logements est tiré dans l'échantillon maître de l'enquête annuelle de recensement 2011 de l'INSEE. Il est constitué de 8 000 logements représentatifs des régions, des zones climatiques, des types d'habitat et des années de construction.

L'enquête comprend deux volets réalisés séparément : un entretien en face à face avec les occupants des logements et un diagnostic de performance énergétique effectué par des diagnostiqueurs qualifiés et certifiés pour les logements dont les propriétaires ont accepté le diagnostic. Les données collectées d'après le premier volet sont présentées dans la base CLODE (5405 observations) et celles collectées à partir du deuxième volet sont présentées dans la base DPE (2390 observations).

Compte tenu de l'orientation de l'enquête PHEBUS vers la consommation énergétique des ménages, les bases qui en sont issues présentent un certain nombre d'originalités qu'il convient de souligner. Premièrement, les bases contiennent non seulement les montants dépensés pour chaque source d'énergie utilisée dans le logement, mais également l'information sur les quantités en kilowatt/heure et en Tonne Équivalent Pétrole (TEP). Deuxièmement, les enquêteurs ont recueilli des informations quant aux travaux d'amélioration de l'habitat pouvant avoir un impact sur l'efficacité énergétique effectués dans le logements à partir 2008⁴. Le coût de ces travaux et leurs modes de financement son également renseignés. Troisièmement, les informations relatives au diagnostic de performance énergétique (DPE) sont disponibles pour un certain nombre de logements. Quatrièmement, quand le logement est équipé d'un chauffage central collectif, les enquêteurs ont interrogé à la fois les occupants du logement et l'organisme gestionnaire du chauffage afin d'avoir une information précise quand à la quantité et à la dépense en énergie du logement ; en cela, PHEBUS "corrige" une des limites de la base BDF. Enfin, l'enquête s'est penchée sur les usages et les comportements énergétiques des ménages. Les bases qui en découlent fournissent ainsi des informations telles que les périodes de chauffe, les réglages de la température la nuit et le jour, les pratiques d'aération etc. . . .)

4. Travaux d'isolation, changement de la chaudière, des fenêtres, installation de panneaux solaires etc...

2.3.2 Difficultés rencontrées en travaillant sur la Base CLODE :

Trois difficultés majeures ont été rencontrées lors du travail sur cette base. La première vient du grand nombre de variables binaires qu'elle contient. Cela est dû au fait que le questionnaire adressé aux ménages contient un grand nombre de questions dont la réponse est oui ou non. La deuxième difficulté est la présence de beaucoup de valeurs manquantes pour des variables d'intérêt, et ce particulièrement chez les ménages locataires. La raison principale en est que la majeure partie de l'enquête a été réalisée auprès des occupants et que ceux-ci ne disposent pas de toutes les informations concernant les logements⁵. Enfin, la troisième difficulté est causée par des erreurs de codage dues à la nature provisoire de la base fournie.

La suite de cette sous-section est consacrée à la présentation de ces difficultés et des manipulations réalisées pour les contourner.

La présence d'un grand nombre de variables binaires :

Les informations relatives au mode de chauffage, au système de chauffage, à l'intensité de son utilisation et à l'énergie avec laquelle il fonctionne sont dispatchées entre un très grand nombre de variables binaires comme montré ci-après.

Concernant le mode de chauffage : La base contient neuf variables binaires relatives au mode de chauffage. Ces variables sont : chauffage central individuel, chauffage central collectif, chauffage tout électrique individuel, chauffage mixte⁶, chauffage par appareil(s) indépendant(s), un autre moyen de chauffage, aucun moyen de chauffage, ne sais pas. Par ailleurs, dans chaque "famille" de mode de chauffage, plusieurs systèmes de chauffage existent. Par exemple si le mode de chauffage dans un logement est central individuel, le système peut être une chaudière, une pompe à chaleur, un système solaire thermique, etc... . Les questions relatives au système de chauffage appellent elles aussi une réponse oui ou non. Le nombre de questions qui lui sont dédiées est 22.

Concernant l'intensité de l'utilisation du chauffage : Chaque chauffage présent dans le logement peut être utilisé comme chauffage principal, chauffage d'appoint régulier, chauffage d'appoint exceptionnel ou non utilisé. Une question relative à l'intensité d'utilisation est posée par mode et par système de chauffage. Si le logement n'est pas équipé d'un mode de chauffage donné, la variable relative à la réponse à la question sur la fréquence de son utilisation contient une valeur manquante. Ainsi, la réponse à cette question nous fournit à la fois des informations sur la disponibilité du mode de chauffage, son système et l'intensité de son utilisation. Voici un

5. Comme les travaux réalisés dans le logement, le montant de ces travaux, le financement des travaux, l'année de l'installation du système de chauffage etc...

6. Système de chauffage particulier associant un chauffage de base réglé collectivement avec une chaudière collective et un chauffage individuel complémentaire ou bien d'un chauffage électrique bijonction

exemple de questions et réponses possibles :

Question : Comment utilisez-vous, votre chauffage central individuel de système chaudière ?

Réponses : 1-principal 2- chauffage d'appoint régulier 3- Chauffage d'appoint exceptionnel
4- chauffage non utilisé non défectueux 5- chauffage défectueux.

Concernant les sources d'énergie utilisées pour le chauffage : Seize questions dont la réponse est oui ou non sont posées, chacune relative à un mode et à un système de chauffage⁷. Voici l'exemple d'une question et des réponses proposées :

Question : si votre chauffage est central individuel de système chaudière, quel combustible ou énergie utilisez vous

Réponses : 1- Électricité 2- Fioul domestique 3- Gaz de réseaux etc....

Afin de faciliter le travail sur la base, nous regroupons les informations relatives au mode de chauffage, au système de chauffage et à la fréquence d'utilisation, contenues initialement dans 53 variables binaires, dans 9 variables multinomiales. Nous obtenons ce nombre car il existe des ménages qui ont recours à trois chauffages principaux, d'autres à trois chauffages d'appoint et d'autres encore à trois chauffages exceptionnels. En cas de non recours à un deuxième ou à un troisième chauffage principal, secondaire ou exceptionnel, la variable qui lui est relative affiche une valeur manquante. Ainsi, chaque modalité de chaque variable renseigne sur la fréquence, le mode et le système de chaque chauffage utilisé dans le logement. Pour ce qui est des sources d'énergie, l'information contenue initialement dans $22 \times 16 = 352$ variables binaires est résumée en neuf variables multinomiales grâce à un travail de croisement entre les 352 dites variables et les neuf variables relatives au mode, au système à la fréquence d'utilisation du chauffage.

Le manque d'information :

Les variables relatives aux travaux d'amélioration de l'habitat et aux sources d'énergie utilisées par les différents chauffages présents dans chaque logement affichent un grand nombre de valeurs manquantes.

Concernant les travaux d'amélioration de l'habitat : l'analyse des observations concernées par la présence de valeurs manquantes montre qu'elles sont relatives à des ménages locataires. Ceux-ci peuvent en effet fournir des informations sur les caractéristiques générales de leur logement comme la taille ou la localisation, mais ils ne disposent pas forcément des réponses aux questions concernant les travaux effectués dans le logement (la date de ces travaux, les motifs des travaux, le coût de ces travaux et le type d'aide financière dont a bénéficié le ménage afin de réaliser ces travaux).

7. Qu'il soit utilisé ou non dans le logement

Concernant la source d'énergie, la consommation et la dépense énergétique : Nous remarquons que certains ménages ne les connaissent pas. Après l'analyse des caractéristiques de ces ménages, nous trouvons qu'il s'agit très majoritairement de locataires payant la consommation de chauffage avec les charges locatives.

Afin de passer outre le manque d'information concernant la source d'énergie utilisée pour le chauffage tout en gardant un maximum d'observations, nous récupérons les valeurs manquantes pour un certain nombre de ménages en exploitant les questions relatives aux points ci-dessous :

Le mode de chauffage utilisé dans le logement : Certains ménages ont répondu à la question concernant le mode de chauffage mais pas à celle qui concerne la source d'énergie avec laquelle il fonctionne. Pour ces ménages, nous exploitons cette information comme suit : Nous considérons l'électricité comme source d'énergie pour le chauffage si le mode de chauffage déclaré est électrique, appareil indépendant fixe électrique, ou appareil indépendant mobile électrique. Aussi, nous considérons les ER (bois) comme source d'énergie pour le chauffage si le mode de chauffage déclaré est appareil indépendant (cheminée).

La consommation en chaque source d'énergie dans le logement : Nous considérons le fioul comme la source d'énergie utilisée pour le chauffage par les ménages qui déclarent en consommer. Pour ce qui est du gaz, comme il peut être utilisé soit pour la cuisson soit pour le chauffage, nous commençons par comparer la distribution de sa consommation entre les ménages qui le consomment et qui déclarent l'utiliser pour se chauffer avec celle des ménages qui le consomment mais qui n'ont pas répondu à la question sur la source d'énergie pour le chauffage. Nous trouvons que les deux distributions sont similaires. Au vu de cela, nous considérons que la source d'énergie utilisée pour le chauffage par les ménages consommant le gaz mais ne le déclarant pas comme source d'énergie pour le chauffage est bien le gaz.

Il est à noter que le secteur social est particulièrement concerné par le manque de données, les ménages qui y résident étant locataires et se caractérisant par un fort recours au chauffage collectif. Les statistiques montrent que 44% des ménages du secteur social utilisant un chauffage collectif ne connaissent ni leur consommation ni leur dépense énergétique domestique. Au vu de cela, le travail de recherche et de récupération des informations présenté ci-avant est particulièrement important car il permet de réduire la perte d'observations relatives aux logements sociaux équipés par des chauffages collectifs. Le Tableau 2.2 montre la répartition des ménages locataires selon le statut d'occupation du logement et le mode de chauffage dans les échantillons obtenus avec et sans travail de récupération de l'information (après nettoyage). Nous rendons ainsi compte du gain de représentativité engendré par ce travail.

TABLEAU 2.2 – La répartition des ménages locataires selon le statut d’occupation du logement et le mode de chauffage

	Base brute		Sans récupération d’information		Avec récupération d’information	
	Mode de chauffage		Mode de chauffage		Mode de chauffage	
	Individuel	Collectif	Individuel	Collectif	Individuel	Collectif
Locataire du secteur social	479 (59%)	335 (41%)	455 (71%)	188 (29%)	461 (68%)	214 (32%)
Locataire du secteur libre	731 (84%)	142 (16%)	711 (94%)	44 (6%)	712 (94%)	49 (6%)

Les erreurs de codage :

La base de données contient des questions dont les réponses sont oui ou non. Certaines de ces questions ne sont pas destinées à tous les ménages. Par exemple, les questions concernant l’énergie utilisée par le chauffage individuel de type chaudière ne sont pas destinées aux ménages qui ne disposent pas de ce système de chauffage. En toute logique, pour ces ménages, ces variables doivent afficher des valeurs manquantes. Cependant dans la base, ces variables prennent la valeur 0 quand elles doivent afficher une valeur manquante. Pour passer outre ce problème, nous créons de nouvelles variables qui prennent les modalités 1 ou 0 pour les ménages auxquelles les questions sont destinées et des valeurs manquantes pour ceux auxquelles les questions ne sont pas destinés. Cela est réalisé grâce à un fastidieux travail de recouplement d’informations.

Base DPE

Le diagnostic de performance énergétique (DPE) a pour objectif de renseigner sur la performance énergétique d’un logement, sa consommation énergétique et son impact en terme d’émissions de gaz à effet de serre. Il indique, suivant les cas, soit la quantité d’énergie effectivement consommée sur la base de factures, soit la consommation d’énergie estimée pour une utilisation standardisée du logement. Afin de faciliter sa lecture, deux étiquettes énergétiques sont mises en place, l’une correspondant à la consommation énergétique et l’autre à l’impact environnemental. Ces étiquettes classent le logement en 7 catégories, la catégorie A étant celle des logements les plus performants et G celle des logements qui le sont le moins.

Diverses méthodes de calcul du DPE sont utilisées et leurs résultats sont présentés dans la base. Nous gardons la méthode conventionnelle de calcul (TROIS-CL-DPE) car c’est la méthode la plus reconnue.

Les informations présentes dans la base sont uniquement relatives au calcul des DPE par les différentes méthodes. Les informations concernant les autres caractéristiques des logements diagnostiqués et les ménages qui les occupent doivent être récupérées de la base CLODE.

Le problème majeur rencontré après la récupération des informations de la base CLODE est le manque de données concernant le statut d’occupation du logement, la variable lui étant dédiée affichant une valeur manquante pour plus de 200 ménages.

Après le nettoyage de la base, il reste à notre disposition des observations relatives à 1368

ménages.

2.4 La représentativité des échantillons après le nettoyage des bases :

Le travail de nettoyage effectué sur les trois bases de données a fait chuter le nombre d'observations. Cela est plus remarquable pour la base BDF, 55% des observations y figurant ayant dû être supprimées (de 10342 à 4603 ménages), contre 25% pour la base CLODE (de 5400 à 4018 ménages) et 43% pour la base DPE (de 2390 à 1368 ménage). Afin de vérifier la représentativité des échantillons, nous comparons dans un premier temps les caractéristiques de chacun d'eux avec celles des bases dont ils ont été tirés, puis dans un second temps, nous les comparons entre eux. Ces comparaisons nous permettent d'un coté de vérifier si les échantillons ne perdent pas trop en représentativité et de l'autre, s'ils sont comparables entre eux. Quelques caractéristiques des bases brutes et des échantillons qui en sont tirés sont présentés dans les Tableaux 2.3 et 2.4.

La comparaison entre les bases brutes et les échantillons qui en sont tirés montrent que le seul bémol concerne les parts du chauffage collectif et individuel. En effet, les logements équipés d'un chauffage collectif sont sous-représentés dans les échantillons, particulièrement dans celui issu de BDF. Le Tableau 2.3 montre que les logements équipés par un chauffage collectif représentent respectivement 17%, 14% et 12% dans BDF, CLODE et DPE avant le nettoyage et respectivement 2%, 8% et 7% dans les échantillons qui en sont tirés.

Par ailleurs, les chiffres figurant dans le Tableau 2.4 montrent que les trois échantillons présentent des caractéristiques comparables, sauf en ce qui concerne l'année de construction. En effet, dans les échantillons tirés de BDF et CLODE, 27% des logements sont construits avant 1945 contre 3% dans l'échantillon tiré de DPE (Cf. Tableau 2.4).

2.5 Statistiques descriptives :

Les tableaux 2.3 et 2.4 présentent les statistiques décrivant les caractéristiques des logements, des ménages et des chauffages tirées des trois échantillons présentés ci-avant.

TABLEAU 2.3 – Les caractéristiques des logements, des ménages et des chauffages en France

	Base initiale			Échantillon		
	BDF	CLODE	DPE	BDF	CLODE	DPE
Type de logement						
Maison individuel	66%	66%	70%	78%	70%	74%
Logement collectif	34%	34%	30%	22%	30%	26%
Zone climatique						
Zone froide	51%	60%	58%	46%	60%	57%
Zone modérée ou chaude	49%	40%	42%	54%	41%	43%
Nombre de pièces						
Une seule ou deux pièces	14%	13%	8%	10%	12%	7%
Trois pièces	20%	22%	17%	16%	21%	17%
Quatre pièces	26%	29%	33%	26%	30%	34%
Cinq pièces ou plus	40%	36%	42%	48%	37%	43%
Statut d'occupation						
Locataire Hlm	16%	15%	13%	7%	15%	13%
Propriétaire	62%	65%	74%	75%	69%	77%
Locataire Libre	17%	16%	10%	19%	16%	10%
Autre	5%	4%	3%			
Nombre de personne						
Une personne	30%	27%	22%	25%	25%	20%
Deux personnes	34%	36%	37%	37%	37%	37%
Trois personnes	15%	16%	16%	15%	16%	17%
Quatre personnes ou plus	21%	22%	26%	23%	22%	26%
Age de la PR						
Moins de 35 ans	17%	11%	8%	13%	10%	8%
De 35 à 44 ans	18%	17%	18%	19%	17%	18%
De 45 à 54 ans	21%	21%	21%	22%	21%	21%
De 54 à 64 ans	20%	23%	27%	21%	24%	27%
Plus de 65 ans	25%	27%	26%	25%	26%	25%
Mode de chauffage						
Chauffage individuel	83%	86%	88%	98%	92%	93%
Chauffage collectif	17%	14%	12%	2%	8%	7%
Énergie chauffage						
Électricité	33%	31%	34%	41%	35%	37%
Fioul	18.5%	16%	14%	18%	14%	13%
Gaz	37%	39%	41%	31%	40%	41%
ER	11%	10%	8%	10%	10%	9%
Autre		1%	2%			
Système de régulation						
Centralisé		38%	43%		41%	46%
Individualisé		37%	36%		37%	37%
Aucun système		25%	20%		22%	17%

TABLEAU 2.4 – Les caractéristiques des logements, des ménages et des chauffages en France

	Base initiale		Échantillon		Base initiale		Échantillon	
	CLODE	DPE	CLODE	DPE	CLODE	DPE	CLODE	DPE
Année de construction								
Avant 1919	16%	2%	17%	2%			26%	27%
1919 à 1945	9%	1%	10%	1%			10%	9%
1946 à 1970	22%	25%	20%	23%	Année de construction		5%	4%
1971 à 1990	31%	43%	31%	43%	1948 ou avant		11%	9%
1991 à 2005	15%	21%	17%	22%	1949 à 1961		12%	13%
2006 et après	7%	8%	7%	9%	1962 à 1967		10%	12%
					1968 à 1974		8%	9%
					1975 à 1981		7%	9%
					1982 à 1989		6%	8%
					1990 à 1998			
					1999 à 2003			
					2004 et après			
Taille de l'unité urbaine					Taille de l'unité urbaine			
Commune rurale	26%	21%	26%	20%	Commune rurale		26%	29%
De 2 000 à 4 999 habitants	9%	8%	9%	8%	De 2000 à 9999 habitats		11%	13%
De 5 000 à 9 999 habitants	4%	4%	4%	4%	De 10000 à 49999 habitats		11%	12%
De 10 000 à 19 999 habitants	6%	7%	7%	7%	De 50000 à 199999 habitats		13%	13%
De 20 000 à 49 999 habitants	7%	7%	8%	8%	De 200 000 à 1000000 habitats		25%	23%
De 50 000 à 99 999 habitants	5%	6%	6%	6%	Agglomération de paris		14%	10%
De 100 000 à 199 999 habitants	5%	6%	5%	6%				
De 200 000 à 1 999 999 habitants	22%	26%	23%	27%	Zone de logement			
Unité urbaine de Paris	15%	15%	13%	12%	Region parisienne		10%	6%
Classe énergétique					Bassin parisienne		24%	24%
A+B		3%		3%	Nord		7%	6%
C		15%		15%	Est		9%	10%
D		29%		30%	Ouest		15%	18%
E		30%		30%	Sud-ouest		12%	13%
F+G		23%		22%	Centre-est		11%	10%
					Méditerranée		12%	12%

2.5.1 Les caractéristiques des logements

Le type de logement (Maison individuelle - logement dans un immeuble collectif) : la grande majorité des logements en France sont des maisons individuelles. D'après les statistiques descriptives, celles-ci représentent respectivement 78%, 70% et 74% de l'ensemble des logements en France dans les échantillons BDF, CLODE et DPE.

La taille du logement : 74%, 67% et 77% des logements en France se composent de quatre pièces ou plus respectivement dans les échantillons BDF, CLODE et DPE. La surface moyenne des logements pour ces trois échantillons est respectivement $106m^2$, $101m^2$ et $105m^2$.

L'année de construction des logements : d'après les échantillons BDF et CLODE, presque la moitié des logements en France ont été construits avant la première réglementation thermique (1974). Ce résultat va dans le sens d'une étude effectuée par ADEME (2015)⁸. En revanche, seuls 26% des logements constituant l'échantillon DPE le sont également. Cela se justifie par le fait que la plupart des ménages ayant accepté de faire un diagnostic de performance énergétique occupent des logements récents. Par conséquent, en ce qui concerne l'année de construction, il ne faut pas prendre en considération la statistique tirée de l'échantillon DPE. (Cf. Tableau 2.4).

La classe énergétique des logements : Cette variable figure uniquement dans la base DPE. 3% des logements qui la constituent ont les étiquettes énergétiques A ou B, 45% d'entre eux ont les étiquettes C ou D et 52% ont les étiquettes E, F ou G. Comme la base DPE contient uniquement des logements récents, ces statistiques doivent être interprétés avec précaution. L'étude de ADEME (2015) citée ci-avant met en exergue des chiffres très proches des nôtres : pour 5% des logements en France les étiquettes énergétiques sont A ou B, pour 50% d'entre eux les étiquettes sont C ou D et les 45% restant ont des étiquettes E, F ou G.

2.5.2 Les caractéristiques des ménages

Le statut d'occupation du logement : les ménages français sont majoritairement propriétaires de leur logement. Ces derniers représentent 75%, 69% et 77% des ménages respectivement dans les échantillons BDF, CLODE et DPE. Le tableau 2.3 montre la distribution des ménages selon le statut d'occupation de leur logement. Comme nous l'avons montré précédemment, nous trouvons que les ménages HLM sont sous représentés dans l'échantillon BDF par rapport aux autres échantillons (7%, 15% et 13% respectivement dans les échantillons BDF, CLODE et DPE).

La taille du ménage : les ménages français sont en général de petite taille. 62%, 62% et 57% d'entre eux se composent d'une ou deux personnes respectivement dans les échantillons BDF, CLODE et DPE.

8. 54% des logements en France ont été construits avant la première réglementation thermique

L'âge de la personne de référence du ménage : pour quasiment la moitié des ménages, l'âge de la personne de référence est supérieur à 54 ans. (Cf. Tableau 2.3).

2.5.3 Les caractéristiques des équipements de chauffage

Mode de chauffage : comme nous avons perdu un grand nombre de logements ayant recours au chauffage collectif lors du nettoyage des bases, nous présentons ici à la fois les statistiques en rapport avec le mode de chauffage tirées des bases initiales et celles tirées des échantillons. Dans les deux cas, les chiffres montrent que le chauffage individuel est largement plus utilisé que le chauffage collectif. En effet, les logements sont équipés de chauffages individuels dans plus de 83% des cas d'après les bases initiales (Base BDF : 83% - Base CLODE 86% - Base DPE : 88%) et dans plus de 92% des cas d'après les échantillons (échantillon BDF : 98% - échantillon CLODE : 92% - échantillon DPE : 93%) .

Énergie utilisée pour le chauffage : plusieurs sources d'énergie peuvent être utilisées pour le chauffage en France. Les sources les plus utilisées sont l'électricité et le gaz. 41%, 35% et 37% des logements respectivement dans les échantillons BDF, CLODE et DPE utilisent l'électricité comme une source d'énergie pour se chauffer contre 31%, 40% et 41% des logements respectivement dans les échantillons BDF, CLODE et DPE qui utilisent le gaz. Les énergies renouvelables sont peu utilisées pour se chauffer (Cf. Tableau 2.3). Ces chiffres sont très proches de ceux publiés par ADEME (2013)⁹

Le chauffage secondaire : les informations concernant les chauffages secondaires sont disponibles uniquement dans la base CLODE. Les analyses effectuées sur l'échantillon qui en est tiré montrent que 70% des ménages français utilisent un seul chauffage (chauffage principal) et que 30% d'entre eux utilisent au moins un chauffage secondaire de façon régulière (23% des ménages) ou exceptionnelle (7% des ménages).

L'énergie utilisée pour le chauffage secondaire : en général les sources d'énergie utilisées pour le chauffage secondaire se répartissent entre l'électricité (49%) et le bois (37%).

Le système de régulation du chauffage : les ménages qui ne disposent pas d'un système de régulation pour le chauffage représentent 22% et 17% des ménages respectivement dans les bases CLODE et DPE, 37% d'entre eux (dans ces deux bases) disposant d'un système de chauffage individualisé et 41% (CLODE) ou 46% (DPE) d'un système centralisé.

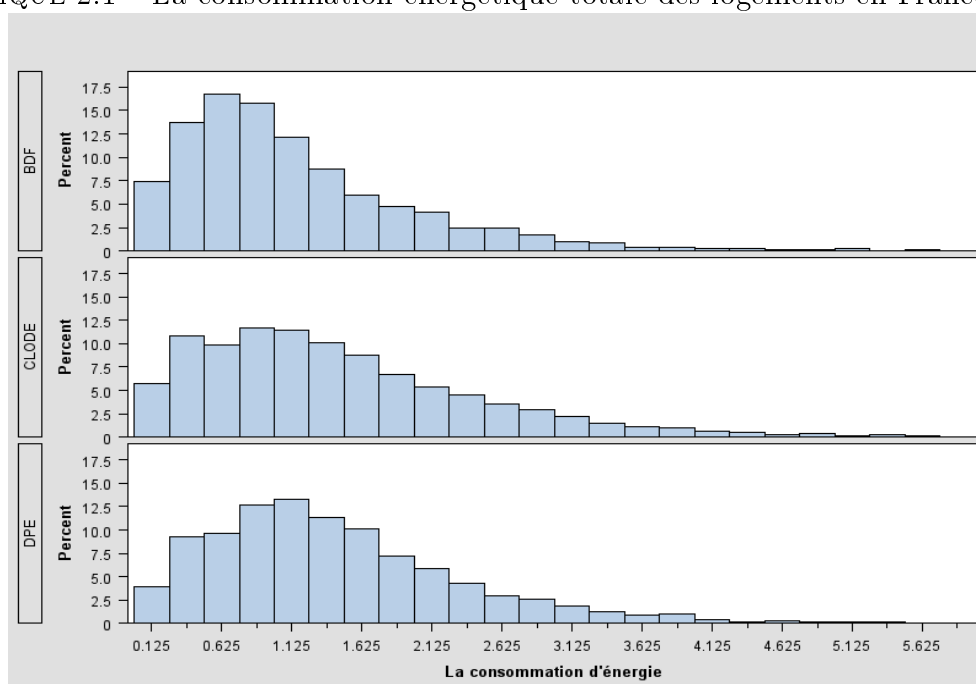
9. 44% des logements utilisent le gaz suivi par l'électricité avec 33% des logements puis le fioul avec 14%

2.5.4 Les niveaux de la consommation et de la dépense énergétiques

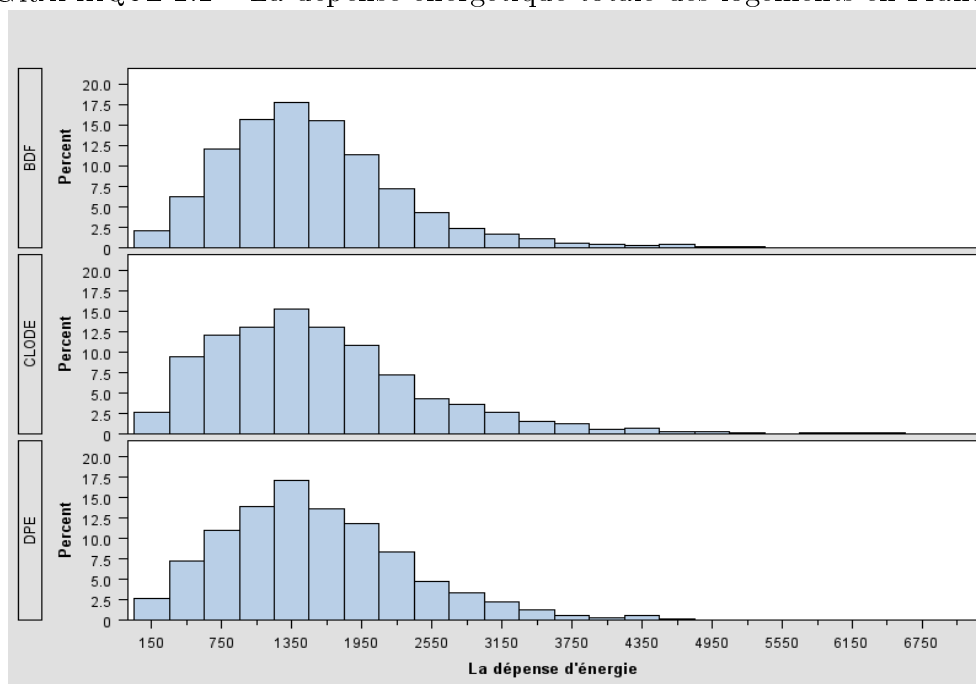
En moyenne, un ménage français consomme 1.164 (base BDF), 1.514 (base CLODE) ou 1.453 (base DPE) TEP d'énergie par ans et dépense 1526 (base BDF), 1611 (base CLODE) ou 1580 (base DPE) euros par ans pour sa consommation énergétique. Ces chiffres sont similaires à ceux figurant dans DENJEAN (2015) (consommation énergétique annuelle moyenne : 1.505 TEP - dépense annuelle moyenne : 1622 euros) et dans ADEME (2013) (consommation annuelle moyenne : 1.424 TEP). Les niveaux de consommation tirés de la base BDF sont globalement plus faibles que ceux tirés des deux autres bases. Il y a plusieurs explications à cela. La première est que les bases résultent d'enquêtes réalisées pendant deux années différentes. Les aléas climatiques et les prix de l'énergie varient d'une année sur l'autre, ce qui peut expliquer cette différence. La seconde explication se trouve dans les différences de caractéristiques des observations constituant les bases. En effet, la base BDF n'étant pas orientée "consommation énergétique domestique", elle ne contient pas l'information relative à la quantité d'énergie consommée par les ménages. Celle-ci a été calculée à partir de leur dépense énergétique. Par ailleurs, l'échantillon de la base BDF restant après son nettoyage ne contient pas de logements équipés de chauffages collectifs, ce qui peut-être a tiré les statistiques qui en sont issues vers le bas.

Les graphiques 2.1 et 2.2 montrent la distribution des consommations et celle des dépenses énergétiques pour les trois échantillons.

GRAPHIQUE 2.1 – La consommation énergétique totale des logements en France en TEP



GRAPHIQUE 2.2 – La dépense énergétique totale des logements en France



2.5.5 Les niveaux de la consommation et de la dépense énergétiques par source d'énergie

Les consommations et dépenses annuelles par source d'énergie sont présentée dans le Tableau 2.5. Il montre que, du côté de la dépense, il y a une nette hiérarchie entre l'électricité, pour laquelle la dépense est nettement plus importante, suivie par le gaz, puis le fioul, les énergies renouvelables étant de loin les plus économes. Du côté de la consommation, nous retrouvons à peu près la même hiérarchie. Néanmoins, les valeurs sont plus resserrées et la hiérarchie entre gaz et fioul est moins nette.

TABLEAU 2.5 – La consommation et la dépense annuelles moyenne par source d'énergie

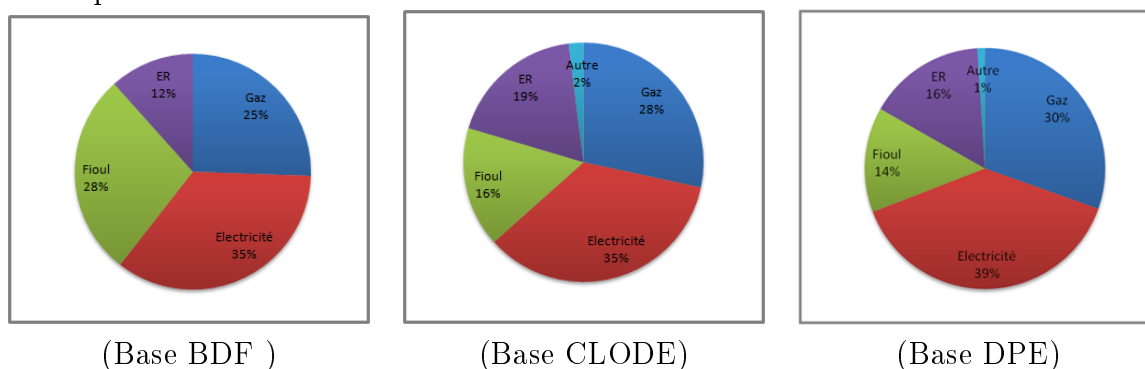
	Consommation en (TEP)			Dépense (En euros)		
	BDF	CLODE	DPE	BDF	CLODE	DPE
Électricité	0,407	0,530	0,560	835	810	829
Gaz	0,298	0,429	0,440	366	414	427
Fioul	0,324	0,244	0,204	267	268	222
ER	0,135	0,278	0,228	58	65	61

Que ce soit pour les quantités consommées ou pour les dépenses, les chiffres que nous avons calculés sont très proches de ceux mis en évidence par DENJEAN (2015). En effet, dans ce papier les auteurs trouvent que la consommation annuelle moyenne d'électricité d'un ménage est 0,528 TEP pour un coût de 811 euros, celle du gaz est 0.431 TEP pour un coût de 410 euros

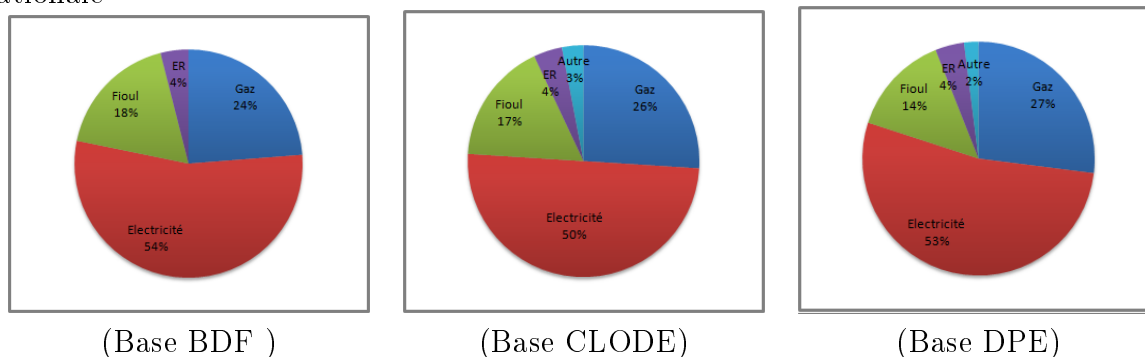
et celle du fioul est 0.261 TEP pour un coût de 260 euros.

A l'échelle nationale, la source d'énergie qui engendre la plus grande consommation énergétique domestique est l'électricité (35% de la consommation énergétique domestique totale selon 35% BDF - 35 % CLODE - 39% DPE), suivie par le gaz (25% BDF - 28% CLODE - 30 % DPE), puis le fioul et enfin les ER. Ces chiffres sont proches de ceux de DENJEAN (2015) ¹⁰. Côté dépenses, le classement des sources est similaire à celui de la consommation mais les proportions sont différentes. L'électricité représente plus de 50% de la dépense énergétique domestique nationale, suivie par le gaz avec plus de 25% puis le fioul, puis les ER. Les figures 2.3 et 2.4 rendent compte des parts de chaque source d'énergie dans la consommation et de la dépense énergétique domestique en France. Celles-ci sont calculées à partir des échantillons BDF, CLODE et DPE.

GRAPHIQUE 2.3 – Part de chaque source d'énergie dans la consommation énergétique domestique nationale



GRAPHIQUE 2.4 – Part de chaque source d'énergie dans la dépense énergétique domestique nationale



10. Dans ce papier l'électricité représente 35% de la consommation énergétique totale, le gaz représente 29.7% et le fioul 15.4%

2.6 Analyse factorielle et classification des logements :

La situation de la France en termes d'utilisation de l'énergie pour le chauffage découle d'un enchevêtrement complexe de facteurs économiques, géographiques et sociaux. Une analyse statistique unidimensionnelle permettrait certes de résumer l'information recueillie sur chaque facteur pris isolément, mais elle ne fournit ni une description des interrelations entre ces facteurs, ni l'information concernant l'impact de ces interrelations sur l'usage de l'énergie dans le pays.

Afin de révéler ces interrelations et de dégager une structuration cohérente du parc résidentiel français basée sur les sources d'énergie utilisées pour le chauffage et sur la consommation énergétique domestique, le recours à une méthode d'analyse factorielle s'impose.

L'objectif ici est de construire, à partir des données dont nous disposons, un nuage de points représentant les logements dans un espace à n dimensions ($n \gg 3$) ; et de projeter ce nuage sur le sous-espace à deux dimensions qui restitue au mieux sa forme géométrique et la proximité entre ces points.

L'espace dans lequel le nuage est représenté est construit à partir de l'ensemble des informations contenues dans le tableau de données. Chacune des dimensions correspond à un axe factoriel expliquant une part de l'inertie totale présente dans les données. Une fois les axes factoriels obtenus, chaque individu se voit attribuer des coordonnées qui déterminent sa position par rapport à ces axes. De ce fait, les caractéristiques de chaque individu ou de chaque groupe d'individus se déduisent directement de sa position.

Une fois la projection du nuage de points sur le sous-espace à deux dimensions obtenue, le but du jeu est d'en dégager des groupes homogènes et de relever les différences de caractéristiques entre ces groupes. En pratique cependant, il n'est possible de caractériser de façon claire et précise des groupes qu'à partir de la lecture du graphique en deux dimensions que dans des cas rares. Pour cela, nous poursuivons notre analyse factorielle par une classification ascendante hiérarchique, que nous effectuons en nous basant sur les coordonnées des individus dans l'espace factoriel. Cette classification nous permet de déterminer le nombre de groupes adéquats selon lequel la population des logements doit être segmentée, d'affecter chaque logement à un groupe et de donner les caractéristiques de chaque groupe.

La combinaison de l'analyse factorielle et de la classification ascendante hiérarchique donne au final un graphique en deux dimensions dans lequel chaque logement est représenté par un point dont la couleur est déterminée en fonction du groupe auquel il appartient, ce qui permet une bien meilleure lisibilité. Ce graphique illustrera l'existence de l'interdépendance entre le choix de la source d'énergie pour le chauffage et l'utilisation qui en est prévu. L'explicitation des fondements micro-économique de cette interdépendance sont développés dans le premier chapitre.

Il est à noter que nous ne présentons ici que les résultats de l'analyse factorielle et de la classification effectuées en recourant à la base CLODE nettoyée, celle-ci étant la plus représentative et celle qui contient le plus d'informations.

2.6.1 Analyse factorielle via la méthode des correspondances multiples

Différentes méthodes pour effectuer une analyse factorielle existent. Le choix entre ces méthodes est dicté par la nature des données disponibles. Ici, les variables qui contiennent l'information qui nous intéresse sont toutes qualitatives à l'exception de la quantité d'énergie consommée dans le logement. De ce fait, nous créons à partir de celle-ci une nouvelle variable qualitative qui classe les logements en 4 catégories en fonction de la quantité d'énergie consommée, du moins consommateur au plus consommateur. Nous effectuons ensuite une analyse des correspondances multiples.

Liste des variables actives

Pour cette analyse, nous choisissons comme variables actives intervenant dans le calcul des axes celles que nous présentons dans le Tableau 2.6¹¹.

TABLEAU 2.6 – Liste des variables actives

Les caractéristiques du chauffage	Les caractéristiques des logements
Energie utilisée pour le chauffage	La localisation du logement
Electricite = Electricité	Zone_froide = Zone froide
Gaz = Gaz	Zone_chaude = Zone chaude
FMP = Fioul, mazout et pétrole	
ER = Energie renouvelable	La taille du logement
	Pieces1 = "une ou deux pièce"
Système de régulation pour le chauffage	Pieces2 = "trois pièces"
Sys_Centralise = Système centralisé	Pieces3 = "quatre pièces"
Sys_Individualise = Système individualisé	Pieces4 = "cinq pièces ou plus" ;
Aucun_sys = Aucun système	
	L'année de construction du logement
Mode de chauffage	Annee = Avant 1919
Chauf_ind = 'chauffage individuel'	Annee1 = 1919 à 1945
Chauf_col = 'chauffage collectif' ;	Annee2 = 1946 à 1970
	Annee3 = 1971 à 1990
Chauffage secondaire	Annee4 = 1991 à 2005
Oui_chauf_secondaire= ' utilisation de chauffage secondaire '	Annee5 = 2006 et après
Non_chauf_sec= ' Pas de chauffage secondaire'	
	Le Type de logement
Consommation énergétique totale	Log_col = Logement individuel
Consom_energ < 0.7148 TEP	Log_ind = Logement collectif
Consom_energ1 entre 0.7148 et 1.2714 TEP	
Consom_energ2 entre 1.2714 et 2.0180 TEP	Taille de l'unité urbaine
Consom_energ3 > 2.0180 TEP	Rurale = Commune rurale
	Urbain = De 2 000 à 4 999 habitants
	Urbain1 = De 5 000 à 9 999 habitants
	Urbain2 = De 10 000 à 19 999 habitants
	Urbain3 = De 20 000 à 49 999 habitants
	Urbain4 = De 50 000 à 99 999 habitants
	Urbain5 = De 100 000 à 199 999 habitants
	Urbain6 = De 200 000 à 1 999 999 habitants
	Urbain_Paris = unité urbaine de Paris

Le choix de ces variables comme actives dans le calcul des axes factoriels se justifie par le

11. Il s'agit de variables Dummy : Si un logement remplit le critère décrit par une variable, la valeur de cette variable pour ce logement est 1. Sinon sa valeur est 0.

fait qu'elles fournissent d'une part les informations quant aux besoins des logements en terme de chauffage et de l'autre, des proxy pour les différentiels des coûts d'investissement relatifs au recours à chacune des sources d'énergie pouvant être utilisées à cet effet.

- Les variables relatives à la taille du logement et aux caractéristiques climatiques de la zone dans laquelle il se situe traduisent son besoin de chauffage. Cela peut avoir un impact sur le choix des équipements utilisés à cet effet. En effet, un logement spacieux et situé dans une zone froide est susceptible d'être équipé d'un chauffage fonctionnant avec une énergie peu chère, le montant investi pour ce faire pouvant être remboursé dans des délais assez courts. En revanche, un logement de petite taille situé dans une zone peu froide est plutôt susceptible d'être équipé d'un chauffage électrique car en dépit du prix élevé de l'électricité en comparaison avec les autres sources, il s'agit de celle qui nécessite l'investissement le moins coûteux en terme d'équipements.
- Les variables relatives à la taille de l'unité urbaine sont importantes pour deux raisons. La première est qu'elles constituent un proxy relativement satisfaisante de l'information sur les politiques d'aménagement du territoire en matière de raccordement aux réseaux de chaleur. En effet, historiquement, dans les grandes unités urbaines, en particulier dans les zones froides (Nord, Est et région parisienne), les acteurs publics ont agi de sorte à ce que les logements qui s'y localisent soient facilement « raccordables » au réseaux de gaz de ville. Cela n'a pas été le cas dans les petites unités urbaines et dans les zones rurales pour des questions évidentes de coûts et de rentabilité.

La deuxième raison qui justifie le recours à ces variables est la différence entre les prix de l'immobilier et du foncier dans les grandes et les petites unités, et les conséquences qui peuvent découler de cette différence. En fait, les énergies renouvelables nécessitent des équipements qui consomment de l'espace, particulièrement pour le stockage. Ceci les rend difficilement compatibles avec l'habitat dans les grandes unités urbaines où les logements sont majoritairement des appartements et où le prix de l'immobilier est très élevé. En revanche, ces énergies sont très compatibles avec les petites unités urbaines et les zones rurales car le prix du foncier est faible et les logements souvent spacieux avec des terrains, ce qui permet un stockage plus simple et plus abordable financièrement.

- Les variables relatives au type de logement et au système de chauffage renseignent sur la facilité pour les occupants de changer les équipements de chauffage. Les ménages qui résident dans des maisons individuelles ont naturellement plus de facilités techniques, administratives et réglementaires que ceux qui résident dans des appartements ou dans des immeubles qui en comptent plusieurs. Pareillement, les ménages qui résident dans un logement avec un chauffage individuel jouissent d'une liberté dont ceux qui résident dans un logements équipé d'un chauffage collectif sont dépourvus.
- Les variables relatives à l'année de construction sont importantes pour deux raisons. Premièrement, elles absorbent les attitudes des promoteurs immobiliers, des acteurs publics

et des ménages en termes de choix énergétiques pour le chauffage avant et après les deux chocs pétroliers. Deuxièmement, elles rendent compte de l'intérêt grandissant des décideurs publics envers la question écologique. Celui-ci s'est traduit par un durcissement graduel des normes de construction au fil des réglementations thermiques successives. Il en résulte que les logements construits avant les réglementations les plus contraignantes ont plus de chances d'être équipés de chauffages ayant recours à des énergies moins propres que les logements construits après.

Liste des variables supplémentaires

Les variables supplémentaires n'interviennent pas dans le calcul des axes mais elles sont très utiles d'une part pour conforter leur interprétation et de l'autre pour mieux déduire les caractéristiques des "individus" par la simple lecture de la projection du nuage de points sur le sous-espace composé des deux premiers axes factoriels.

Les variables supplémentaires que nous avons choisies dans cette analyse sont présentées dans le Tableau 2.7. Elles relèvent des caractéristiques des ménages et non de celles des logements. Nous les avons sélectionnées ici car l'objectif est d'avoir une information (Un peu vague certes) quant aux caractéristiques des ménages dont les logements appartiennent à tel ou à tel groupe, à partir d'une lecture rapide du graphique de la projection du nuage de points. Ces caractéristiques impactent le rapport des ménages à la consommation énergétique domestiques que ce soit en matière de choix d'équipements ou en matière de quantité consommée (Cf. chapitre 1).

TABLEAU 2.7 – Liste des variables supplémentaires

L'âge de la PR du ménage
Age = 'moins ds 35 ans'
Age1 = 'de 35 à 44 ans'
Age2 = 'de 45 à 55 ans'
Age3 = 'de 60 à 65 ans'
Age4 = 'plus de 65 ans'
La taille du ménage
Personne = "une personne"
Personne1 = deux personne
Personne2 = trois personnes
Personne4 = Quatre personnes ou plus
Statut d'occupation du logement
Propriétaires = Propriétaires
Loc_Social = locataires HLM
Loc_Libre = locataires prive
Revenu du ménage
Revenu = < 17500
Revenu1 = entre 17500 et 29000
Revenu2 = entre 29000 et 44000
Revenu3 = > 44000

Contributions des variables actives dans le calcul des trois premiers axes factoriels

Le Tableau 2.8 donne la part de l'inertie totale expliquée par chacun des axes factoriels. Les 9 premiers axes expliquent en cumulé à peine plus de 50% de l'inertie totale, ce qui témoigne de

la complexité des interrelations entre l'ensemble des facteurs.

TABLEAU 2.8 – Décomposition de l'inertie et du Khi-2

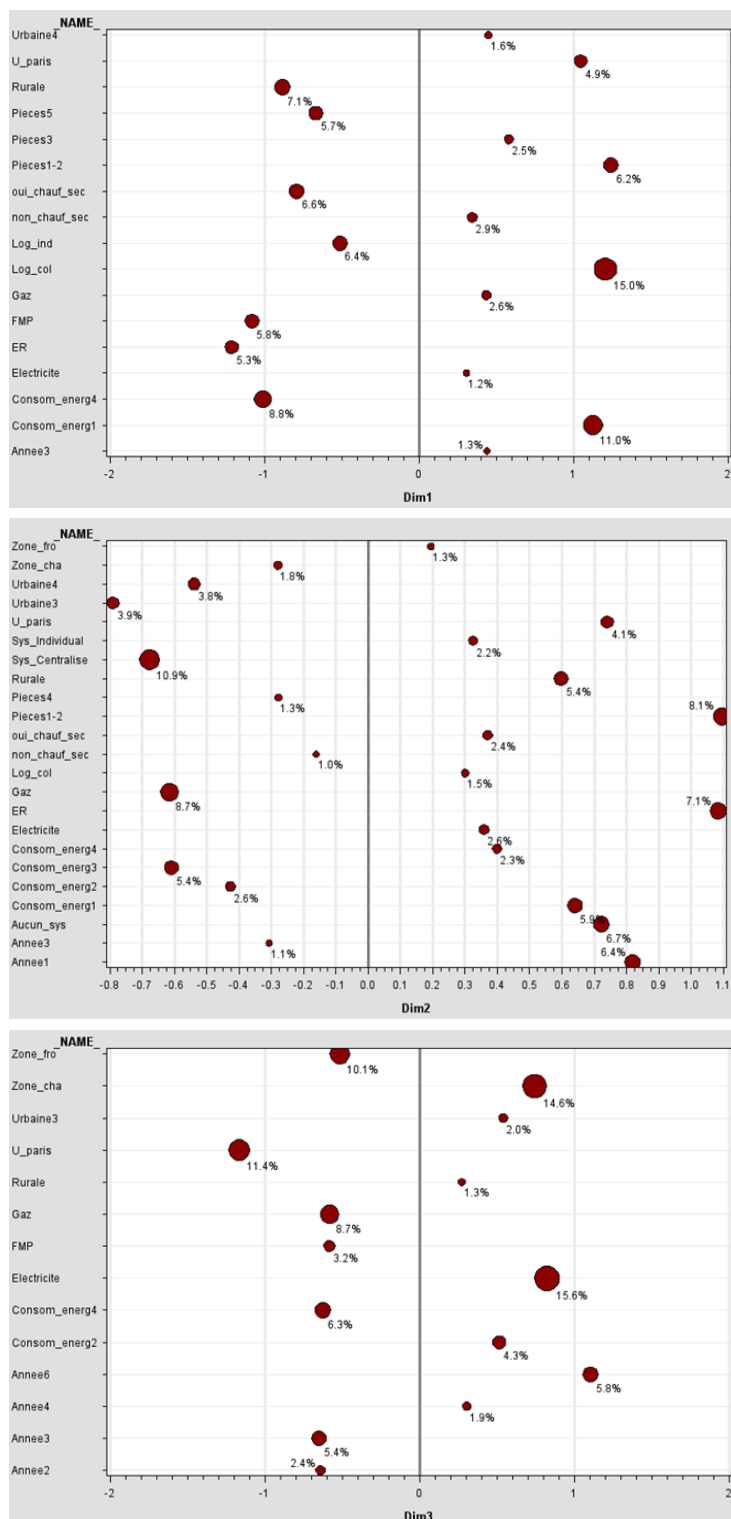
Valeur singulière	Inertie principale	Khi 2	Pourcentage	Pourcent. cumulé	3 6 9 12 15
0.56653	0.32096	12931	12.03	12.03	*****
0.43882	0.19256	7758	7.22	19.25	*****
0.41507	0.17228	6941	6.46	25.71	*****
0.38671	0.14954	6025	5.61	31.32	*****
0.35781	0.12803	5158	4.80	36.12	*****
0.35098	0.12319	4963	4.62	40.74	*****
0.34493	0.11898	4793	4.46	45.20	*****
0.33945	0.11523	4642	4.32	49.52	*****
0.33724	0.11373	4582	4.26	53.78	*****
0.33571	0.11270	4540	4.23	58.01	*****
0.32957	0.10862	4376	4.07	62.08	*****
0.32625	0.10644	4288	3.99	66.07	*****
0.32486	0.10553	4252	3.96	70.03	*****
0.32067	0.10283	4143	3.86	73.88	*****
0.31998	0.10238	4125	3.84	77.72	*****
0.30905	0.09551	3848	3.58	81.30	*****
0.29564	0.08740	3521	3.28	84.58	*****
0.28206	0.07956	3205	2.98	87.56	*****
0.26761	0.07161	2885	2.68	90.25	****
0.25941	0.06729	2711	2.52	92.77	****
0.25113	0.06307	2541	2.36	95.14	****
0.21955	0.04820	1942	1.81	96.94	***
0.20926	0.04379	1764	1.64	98.58	***
0.19396	0.03762	1516	1.41	99.99	**
0.01215	0.00015	6	0.01	100.00	
Total	2.66722	107454	100.00		

Degrés de liberté 143232

Pour faciliter la lecture des graphiques obtenus à l'issue de l'analyse factorielle et de la classification ascendante hiérarchique présentée dans la prochaine sous-section, nous rendons compte des contributions des variables actives les plus contribuant à chacun des 3 trois premiers axes factoriels. Les graphiques de la figure 2.5 illustrent ces contributions. Il en ressort que :

- Le premier axe factoriel explique 9.80% de la variation totale. D'un côté de l'axe nous trouvons les maisons individuelles, spacieuses, situées en zone rurale et dans lesquelles le chauffage est au fioul ou aux énergies renouvelables; un chauffage secondaire est utilisé et la consommation énergétique est élevée. De l'autre côté de l'axe, nous trouvons les

GRAPHIQUE 2.5 – La contribution des modalités représentées sur les trois premiers axes (seuil de 1%)



appartements, de taille petite ou moyenne, situés dans les grandes unités urbaines et dans lesquels le chauffage est au gaz ou à l'électricité et la consommation énergétique

faible.

- Le deuxième axe factoriel explique 8.40% de la variance totale. D'un côté de l'axe nous trouvons les logements spacieux, situés dans les moyennes ou grandes unités urbaines, équipés de chauffage au gaz et dans lesquelles la consommation énergétique est plus élevée que la moyenne. De l'autre côté de l'axe nous trouvons des logements situés en zone rurale ou en région parisienne. Il est à noter que les logements situés dans Paris diffèrent de ceux qui sont situés en zone rurale en terme d'énergie pour le chauffage, de surface et de consommation énergétique. Le poids de Paris fait que les chiffres figurant dans la partie droite de l'axe reflètent plus les caractéristiques des logements parisiens que celles des logements ruraux, ces différences apparaissant plus clairement à travers les contributions des variables dans le calcul du troisième axe.
- Le troisième axe factoriel explique 6.40% de la variance totale. Il apparaît à la lecture de la figure qui lui est relative que les logements situés dans Paris se détachent clairement de ceux qui se situent ailleurs dans le pays. Par ailleurs, cet axe sépare les logements plutôt anciens, situés en zone froide, équipés de chauffages au gaz ou au FMP et dont la consommation énergétique est élevée, des logements plutôt récents, situés une zone chaude, équipés de chauffages électriques et dont la consommation énergétique est dans la moyenne basse.

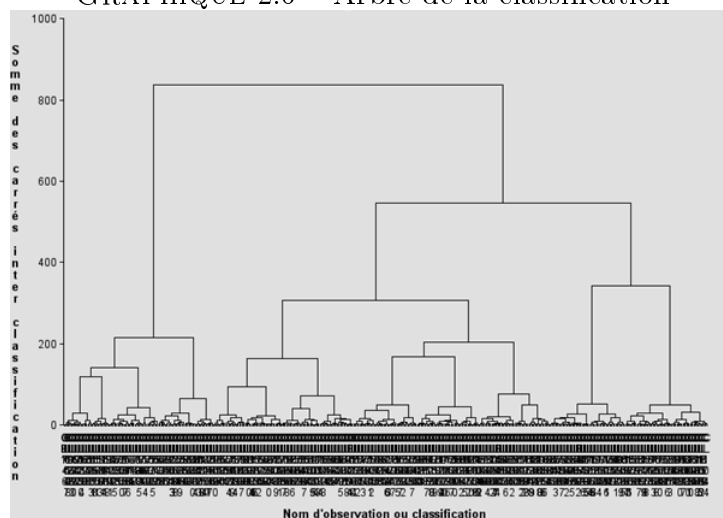
Cette analyse factorielle illustre bien les interrelations entre facteurs structurants de la consommation énergétique. Le niveau d'urbanisation apparaît comme un facteur essentiel, lui-même lié à la taille des logements, plus petits en zone urbaine, et au type de logement, les logements collectifs étant concentrés en zone urbaine. Elle fait également ressortir l'interdépendance entre le besoin énergétique des logements et les énergies avec lesquelles les systèmes de chauffage dont ils sont équipés fonctionnent. Les logements dont les besoins énergétiques sont élevés sont souvent équipés d'un système de chauffage fonctionnant avec une énergie peu chère et les logements dont les besoins sont faibles ont souvent recours à un chauffage fonctionnant à l'électricité, qui, rappelons-le, est la source d'énergie la plus chère. Cette interdépendance est conditionnée par la disponibilité des différentes sources ; une disponibilité elle-même fonction des spécificités de chaque territoire et de l'histoire des politiques menées pour son aménagement.

2.6.2 Classification ascendante hiérarchique

L'objectif ici est de répartir les logements dans des classes en nombre adéquat en fonction de leurs caractéristiques et de l'usage de l'énergie qui y est fait. Pour ce faire, nous considérons les neuf premiers axes de l'espace factoriel et nous calculons l'indice de dissimilarité entre les logements en recourant à leurs coordonnées sur ces axes et en utilisant la définition de Ward. La figure 2.6 montre le dendrogramme représentant les regroupements successifs. Il en ressort que les logements peuvent être regroupés en 3 ou en 5 classes. Nous commençons par détailler la

classification en 3 classes de sorte à avoir une image relativement globale avant de rentrer un peu plus dans le détail à travers la classification en 5 classes.

GRAPHIQUE 2.6 – Arbre de la classification



Classification en 3 groupes

Le Tableau 2.9 présente de façon résumée les caractéristiques des 3 classes obtenues. La caractérisation détaillée variable par variable et classe par classe est présentée dans les Tableaux 2.11 et 2.12 figurant en annexe. Cette caractérisation présente les modalités des variables sur et sous-représentées dans chaque classe et le résultat du test du Chi-2 justifiant la significativité statistique de l'écart entre la fréquence de chaque modalité de chaque variable dans chaque classe et la fréquence de cette même modalité dans l'ensemble de l'échantillon.

Enfin, la projection du nuage de points sur le sous-espace composé des deux premiers axes factoriels après affectation de chaque logement à l'un des 3 groupes (une couleur = un groupe) est présentée dans la figure 2.7. On voit très clairement que ces trois groupes sont caractérisés par leur position le long du premier axe vertical de l'analyse factorielle (axe des ordonnées du graphique).

Ci-après les caractéristiques de chaque classe :

- La première classe contient 24% des observations. Les logements de cette classe sont renseignés par des cercles bleus dans la figure 2.7 (Haut, plutôt à droite) et se situent du côté positif du premier axe de l'analyse factorielle. Cette classe regroupe les appartements de petite et de moyenne taille, situés dans les moyennes et les grandes unités urbaines et dans les zones climatiques froides. Le chauffage dans les logements de ce groupe fonctionne majoritairement à l'électricité ou au gaz. Les ménages qui les occupent sont globalement

locataires, jeunes, de petite taille, avec des revenus faibles ou moyens et une consommation énergétique faible.

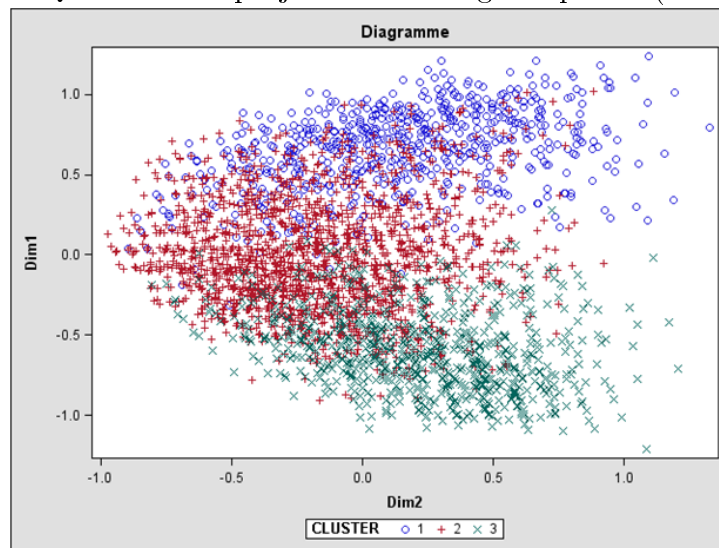
- La seconde classe contient 51% des observations. Les logements de cette classe sont renseignés par des signes plus rouges dans la figure 2.7 (Centre du graphique) et correspondent aux valeurs moyennes le long du premier axe de l'analyse factorielle. Cette classe regroupe les maisons individuelles de grande taille situées dans les petites et moyennes unités urbaines et dans les zones climatiques plutôt chaudes. Ces logements sont équipés par des chauffages électriques ou au gaz et sont occupés par des ménages âgés, propriétaires, de grande taille, aux revenus élevés et ayant une consommation énergétique moyenne.
- La troisième classe contient 25% des observations. Les logements de cette classe sont renseignés par des croix vertes dans la figure 2.7 (Bas, plutôt à droite). Ils se situent du côté négatif du premier axe de l'analyse factorielle, et donc en opposition aux logements de la première classe. Cette classe regroupe les maisons individuelles de grande taille situées dans les zones rurales et dans les zones climatiques froides. Ces logements sont équipés d'un chauffage au fioul ou aux énergies renouvelables et on y a recours souvent à un chauffage secondaire. Les ménages qui les occupent en sont généralement propriétaires, de grande taille, avec un revenu moyen et une consommation énergétique élevée.

Cette classification sépare d'une part les ménages locataires (secteur libre et secteur social) des ménages propriétaires et de l'autre les ménages propriétaires entre eux en fonction de l'énergie qu'ils utilisent pour le chauffage, avec d'un côté ceux qui résident dans des logements avec un chauffage électrique ou au gaz et de l'autre ceux qui résident dans des logements avec un chauffage au fioul ou aux énergies renouvelables.

TABLEAU 2.9 – Caractérisation des trois classes

	Groupe1 (24%)	Groupe2 (51%)	Groupe3 (25%)
Énergie utilisée pour le chauffage	Gaz	Électricité	ER
Niveau de la consommation énergétique	Électricité	Gaz	FMP
Type du logement	Faible consommation énergétique	Consommation énergétique moyenne-	Consommation énergétique élevée
Taille du logement	Logement collectif	Logement individuel	Logement individuel
Système de régulation pour le chauffage	une ou deux pièce	Quatre pièces	Cinq pièces ou plus
Année de construction	Trois pièces	Cinq pièces ou plus	Aucun système
	Aucun système de régulation	Centralisé	Avant 1919
	Entre 1946 et 1970	Après 2006	
	Entre 1991 et 2005	Entre 1971 et 1990	
		Entre 1919 et 1945	
		Entre 1991 et 2005	
Chauffage secondaire	Non chauff_sec	Non chauff_sec	oui_chauf_sec
Taille de l'unité urbaine	De 200 000 à 1 999 999 hab	De 9 999 à 49 0000 hab	
	De 9 0000 à 199 999 hab	De 2000 à 9 999 hab	
Zone climatique	Urbain_Paris	De 9 0000 à 199 999 hab	Rurale
Statut d'occupation du logement	Zone_froide	Zone_chaude	Zone_froide
	Locataire du secteur social	Propriétaires	Propriétaires
Taille du ménage	Locataire du secteur Libre	Propriétaires	Quatre personnes ou plus
	Une personne	Quatre personnes ou plus	Deux personnes
Age de la personne de référence	Moins de 35 ans	Deux personnes	Entre 45 et 55 ans
		Entre 55 et 65 ans	Entre 55 et 65 ans
Revenu du ménage	Faible revenu	Entre 35 et 45 ans	Plus de 65 ans
	Revenu moyen-	Revenu élevé	Revenu moyen+
		Revenu moyen+	

GRAPHIQUE 2.7 – La projection du nuage de points (3 Classes)



Classification en 5 groupes

Le Tableau 2.10 présente de façon résumée les caractéristiques des 5 classes obtenues. La caractérisation détaillée des classes est présentée dans les Tableaux 2.13 et 2.14 figurent en annexe.

La projection du nuage de points sur le sous-espace composé des deux premiers axes factoriels après affectation de chaque logement à l'un des 5 groupes est présentée dans le Graphique 2.8. Ce graphique perd en lisibilité car, dans la classification en cinq classes, le poids du troisième axe factoriel est important. Or l'apport de cet axe ne peut apparaître dans un graphique en deux dimensions

La classification en cinq classes résulte des subdivisions en deux sous classes de la deuxième et de la troisième classe issues de la classifications en trois classes. La première classe de la classification en trois classes, celle des locataires, n'a pas été affectée. La deuxième classe est éclatée en deux sous-classes, correspondant maintenant aux classes deux et quatre. Cet éclatement fait ressortir l'importance de la zone climatique et de sa relation avec la source d'énergie, électrique en zone chauce, gaz en zone chaude. La troisième classe est éclatée en deux sous-classe, correspondant maintenant aux classes trois et cinq. Là encore, la distinction se fait sur la source d'énergie liée partiellement à la zone climatique : énergies renouvelables d'un côté et gaz de l'autre.

Les caractéristiques des classes sont présentées ci-après :

- La première classe est celle des locataires décrites dans la classification en trois classes.

- La seconde classe contient 28% des observations. Elle est issue de l'éclatement en deux sous-classes de la deuxième classe de la classification précédente. Elle regroupe les maisons individuelles, de taille moyenne ou grande, plutôt récentes, situées dans les petites unités urbaines ou en zone rurale et dans les zones climatiques plutôt chaudes. Ces logements sont équipés par des chauffages électriques avec un système de régulation individualisé et sont occupés par des ménages propriétaires, de taille moyenne, aux revenus élevés et ayant une consommation énergétique moyenne à faible.
- La troisième classe contient 11% des observations. Elle regroupe les maisons individuelles anciennes, de grande taille, situées dans les zones rurales ou les très petites unités urbaines. Ces logements sont équipés par des chauffages au énergies renouvelables et des chauffages secondaires ; et sont occupés par des ménages plutôt âgés, propriétaires, de grande taille, aux revenus moyens et ayant une consommation énergétique élevé.
- La quatrième classe contient 23% des observations. Elle regroupe les maisons individuelles, de grande taille, situées dans les unités urbaines de moyenne ou de grande taille et dans les zones climatiques froides. Ces logements sont équipés par des chauffages au gaz avec un système de régulation centralisé et sont occupés par des ménages âgés, propriétaires, de grande ou de moyenne taille, aux revenus élevés et ayant une consommation énergétique moyenne à élevé.
- La cinquième classe contient 14% des observations. Elle regroupe les maisons individuelles anciennes, de grande taille, situées dans les zones rurales froides. Ces logements sont équipés par des chauffages au fioul et des chauffages secondaires, et sont occupés par des ménages âgés, propriétaires, de petite taille, aux revenus élevés et ayant une consommation énergétique moyenne à élevé.

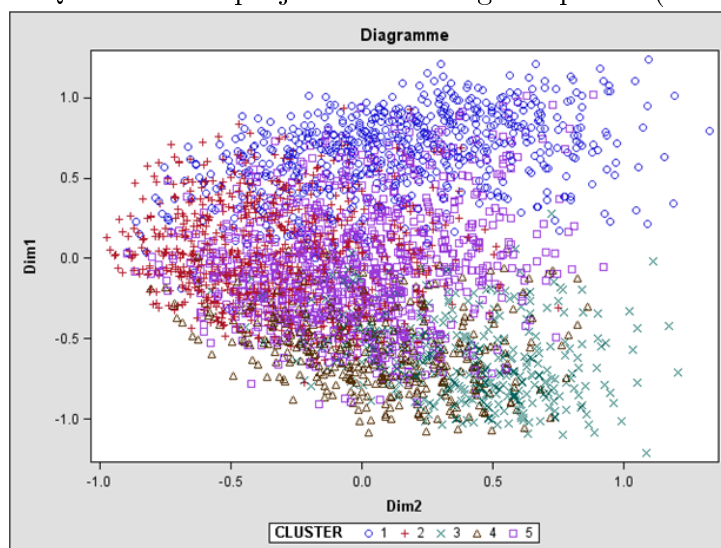
On constate que le passage d'une classification en 3 classes à une classification en 5 classes a permis de différencier les propriétaires de façon plus détaillée mais n'a pas permis de désagréger le groupe des locataires. Deux explications à cet état de fait peuvent être avancées. La première est que la part des locataires en France est très faible et la seconde est que ces derniers vivent très majoritairement dans les zones urbaines et ont des caractéristiques socioéconomiques proches. Pour obtenir une classification qui aboutit à une distinction entre locataires, il faut opter pour une classification en 7 groupes. Celle-ci désagrège les locataires en locataires du secteur libre et locataires du secteur social. Une étude spécifique des locataires est faite dans le chapitre 4 de cette thèse.

Enfin, il est à noter que la classification effectuée ici consolide l'idée de l'interdépendance entre le besoin énergétique des logements et les énergies avec lesquelles les systèmes de chauffage dont ils sont équipés fonctionnent développée dans le chapitre 1.

TABLEAU 2.10 – Caractérisation des cinq classes

	Groupe 1 (24%)	Groupe 2 (28%)	Groupe 3 (11%)	Groupe 4 (23%)	Groupe 5 (14%)
Énergie du chauffage	Gaz Électricité	Électricité	ER	Gaz	FMP
Consommation énergétique	Faible consommation	Consommation moyenne- Consommation moyenne+	Consommation élevée	Consommation moyenne+	Consommation élevée
Type du logement	Logement collectif	Logement individuel	Logement individuel	Consommation moyenne-	Consommation moyenne+
Taille du logement	une ou deux pièces Trois pièces Aucun système	Quatre pièces Individualisé	Cinq pièces ou plus Quatre pièces Aucun système	Cinq pièces ou plus	Logement individuel Cinq pièces ou plus
Régulation du chauffage				Centralisé	Individualisé
Année de construction	Entre 1946 et 1970 Entre 1991 et 2005	Après 2006 Entre 1991 et 2005 Entre 1971 et 1990	Avant 1919 Entre 1919 et 1945	Entre 1919 et 1945 Entre 1946 et 1970 Entre 1971 et 1990	Centralisé Avant 1919
Chauffage secondaire				Non_chauf_sec 9 0000 à 1 999 999 hab	oui_chauf_sec Rurale
Taille de l'unité urbaine	200 000 à 1 999 999 hab Urbain_Paris	2000 à 9 999 hab 9 999 à 49 0000 hab Rurale	oui_chauf_sec 2000 à 9 999 hab Rurale	Non_chauf_sec 9 0000 à 1 999 999 hab 9 999 à 49 0000 hab 200 000 à 1 999 999 hab	oui_chauf_sec Rurale
Zone climatique	Zone_froide	Zone_chaude	Propriétaires	Urbain_Paris Zone_froide	Zone Froide
Statut d'occupation	Locataire secteur social Locataire secteur Libre Une personne	Propriétaires	Propriétaires	Propriétaires	Propriétaires
Taille du ménage		Trois personnes	Quatre personnes ou plus	Quatre personnes ou plus	Deux personnes
Age de la PR	Moins de 35 ans	Entre 35 et 45 ans Entre 55 et 65 ans	Entre 45 et 55 ans Entre 55 et 65 ans	Deux personnes Plus de 65 ans	Plus de 65 ans
Revenu du ménage	Faible revenu Revenu moyen-	Revenu moyen+	Revenu moyen+	Revenu élevé	Revenu élevé

GRAPHIQUE 2.8 – La projection du nuage de points (5 Classes)



2.7 Conclusion

Nous présentons dans ce chapitre les deux enquêtes nationales : Budget Des Familles 2011 et PHEBUS, les données qui en sont issues étant exploitées dans ce chapitre et dans les deux chapitres suivants. De la première enquête résulte une base contenant les informations relatives aux principaux postes de dépenses des ménages en France et de la seconde résultent deux bases : CLODE et DPE, regroupant un certain nombre d'informations relatives aux caractéristiques des logements en France métropolitaine, des ménages qui les occupent ainsi qu'un grand nombre de données concernant leur rapport à l'utilisation domestique de l'énergie notamment, la consommation énergétique totale, le montant de la facture énergétique domestique et l'énergie utilisée pour bénéficier du service du chauffage.

Les trois bases de données présentent beaucoup d'atouts. Elles sont exhaustives et en cela elles permettent d'effectuer des analyses très poussées de la consommation énergétique et de l'utilisation domestique de l'énergie. Cependant, en dépit de leur exhaustivité, elles présentent quelques limites, notamment le manque de données concernant le chauffage collectif et les travaux d'amélioration de l'habitat dans les logements du secteur locatif et une organisation des informations qui rend leur exploitation assez compliquée. De ce fait, un long travail de réorganisation et de nettoyage des données a été nécessaire. Tout au long de ce travail, nous avons veillé à garder le maximum d'observations possible et de préserver au maximum la représentativité des échantillons obtenus.

A l'issue de ce travail, nous effectuons une analyse statistique en deux temps. Dans un premier temps, nous présentons un certain nombre de statistiques descriptives relatives aux caractéristiques des logements, aux énergies utilisées pour le chauffage, à la consommation et à la dépense énergétique domestique. Par la suite, nous effectuons une analyse factorielle par la

méthode des correspondances multiples couplée à une classification ascendante hiérarchique avec pour objectif de dégager une structuration cohérente du parc résidentiel français basée sur les sources d'énergie utilisées pour le chauffage et sur la consommation énergétique domestique.

De ces analyses, il ressort que l'interdépendance entre le besoin énergétique des logements et les énergies avec lesquelles les systèmes de chauffage dont ils sont équipés fonctionnent et que nous avons longuement développée dans le premier chapitre de cette thèse existe. En effet, les résultats montrent que les logements dont les besoins énergétiques sont élevés sont "souvent" équipés d'un système de chauffage fonctionnant avec une énergie peu chère et que les logements dont les besoins sont faibles ont souvent recours à un chauffage fonctionnant à l'électricité, plus coûteuse à l'usage. Cette interdépendance est conditionnée par la disponibilité des différentes sources ; une disponibilité elle-même fonction des spécificités de chaque territoire et de l'histoire des politiques menées pour son aménagement.

Au vu de ce résultat, il apparaît très clairement que pour étudier la consommation énergétique domestique sur le long terme en recourant à une méthode microéconométrique, il est nécessaire d'adopter une méthode qui tient compte de l'interdépendance entre le choix des équipements énergétiques, en particulier les équipements de chauffage, et l'intensité d'utilisation anticipée de ces équipements, ce qui fait est l'objet du troisième et du quatrième chapitre de cette thèse.

Enfin, les deux classifications présentées ici montrent que les logements du secteur locatif présentent des caractéristiques qui les distinguent des logements occupés par leurs propriétaires. De ce fait, il convient de les étudier isolément et c'est l'objet du quatrième chapitre.

2.A Annexe

2.A.1 Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes

TABLEAU 2.11: Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test	
1	sur-représentées	Log_col	926	85.5	29.8	0.0000	42.1606	
		Consom_energ1	750	69.3	25.0	0.0000	34.5860	
		Pieces1	389	35.9	11.7	0.0000	24.6356	
		Urbain_Paris	376	34.7	13.1	0.0000	21.2713	
		Non_chauf_sec	979	90.4	69.6	0.0000	19.0664	
		Urbain4	445	41.1	22.9	0.0000	15.3543	
		Aucun_sys	412	38.2	22.3	0.0000	13.5718	
		Pieces2	397	36.7	21.5	0.0000	13.1373	
		Annee2	365	33.7	19.9	0.0000	12.2846	
		Gaz	593	54.8	39.7	0.0000	11.4543	
		Electricite	482	44.5	35.4	0.0000	7.0960	
		Urbain3	152	14.0	10.8	0.0001	3.8447	
		Zone_froide	679	62.7	59.2	0.0029	2.7579	
		Annee4	200	18.5	16.5	0.0226	2.0032	
1	sous-représentées	Sys_Individualise	391	36.2	36.5	0.4272	-0.1835	
		Consom_energ2	251	23.2	25.0	0.0607	-1.5488	
		Annee1	83	7.7	8.9	0.0546	-1.6016	
		Zone_chaude	404	37.3	40.8	0.0036	-2.6862	
		Annee3	296	27.3	30.9	0.0019	-2.8992	
		Annee	138	12.7	16.5	0.0000	-3.8991	
		Pieces3	231	21.3	29.9	0.0000	-7.2879	
		Urbain2	57	5.3	14.2	0.0000	-10.9595	
		Sys_Centralise	276	25.6	41.2	0.0000	-12.2810	

suite à la page suivante

TABLEAU 2.11: Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
2		Urbain1	29	2.7	12.8	0.0000	-13.9382
		Annee5	1	0.1	7.3	0.0000	-15.3848
		ER	5	0.5	10.5	0.0000	-17.1780
		oui_chauf_sec	104	9.6	30.4	0.0000	-18.9653
		Consom_energ3	66	6.1	25.0	0.0000	-19.1111
		FMP	3	0.3	14.4	0.0000	-21.7153
		Rurale	24	2.2	26.2	0.0000	-25.9078
		Consom_energ4	16	1.5	25.0	0.0000	-26.5297
		Pieces4	66	6.1	36.9	0.0000	-27.5885
		Log_ind	157	14.5	70.2	0.0000	-42.0921
		Log_ind	1900	83.0	70.2	0.0000	19.3789
		Consom_energ2	789	34.5	25.0	0.0000	15.2119
		Sys_Centralise	1180	51.6	41.2	0.0000	14.4784
		Annee5	279	12.2	7.3	0.0000	13.9707
		Electricite	1025	44.8	35.4	0.0000	13.4840
		Consom_energ3	760	33.2	25.0	0.0000	13.1063
		Urbain2	464	20.3	14.2	0.0000	12.2141
		Gaz	1107	48.4	39.7	0.0000	12.1381
		Urbain1	393	17.2	12.8	0.0000	9.0338
		Pieces3	801	35.0	29.9	0.0000	7.6360
	Pieces4	960	42.0	36.9	0.0000	7.1449	
	Annee3	801	35.0	30.9	0.0000	6.1380	
	Urbain3	308	13.5	10.8	0.0000	5.9356	

suite à la page suivante

TABLEAU 2.11: Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test		
2	sous-représentées	Non_chauf_sec	1668	72.9	69.6	0.0000	4.8780		
		Zone_chaude	1010	44.1	40.8	0.0000	4.6425		
		Annee1	223	9.7	8.9	0.0198	2.0569		
		Annee4	395	17.3	16.5	0.0817	1.3939		
		Sys_Individualise	842	36.8	36.5	0.3276	0.4466		
		Urban4	483	21.1	22.9	0.0026	-2.7988		
		Zone_froide	1278	55.9	59.2	0.0000	-4.5816		
		oui_chauf_sec	620	27.1	30.4	0.0000	-4.8130		
		Pieces2	424	18.5	21.5	0.0000	-4.8523		
		Annee2	345	15.1	19.9	0.0000	-8.2093		
		Urban_Paris	196	8.6	13.1	0.0000	-9.1611		
		Rurale	444	19.4	26.2	0.0000	-10.5880		
		Annee	245	10.7	16.5	0.0000	-10.7226		
		Consom_energ4	391	17.1	25.0	0.0000	-12.4996		
Consom_energ1	348	15.2	25.0	0.0000	-15.5233				
3	sur-représentées	Pieces1	103	4.5	11.7	0.0000	-15.7739		
		FMP	139	6.1	14.4	0.0000	-16.5876		
		Aucun_sys	265	11.6	22.3	0.0000	-17.7335		
		Log_col	388	17.0	29.8	0.0000	-19.3121		
		ER	17	0.7	10.5	0.0000	-25.0000		
		ER	447	40.4	10.5	0.0000	33.0229		
		Consom_energ4	712	64.4	25.0	0.0000	31.4942		
		Rurale	706	63.8	26.2	0.0000	29.9003		
		<i>suite à la page suivante</i>							

TABLEAU 2.11: Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
3		Log_ind	1085	98.1	70.2	0.0000	29.5111
		FMP	501	45.3	14.4	0.0000	29.3040
		oui_chauf_sec	635	57.4	30.4	0.0000	21.3379
		Pieces4	628	56.8	36.9	0.0000	15.3790
		Annee	356	32.2	16.5	0.0000	14.8584
		Aucun_sys	318	28.8	22.3	0.0000	5.8755
		Zone_froide	692	62.6	59.2	0.0035	2.6947
		Consom_energ3	294	26.6	25.0	0.0771	1.4251
		Urbain1	153	13.8	12.8	0.1168	1.1913
		Sys_Individualise	400	36.2	36.5	0.4137	-0.2179
		Annee1	93	8.4	8.9	0.2759	-0.5952
		Pieces3	308	27.8	29.9	0.0438	-1.7087
		Zone_chaude	414	37.4	40.8	0.0044	-2.6235
		Annee2	180	16.3	19.9	0.0002	-3.4888
		Annee4	145	13.1	16.5	0.0002	-3.5702
		Annee3	286	25.9	30.9	0.0000	-4.1972
		Urbain2	115	10.4	14.2	0.0000	-4.2889
		Sys_Centralise	387	35.0	41.2	0.0000	-4.8271
		Annee5	46	4.2	7.3	0.0000	-4.8901
		Pieces2	140	12.7	21.5	0.0000	-8.6935
	Pieces1	30	2.7	11.7	0.0000	-12.8184	
	Urbain3	24	2.2	10.8	0.0000	-13.0242	
	Urbain4	95	8.6	22.9	0.0000	-14.4756	

suite à la page suivante

TABLEAU 2.11: Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
		Urban_Paris	13	1.2	13.1	0.0000	-17.7183
		Consom_energ2	79	7.1	25.0	0.0000	-17.9829
		Non_chauf_sec	471	42.6	69.6	0.0000	-21.2695
		Electricite	79	7.1	35.4	0.0000	-25.6430
		Consom_energ1	21	1.9	25.0	0.0000	-25.9424
		Gaz	79	7.1	39.7	0.0000	-28.5666
		Log_col	21	1.9	29.8	0.0000	-29.3333

TABLEAU 2.12: Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables supplémentaires)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
1	sur-représentées	Loc_Social	367	33.9	14.6	0.0000	18.4767
		Personne1	478	44.1	24.8	0.0000	15.9266
		Loc_Libre	331	30.6	16.5	0.0000	13.2615
		Age0	214	19.8	10.8	0.0000	10.0233
		Revenu	438	40.4	31.6	0.0000	7.0874
	sous-représentées	Revenu1	301	27.8	23.4	0.0000	3.9257
		Age1	197	18.2	17.5	0.2254	0.7540
		Age2	214	19.8	21.4	0.0767	-1.4274
		Personne3	153	14.1	16.2	0.0172	-2.1153
		Age4	250	23.1	26.2	0.0034	-2.7028
2	sur-représentées	Revenu2	190	17.5	22.1	0.0000	-4.2012
		Age3	208	19.2	24.1	0.0000	-4.3853
		Personne2	308	28.4	36.6	0.0000	-6.4880
		Revenu3	154	14.2	23.0	0.0000	-8.2501
		Personne4	144	13.3	22.4	0.0000	-8.7204
	sous-représentées	Propriétaires	385	35.5	69.0	0.0000	-25.6115
		Propriétaires	1709	74.7	69.0	0.0000	8.4921
		Revenu3	615	26.9	23.0	0.0000	6.4276
		Personne4	585	25.6	22.4	0.0000	5.2405
		Age3	584	25.5	24.1	0.0104	2.3128
	Revenu2	533	23.3	22.1	0.0215	2.0233	
	Personne2	866	37.8	36.6	0.0365	1.7926	
	Age1	416	18.2	17.5	0.0992	1.2860	

suite à la page suivante

TABLEAU 2.12: Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables supplémentaires)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
2	sous-représentées	Personne3	381	16.7	16.2	0.1980	0.8489
		Age2	485	21.2	21.4	0.4112	-0.2244
		Age4	590	25.8	26.2	0.2485	-0.6792
		Revenu1	491	21.5	23.4	0.0012	-3.0424
		Age0	213	9.3	10.8	0.0006	-3.2600
		Revenu	649	28.4	31.6	0.0000	-4.7032
		Loc_Libre	310	13.5	16.5	0.0000	-5.3378
		Loc_Social	269	11.8	14.6	0.0000	-5.4070
		Personnel	456	19.9	24.8	0.0000	-7.6426
		Propriétaires	994	89.9	69.0	0.0000	19.2331
3	sur-représentées	Personne2	465	42.0	36.6	0.0000	4.3219
		Age4	335	30.3	26.2	0.0002	3.5156
		Personne4	274	24.8	22.4	0.0137	2.2044
		Revenu2	266	24.1	22.1	0.0326	1.8443
		Age2	257	23.2	21.4	0.0362	1.7962
		Age3	287	25.9	24.1	0.0453	1.6923
		Personne3	192	17.4	16.2	0.1076	1.2396
		Revenu3	259	23.4	23.0	0.3204	0.4666
		Revenu1	254	23.0	23.4	0.3786	-0.3092
		Revenu	327	29.6	31.6	0.0517	-1.6286
3	sous-représentées	Age1	170	15.4	17.5	0.0174	-2.1107
		Age0	57	5.2	10.8	0.0000	-7.6522
		Personnel	175	15.8	24.8	0.0000	-8.2941

suite à la page suivante

TABLEAU 2.12: Caractérisation détaillée : Classification en trois groupes (variables supplémentaires)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
		Loc_Libre	96	8.7	16.5	0.0000	-8.6671
		Loc_Social	16	1.4	14.6	0.0000	-18.4430

2.A.2 Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes

TABLEAU 2.13: Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test	
1	sur-représentées	Log_col	926	85.5	29.8	0.0000	42.1606	
		Consom_energ1	750	69.3	25.0	0.0000	34.5860	
		Pieces1	389	35.9	11.7	0.0000	24.6356	
		Urbain_Paris	376	34.7	13.1	0.0000	21.2713	
		Non_chauf_sec	979	90.4	69.6	0.0000	19.0664	
		Urbain4	445	41.1	22.9	0.0000	15.3543	
		Aucun_sys	412	38.2	22.3	0.0000	13.5718	
		Pieces2	397	36.7	21.5	0.0000	13.1373	
		Annee2	365	33.7	19.9	0.0000	12.2846	
		Gaz	593	54.8	39.7	0.0000	11.4543	
		Electricite	482	44.5	35.4	0.0000	7.0960	
		Urbain3	152	14.0	10.8	0.0001	3.8447	
		Zone_froide	679	62.7	59.2	0.0029	2.7579	
		Annee4	200	18.5	16.5	0.0226	2.0032	
1	sous-représentées	Sys_Individualise	391	36.2	36.5	0.4272	-0.1835	
		Consom_energ2	251	23.2	25.0	0.0607	-1.5488	
		Annee1	83	7.7	8.9	0.0546	-1.6016	
		Zone_chaude	404	37.3	40.8	0.0036	-2.6862	
		Annee3	296	27.3	30.9	0.0019	-2.8992	
		Annee	138	12.7	16.5	0.0000	-3.8991	
		Pieces3	231	21.3	29.9	0.0000	-7.2879	
		Urbain2	57	5.3	14.2	0.0000	-10.9595	
		Sys_Centralise	276	25.6	41.2	0.0000	-12.2810	

suite à la page suivante

TABLEAU 2.13: Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
2		Urbain1	29	2.7	12.8	0.0000	-13.9382
		Annee5	1	0.1	7.3	0.0000	-15.3848
		ER	5	0.5	10.5	0.0000	-17.1780
		oui_chauf_sec	104	9.6	30.4	0.0000	-18.9653
		Consom_energ3	66	6.1	25.0	0.0000	-19.1111
		FMP	3	0.3	14.4	0.0000	-21.7153
		Rurale	24	2.2	26.2	0.0000	-25.9078
		Consom_energ4	16	1.5	25.0	0.0000	-26.5297
		Pieces4	66	6.1	36.9	0.0000	-27.5885
		Log_ind	157	14.5	70.2	0.0000	-42.0921
		Electricite	893	71.5	35.4	0.0000	30.1637
		Annee5	278	22.3	7.3	0.0000	21.7086
		Urbain1	356	28.5	12.8	0.0000	17.7686
		Consom_energ2	493	39.5	25.0	0.0000	13.3337
		Log_ind	1034	82.8	70.2	0.0000	12.0750
		Pieces3	477	38.2	29.9	0.0000	7.3906
		Zone_chaude	611	48.9	40.8	0.0000	6.8307
	Sys_Individualise	555	44.4	36.5	0.0000	6.7943	
	Annee4	274	21.9	16.5	0.0000	5.9078	
	Rurale	401	32.1	26.2	0.0000	5.5006	
	Urbain2	235	18.8	14.2	0.0000	5.3596	
	Annee3	437	35.0	30.9	0.0001	3.6929	
	Consom_energ3	333	26.7	25.0	0.0530	1.6163	

suite à la page suivante

TABLEAU 2.13: Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test	
2	sous-représentées	oui_chauf_sec	384	30.7	30.4	0.3466	0.3945	
		Sys_Centralise	510	40.8	41.2	0.3851	-0.2922	
		Non_chauf_sec	865	69.3	69.6	0.3736	-0.3222	
		Pieces4	446	35.7	36.9	0.1517	-1.0293	
		Consom_energ1	294	23.5	25.0	0.0869	-1.3600	
		Pieces2	244	19.5	21.5	0.0272	-1.9244	
		Annee	146	11.7	16.5	0.0000	-5.5682	
		Zone_froide	638	51.1	59.2	0.0000	-6.7639	
		Pieces1	82	6.6	11.7	0.0000	-7.0384	
		Aucun_sys	184	14.7	22.3	0.0000	-7.8185	
		Urban4	183	14.7	22.9	0.0000	-8.4681	
		FMP	79	6.3	14.4	0.0000	-10.4807	
		Annee1	31	2.5	8.9	0.0000	-10.9687	
		Urban3	45	3.6	10.8	0.0000	-11.0241	
		Log_col	215	17.2	29.8	0.0000	-11.9935	
3	sur-représentées	Consom_energ4	129	10.3	25.0	0.0000	-15.3502	
		Annee2	83	6.6	19.9	0.0000	-15.5144	
		ER	15	1.2	10.5	0.0000	-16.0763	
		Urban_Paris	29	2.3	13.1	0.0000	-16.1555	
		Gaz	262	21.0	39.7	0.0000	-16.5201	
		ER	447	91.0	10.5	0.0000	38.9123	
		Consom_energ4	315	64.2	25.0	0.0000	18.7358	
		Log_ind	479	97.6	70.2	0.0000	18.4875	

suite à la page suivante

TABLEAU 2.13: Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
3		Rurale	317	64.6	26.2	0.0000	18.2805
		oui_chauf_sec	330	67.2	30.4	0.0000	17.4124
		Aucun_sys	258	52.7	22.3	0.0000	15.0546
		Annee	132	26.9	16.5	0.0000	6.0884
		Pieces4	227	46.2	36.9	0.0000	4.4903
		Pieces3	178	36.3	29.9	0.0006	3.2294
		Urbain1	86	17.5	12.8	0.0007	3.1878
		Annee1	51	10.4	8.9	0.0957	1.3063
		Annee5	38	7.7	7.3	0.2889	0.5566
		Annee3	155	31.6	30.9	0.3410	0.4097
		Zone_froide	292	59.5	59.2	0.4263	0.1857
		Zone_chaude	199	40.5	40.8	0.4648	-0.0884
		Urbain2	59	12.0	14.2	0.0803	-1.4031
		Consom_energ3	109	22.2	25.0	0.0703	-1.4737
		Annee4	65	13.2	16.5	0.0200	-2.0537
		Sys_Individualise	137	28.0	36.5	0.0000	-4.2172
		Pieces2	66	13.4	21.5	0.0000	-4.8307
		Annee2	50	10.2	19.9	0.0000	-6.2185
		Pieces1	20	4.1	11.7	0.0000	-6.4489
		Urbain3	13	2.6	10.8	0.0000	-7.5519
	Consom_energ2	59	12.0	25.0	0.0000	-7.7015	
	FMP	15	3.1	14.4	0.0000	-9.4141	
	Sys_Centralise	95	19.4	41.2	0.0000	-11.0035	

suite à la page suivante

TABLEAU 2.13: Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
4		Urban_Paris	1	0.2	13.1	0.0000	-13.5253
		Urban4	15	3.1	22.9	0.0000	-14.1806
		Consom_energ1	8	1.6	25.0	0.0000	-17.0891
		Non_chauf_sec	161	32.8	69.6	0.0000	-17.3190
		Log_col	12	2.4	29.8	0.0000	-18.2344
		Electricite	18	3.7	35.4	0.0000	-19.3359
		Gaz	11	2.2	39.7	0.0000	-22.6608
		Gaz	845	81.3	39.7	0.0000	30.7935
		Sys_Centralise	670	64.5	41.2	0.0000	17.1919
		Urban3	263	25.3	10.8	0.0000	15.1739
		Consom_energ3	427	41.1	25.0	0.0000	12.9401
		Log_ind	866	83.3	70.2	0.0000	11.2599
		Annee1	192	18.5	8.9	0.0000	11.0928
		Pieces4	514	49.5	36.9	0.0000	9.4012
		Urban2	229	22.0	14.2	0.0000	7.7997
		Non_chauf_sec	803	77.3	69.6	0.0000	6.3220
		Urban4	300	28.9	22.9	0.0000	5.1779
		Annee2	262	25.2	19.9	0.0000	4.8214
		Annee3	364	35.0	30.9	0.0005	3.3029
		Urban_Paris	167	16.1	13.1	0.0006	3.2487
		Consom_energ2	296	28.5	25.0	0.0015	2.9736
	Zone_froide	640	61.6	59.2	0.0317	1.8562	
	Pieces3	324	31.2	29.9	0.1471	1.0488	

suite à la page suivante

TABLEAU 2.13: Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test	
4	sous-représentées	Consom_energ4	262	25.2	25.0	0.4051	0.2402	
		Zone_chaude	399	38.4	40.8	0.0372	-1.7837	
		Pieces2	180	17.3	21.5	0.0001	-3.7505	
		Annee4	121	11.6	16.5	0.0000	-5.0004	
		oui_chauf_sec	236	22.7	30.4	0.0000	-6.2402	
		Sys_Individualise	287	27.6	36.5	0.0000	-6.8786	
		Annee	99	9.5	16.5	0.0000	-7.3711	
		FMP	60	5.8	14.4	0.0000	-10.1070	
		Log_col	173	16.7	29.8	0.0000	-11.1714	
		Urbain1	37	3.6	12.8	0.0000	-12.0233	
		Pieces1	21	2.0	11.7	0.0000	-13.7489	
		Aucun_sys	81	7.8	22.3	0.0000	-14.3790	
		Annee5	1	0.1	7.3	0.0000	-15.0039	
5	sur-représentées	ER	2	0.2	10.5	0.0000	-17.9806	
		Electricite	132	12.7	35.4	0.0000	-18.9698	
		Consom_energ1	54	5.2	25.0	0.0000	-19.8160	
		Rurale	43	4.1	26.2	0.0000	-22.2018	
		FMP	486	79.0	14.4	0.0000	35.9065	
		Log_ind	606	98.5	70.2	0.0000	22.3134	
		Consom_energ4	397	64.6	25.0	0.0000	21.5642	
		Rurale	389	63.3	26.2	0.0000	20.1616	
		Pieces4	401	65.2	36.9	0.0000	15.1410	
		Annee	224	36.4	16.5	0.0000	12.5313	

suite à la page suivante

TABLEAU 2.13: Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
5	sous-représentées	oui_chauf_sec	305	49.6	30.4	0.0000	10.6276
		Sys_Individualise	263	42.8	36.5	0.0003	3.4657
		Sys_Centralise	292	47.5	41.2	0.0003	3.4159
		Zone_froide	400	65.0	59.2	0.0006	3.2623
		Consom_energ3	185	30.1	25.0	0.0009	3.1060
		Annee2	130	21.1	19.9	0.1814	0.9101
		Urbain1	67	10.9	12.8	0.0676	-1.4941
		Annee1	42	6.8	8.9	0.0278	-1.9135
		Annee4	80	13.0	16.5	0.0056	-2.5370
		Zone_chaude	215	35.0	40.8	0.0008	-3.1720
		Urbain2	56	9.1	14.2	0.0000	-4.0900
		Pieces3	130	21.1	29.9	0.0000	-5.2773
		Annee3	131	21.3	30.9	0.0000	-5.7208
		Pieces2	74	12.0	21.5	0.0000	-6.5852
		Urbain4	80	13.0	22.9	0.0000	-6.6948
		Annee5	8	1.3	7.3	0.0000	-7.7942
		Aucun_sys	60	9.8	22.3	0.0000	-8.9197
		Urbain3	11	1.8	10.8	0.0000	-9.9490
		Non_chauf_sec	310	50.4	69.6	0.0000	-10.5417
		Pieces1	10	1.6	11.7	0.0000	-10.8984
Urbain_Paris	12	2.0	13.1	0.0000	-11.3896		
ER	0	0.0	10.5	0.0000	-14.3134		
Electricite	61	9.9	35.4	0.0000	-16.0958		

suite à la page suivante

TABLEAU 2.13: Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
		Consom_energ2	20	3.3	25.0	0.0000	-16.9715
		Gaz	68	11.1	39.7	0.0000	-17.4009
		Consom_energ1	13	2.1	25.0	0.0000	-18.5197
		Log_col	9	1.5	29.8	0.0000	-22.0359

TABLEAU 2.14: Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables supplémentaires)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
1	sur-représentées	Loc_Social	367	33.9	14.6	0.0000	18.4767
		Personne1	478	44.1	24.8	0.0000	15.9266
		Loc_Libre	331	30.6	16.5	0.0000	13.2615
		Age0	214	19.8	10.8	0.0000	10.0233
		Revenu	438	40.4	31.6	0.0000	7.0874
	sous-représentées	Revenu1	301	27.8	23.4	0.0000	3.9257
		Age1	197	18.2	17.5	0.2254	0.7540
		Age2	214	19.8	21.4	0.0767	-1.4274
		Personne3	153	14.1	16.2	0.0172	-2.1153
		Age4	250	23.1	26.2	0.0034	-2.7028
2	sur-représentées	Revenu2	190	17.5	22.1	0.0000	-4.2012
		Age3	208	19.2	24.1	0.0000	-4.3853
		Personne2	308	28.4	36.6	0.0000	-6.4880
		Revenu3	154	14.2	23.0	0.0000	-8.2501
		Personne4	144	13.3	22.4	0.0000	-8.7204
	sous-représentées	Propriétaires	385	35.5	69.0	0.0000	-25.6115
		Revenu2	323	25.9	22.1	0.0001	3.7654
		Propriétaires	905	72.5	69.0	0.0007	3.1960
		Age1	244	19.5	17.5	0.0117	2.2666
		Personne3	225	18.0	16.2	0.0197	2.0608
	Age3	321	25.7	24.1	0.0556	1.5932	
	Age0	145	11.6	10.8	0.1292	1.1301	
	Personne4	293	23.5	22.4	0.1363	1.0972	

suite à la page suivante

TABLEAU 2.14: Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables supplémentaires)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test	
2	sous-représentées	Revenu3	300	24.0	23.0	0.1379	1.0898	
		Personne2	464	37.1	36.6	0.3068	0.5050	
		Age2	260	20.8	21.4	0.3101	-0.4955	
		Loc_Libre	199	15.9	16.5	0.2955	-0.5374	
		Revenu1	280	22.4	23.4	0.1880	-0.8853	
		Personne1	267	21.4	24.8	0.0005	-3.2730	
		Revenu	346	27.7	31.6	0.0003	-3.4705	
		Loc_Social	145	11.6	14.6	0.0002	-3.5198	
		Age4	279	22.3	26.2	0.0001	-3.7079	
		Propriétaires	435	88.6	69.0	0.0000	11.2760	
3	sur-représentées	Personne4	135	27.5	22.4	0.0022	2.8522	
		Revenu2	132	26.9	22.1	0.0034	2.7064	
		Age2	124	25.3	21.4	0.0121	2.2544	
		Age3	133	27.1	24.1	0.0459	1.6860	
		Personne2	191	38.9	36.6	0.1212	1.1693	
		Revenu1	123	25.1	23.4	0.1577	1.0039	
		Personne3	86	17.5	16.2	0.1809	0.9118	
		Revenu	155	31.6	31.6	0.5233	0.0584	
		Age1	82	16.7	17.5	0.3465	-0.3949	
		Age4	120	24.4	26.2	0.1849	-0.8967	
3	sous-représentées	Age0	32	6.5	10.8	0.0003	-3.4061	
		Revenu3	81	16.5	23.0	0.0001	-3.7019	
		Personne1	79	16.1	24.8	0.0000	-4.9342	

suite à la page suivante

TABLEAU 2.14: Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables supplémentaires)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
4	sur-représentées	Loc_Libre	44	9.0	16.5	0.0000	-5.1288
		Loc_Social	12	2.4	14.6	0.0000	-10.3160
	sous-représentées	Propriétaires	804	77.4	69.0	0.0000	6.9242
		Revenu3	315	30.3	23.0	0.0000	6.2672
		Personne4	292	28.1	22.4	0.0000	4.9403
		Age4	311	29.9	26.2	0.0010	3.0861
		Personne2	402	38.7	36.6	0.0521	1.6246
		Age3	263	25.3	24.1	0.1383	1.0882
		Age2	225	21.7	21.4	0.3720	0.3266
		Age1	172	16.6	17.5	0.1982	-0.8481
5	sur-représentées	Personne3	156	15.0	16.2	0.1261	-1.1450
		Revenu2	210	20.2	22.1	0.0518	-1.6274
	sous-représentées	Revenu	303	29.2	31.6	0.0298	-1.8836
		Revenu1	211	20.3	23.4	0.0041	-2.6454
		Loc_Social	124	11.9	14.6	0.0030	-2.7457
		Age0	68	6.5	10.8	0.0000	-5.3464
		Personne1	189	18.2	24.8	0.0000	-5.7543
		Loc_Libre	111	10.7	16.5	0.0000	-6.0054
		Propriétaires	559	90.9	69.0	0.0000	14.5879
		Age4	215	35.0	26.2	0.0000	5.1473
Personne2	274	44.6	36.6	0.0000	4.3817		
Revenu3	178	28.9	23.0	0.0001	3.7344		
Personne3	106	17.2	16.2	0.2072	0.8162		

suite à la page suivante

TABLEAU 2.14: Caractérisation détaillée : Classification en cinq groupes (variables supplémentaires)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
5		Age3	154	25.0	24.1	0.2572	0.6521
		Age2	133	21.6	21.4	0.4007	0.2516
		Personne4	139	22.6	22.4	0.4210	0.1993
	sous-représentées	Revenu2	134	21.8	22.1	0.4518	-0.1210
		Revenu1	131	21.3	23.4	0.1064	-1.2457
		Revenu	172	28.0	31.6	0.0205	-2.0443
		Age1	88	14.3	17.5	0.0133	-2.2183
		Personne1	96	15.6	24.8	0.0000	-5.9579
		Loc_Libre	52	8.5	16.5	0.0000	-6.2958
		Age0	25	4.1	10.8	0.0000	-6.6633
		Loc_Social	4	0.7	14.6	0.0000	-15.0200

Chapitre 3

Les déterminants du choix du système de chauffage et son impact sur la consommation et la dépense énergétiques domestique en France

3.1 Introduction

En France, le chauffage est à l'origine de 60% de la consommation énergétique domestique, elle-même responsable de 30% de la consommation énergétique totale du pays. Ceci témoigne de l'importance économique et écologique de ce poste de dépense dans les pays avec des hivers longs et froids. Cependant, rares sont les papiers qui lui sont consacrés et dans lesquels les méthodes économétriques adoptées sont rigoureuses. Deux raisons principales expliquent cet état de fait : la première est le manque de données et la seconde est la relative complexité des méthodes économétriques permettant d'obtenir des estimations non biaisées.

Le problème économétrique qui se pose lorsqu'on étudie la consommation énergétique pour le chauffage vient du fait que ce service est fourni par un bien durable dont l'acquisition se fait en tenant compte de l'intensité d'utilisation qui en est prévue. En effet, le chauffage peut être obtenu en recourant à différents systèmes, fonctionnant avec différentes énergies et ayant des coûts d'installation et d'entretien différents. De ce fait, le choix de l'un d'entre eux conditionne les coûts de chauffage qui suivront sur une longue période¹. Dans ce contexte, le ménage fait face à un arbitrage fondamental entre les coûts d'installation des différents systèmes et leurs coûts opérationnels. Il préfère alors un système dont les coûts d'installation sont élevés uniquement s'il fait des économies suffisantes du côté des coûts opérationnels.

L'interdépendance entre la demande de biens durables et la demande d'énergie nécessaire au

1. Cette décision est très faiblement réversible puisqu'une modification du système de chauffage a des répercussions sur la structure même du logement.

bon fonctionnement de ces biens a été soulignée dès Houthakker (1962). Des solutions à quelques unes des problématiques économétriques que cette interdépendance pose ont été proposées à la fin des années soixante-dix et au début des années quatre-vingt (Cf. introduction générale). Cependant, le papier qui pose les bases de la spécification économétrique articulant le choix des équipements consommateurs d'énergie et la demande énergétique elle-même tout en montrant que la non prise en compte de cette interdépendance lors de l'estimation d'un modèle de demande énergétique est Dubin et Mcfadden (1984).

Dans ce chapitre, nous utilisons une version du modèle de Dubin et Mcfadden (1984) pour analyser la demande énergétique pour le chauffage et la dépense énergétique domestique totale en France à l'échelle du logement. Cette méthode permet une estimation en deux étapes. Premièrement, nous estimons un modèle de choix discret donnant la probabilité du choix d'une source d'énergie donnée pour se chauffer. Ceci qui nous permet d'un côté d'identifier les déterminants de ce choix et de l'autre, de mesurer l'impact de chacun de ces déterminants. Dans un second temps, nous utilisons les résultats obtenus à la première étape pour construire des correcteurs de biais de sélection que nous utilisons pour estimer des modèles de demande et de dépense énergétiques.

Nous recourant aux trois bases issues de PHEBUS et BDF 2011 (Cf. Chapitre 2) pour effectuer nos estimations.

La suite du papier se présente comme suit. Dans la section 2 nous présentons une revue de littérature relatives aux papiers traitant de la consommation énergétique domestique qui présentent des particularité méthodologiques intéressantes. Dans la section 3 nous présentons la méthodologie suivie dans ce papier d'un point de vue théorique et d'un point de vue empirique. Dans les section 4 et 5 nous détaillons les résultats des différentes régressions effectuées. Enfin, dans section 6, nous concluons par un rappel des principaux résultats.

3.2 Revue de littérature

Nous classons les papiers analysant la consommation énergétique domestique en deux catégories : celle des papiers qui tiennent compte de l'interdépendance entre le choix des équipements l'utilisation qui en est faite ; et celle des papiers qui n'en tiennent pas compte.

3.2.1 Papiers sans interdépendance

De nombreux de papiers s'intéressant à la demande énergétique domestique sans prendre en compte l'interdépendance entre choix d'équipements énergétiques et consommation énergétique existent. Parmi eux, Brounen et al. (2012), Rehdanz (2007) et Belaid (2016 - 2018 -2018) sont ceux qui nous paraissent les plus intéressants, de par les méthodes d'analyse choisies par leurs auteurs².

2. Voici quelques autres études que nous avons consultées mais qui ne présentent pas, à notre sens, des particularités méthodologiques ou des résultats empiriques suffisamment originaux pour que nous leur

Brounen et al. (2012) s'intéresse à l'étude de la consommation d'énergie aux Pays-Bas en s'appuyant sur une large base de données contenant des informations relatives à 300,000 logements. Contrairement à la plupart des études existantes, celle-ci ne se contente pas d'expliquer la consommation domestique totale, mais elle analyse la consommation d'électricité et la consommation de gaz séparément.

D'un point de vue méthodologique, l'étude est menée en deux parties. Dans la première, les auteurs analysent l'impact des caractéristiques des logements sur la consommation de gaz et sur la consommation d'électricité. Cette analyse est effectuée à travers la régression d'un modèle pour chaque source d'énergie par la méthode des moindres carrés ordinaires. Les caractéristiques des logements retenues comme variables explicatives sont le type de logement (maison individuelle ou logement collectif), sa localisation géographique, l'année de sa construction et son système de chauffage. Dans la deuxième partie de l'étude, les auteurs analysent l'impact des caractéristiques des ménages, toujours en recourant aux moindres carrés ordinaires. Les caractéristiques des ménages retenues ici comme explicatives sont l'âge de la personne de référence du ménage, la taille du ménage, sa situation économique et sa composition démographique. Les résultats obtenus montrent que ce sont les caractéristiques des logements qui déterminent le niveau de consommation du gaz et non les caractéristiques des ménages. En revanche, concernant l'électricité, ce sont les caractéristiques des ménages et non celles des logements qui déterminent la quantité avec laquelle elle est consommée.

Rehdanz (2007) s'intéresse à la dépense d'énergie pour le chauffage en Allemagne. A cette fin, il effectue des régressions par les moindres carrés ordinaires, sur les populations suivantes : Est, Ouest, propriétaires, locataires. Pour cela, il utilise des données récoltées en 1998 et des données récoltées en 2003 afin de tester l'impact de l'augmentation des prix de l'énergie entre ces deux dates. Les résultats obtenus montrent que le chauffage électrique engendre la dépense énergétique la plus élevée suivi par le chauffage au charbon puis par le chauffage au gaz et que la hausse des prix de l'énergie a un effet plus visible chez les locataires que chez les propriétaires.

Les travaux académiques en sciences économiques portant sur la consommation énergétique domestique en France sont rares. Nous en citons Belaid et al. (2016), Belaid (2017) et Lévy et Belaid (2018).

Belaid (2016) analyse la consommation énergétique domestique en France en exploitant les données issues de l'enquête logement 2006 et en adoptant une méthodologie en deux étapes. La première étape consiste en une classification ascendante hiérarchique permettant de répartir

consacrions un paragraphe dans cette revue de littérature : Baker et al. (2015), Berkhout et al. (2015), Bernard et al. (1996), Branch (1993), Estiri (2014), Garbacz (1983), Garbacz (1985), Green (1987), Hirst et al. (1982), Jung (1993), Jones et al. (2015), Kaza (2010), Kelly (2011), Labandeiran et al. (2006), Leahy et Lyons (2010), Lee et Kwak (2007), Ndiaye et Gabriel (2011), Nesbakken (1999), O'Neil et Chen (2002), Parti et Parti (1980), Poyer et Williams (1993), Rao et Reddy (2007), Santin et al. (2011), Shimod et al. (2007), Vaage (2000), Yohanis et al. (2008).

les ménages en groupes homogènes sur la base des variables décrivant les caractéristiques des logements et l'énergie utilisée pour le chauffage et la cuisson. La classification aboutit à la formation de quatre groupes : les ménages habitant en zone urbaine et utilisant le gaz, les ménages habitant dans de petits appartements et utilisant l'électricité, les ménages habitant dans des appartements en habitat collectif, et les ménages habitant dans des maisons en zone rurale. Dans la deuxième étape, l'auteur effectue une régression par la méthode des moindres carrés ordinaire pour chaque groupe, l'objectif étant d'expliquer la consommation énergétique domestique en contrôlant pour le statut d'occupation du logement, le statut socioprofessionnel du ménage, sa taille, l'âge de sa personne de référence, sa nationalité, etc.... Les résultats obtenus montrent que le prix de l'énergie impacte négativement le niveau de la consommation énergétique, que les logements localisés dans les zones rurales et les petites unités urbaines se caractérisent par un niveau de consommation énergétique plus important que celui des logements localisés dans les grandes et moyennes unités urbaines et que les ménages locataires ont une consommation énergétique moins importante que celle des propriétaires.

Belaïd (2017) exploite les données issues de l'enquête PHEBUS (Cf. Chapitre 2) pour analyser les effets des caractéristiques des ménages et des logements sur la consommation énergétique domestique en France. Les principaux résultats montrent que les caractéristiques des ménages ont un impact nettement plus faible que les caractéristiques des logements. L'auteur conclut en suggérant quelques pistes de réflexion incitant les décideurs publics à incorporer les politiques de logement aux politiques énergétiques afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre d'origine résidentielle.

Enfin, Lévi et Belaïd (2018) explore les effets des caractéristiques des ménages sur les modes et l'intensité de la consommation énergétique dans le parc résidentiel français. Pour cela, les auteurs exploitent les bases issues des enquêtes logement 2002 et 2006 à travers une méthodologie en trois étapes. Dans la première étape, les auteurs vérifient la correspondance entre les profils des logements et les modes avec lesquels l'énergie est consommée dans le but de classer les consommateurs en fonction du mode de consommation. La deuxième étape consiste en l'exploration des évolutions au sein des classes entre 2002 et 2006. Enfin, dans la troisième étape, les auteurs identifient les causes de ces changements. Les principaux résultats de ce papier montrent que les facteurs qui impactent la consommation totale dans le logement sont différents de ceux qui impactent la consommation au m^2 , ceux-ci étant également différents des facteurs qui impactent la consommation par personne. D'après les auteurs, cela peut s'expliquer par les caractéristiques démographiques des ménages, leur mobilité résidentielle et leur cycle de vie. Aussi, les auteurs insistent sur la nécessité de considérer la consommation énergétique domestique comme un phénomène dynamique qui doit être traité avec un approche longitudinale et pluridisciplinaire.

3.2.2 Papiers avec interdépendance

Comme souligné en introduction, les papiers analysant la consommation énergétique domestique sont peu nombreux. Ceux qui proposent une estimation économétrique qui tient compte de l'interdépendance entre le choix des équipements consommateurs d'énergie et l'utilisation qui en est faite le sont encore moins. A notre sens, le papier le plus influant entrant dans cette catégorie est Dubin et McRadden (1984)³. Dans ce papier, les auteurs analysent la demande d'électricité domestique aux États-Unis en tenant compte du choix du système de chauffage des ménages⁴. D'un point de vue économétrique, ce papier propose une extension de la méthode proposée par Heckman (1978) au cas où le consommateur doit effectuer à la première étape un choix entre un nombre d'alternatives supérieur à deux. La démarche proposée se résume en deux grandes étapes. La première consiste en l'estimation d'un modèle de choix discret via un logit polytomique par la méthode du maximum de vraisemblance et la seconde en l'utilisation des résultats de la première étape pour calculer des correcteurs de biais de sélection utilisés pour estimer la demande d'énergie conditionnellement à l'alternative choisie. Le résultat principal de ce papier est que les estimateurs obtenus par la méthode des MCO ou même par la méthode des variables instrumentales surévaluent grandement les élasticités de la demande d'électricité aux caractéristiques des ménages et des logements, les coefficients obtenus après la correction du biais de sélection étant largement inférieurs.

A la suite du travail de Dubin et McFadden, quelques rares études empiriques sur la demande énergétique domestique ont pris en compte l'interdépendance entre le choix des équipements et la consommation énergétique. Nous nous focalisons ici sur Nesbakken (2001), Rahut et collab. (2016) en raison de l'originalité de la méthode d'estimation qu'ils adoptent et de Guo et al. (2017) car il applique la méthode de Dubin et Mcfadden (1984) au choix du système de climatisation en Chine, un équipement antagoniste au système de chauffage mais dont l'analyse pose les mêmes questionnement économétriques.

Nesbakken (2001) propose une adaptation du modèle de Dubin et McFadden (1984) pour réaliser une étude sur des données de ménages en Norvège⁵. Il s'intéresse plus particulièrement à la demande totale d'énergie pour chauffer un espace habitable, conditionnée par le choix du système de chauffage. L'hypothèse faite par l'auteur est que le choix du système de chauffage se fait lors de la construction du logement et que son utilisation se fait ultérieurement. En conséquence, le coût d'installation est relatif à la période de la construction du logement et le choix de la quantité d'énergie à consommer est fait au moment où la consommation a lieu. Le choix de modélisation de l'auteur est celui d'un modèle logit polytomique pour le choix du

3. Le fait que l' "U.S Department of Energy's National Energy Modeling System" prenne la modélisation qui y est proposée comme base pour leurs modèles de micro-simulation de demande énergétique en témoigne.

4. L'intérêt est porté dans ce papier sur les ménages utilisant une seule et même source d'énergie (gaz ou électricité) pour le chauffage et pour l'eau chaude sanitaire.

5. Plusieurs autres études se sont intéressées à la question de la consommation énergétique domestique en Norvège comme Halvorsen et Larsen (2001), Nesbakken (1999), Vaage (2000), Baker et Blundell (1991)

système de chauffage et d'une loi normale pour la consommation énergétique. L'ensemble est estimé en une seule étape en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance.

Les résultats obtenus montrent que les maisons individuelles et les logements occupés par des ménages de grande taille ont plus de chance de combiner l'électricité et le bois tandis que les logements collectifs ont une probabilité plus forte d'utiliser uniquement l'électricité. En ce qui concerne le niveau de la consommation énergétique, la taille du logement et le niveau de vie des ménages occupants ont un impact positif tandis que le prix de l'énergie a un impact négatif. Par ailleurs, les logements localisés dans les zones froides ont une consommation supérieure à celle des logements localisés dans les zones chaudes ou modérées. Enfin, les logements qui disposent d'un système de régulation pour le chauffage se caractérisent par une consommation énergétique plus importante que ceux qui n'en disposent pas.

Rahut et collab. (2016) s'intéresse à des ménages du Bhutan, un pays caractérisé par un faible recours aux énergies propres malgré un développement économique important. L'objectif du papier est d'identifier les facteurs qui influencent le choix des sources d'énergies utilisées dans le logement, l'intensité de la consommation et la dépense d'énergie par personne. La base de données dont les auteurs disposent contient des informations sur trois années : 2003, 2007 et 2012. La méthode d'estimation choisie est celle des deux étapes du modèle de Heckman. La première étape consiste en l'estimation d'un probit multinomial identifiant les facteurs qui influencent le choix de la source d'énergie et la deuxième consiste en l'utilisation des résultats obtenus dans la première pour calculer les correcteurs de biais de sélection associés à l'alternative choisie et estimer par les moindres carrés ordinaires des régressions sur la dépense par source d'énergie avec les correcteurs de biais parmi les régresseurs.

Les résultats obtenus montrent que les femmes, les ménages âgés, les riches et les ménages avec un niveau d'éducation et un niveau de vie élevés ont plus de chance d'utiliser des énergies propres dans leurs logements. En ce qui concerne la dépense énergétique les principaux résultats montrent que plus le niveau d'éducation et le niveau de vie sont élevés, plus la dépense en énergie propre dans le logement est importante.

Enfin, Guo et al. (2017) évalue l'impact des dispositifs d'aide mis en place par le gouvernement central et les différents gouvernements régionaux en Chine afin d'inciter les ménages à s'équiper avec des climatiseurs peu énergivores. En cumulé, les différents dispositifs permettent de faire baisser le prix d'acquisition des climatiseurs individuels de 5 à 15 %. Le fait que l'acquisition de climatiseurs efficaces soit entravée par leur coût élevé à l'achat couplé au faible pouvoir d'achat des ménages chinois a déjà été soulevé par Zhao et al. (2012) et Watanabi et Kojima (2016). De ce fait, les aides proposées par les différents gouvernements semblent aller dans le bon sens. Cependant, Wang (2017) trouve que les différentes aides et subventions n'ont pas eu un effet significatif sur le comportement d'achat des ménages chinois. Il en a été de même pour les subventions faites aux ménages agricoles afin de les inciter à s'équiper en digesteurs de biogaz (Sun et al. - 2014).

Partant de ces constatations, l'objectif dans Guo et al. (2017) est d'utiliser un modèle de choix discret à la McFadden (1974) en y incorporant les coûts d'acquisition des climatiseurs, les coûts liés à leur utilisation et l'effet rebond qui peut découler de l'augmentation de l'efficacité du matériel pour déterminer le niveau de subvention qui peut changer de façon significative le comportement d'achat de climatiseurs des ménages chinois. Les résultats des estimations empiriques montrent que le taux de subvention qui aurait un impact significatif est de 60%. Ce résultat s'explique par la faible demande de climatisation des ménages chinois et le faible prix de l'électricité en Chine comparativement à d'autres pays comme le Japon ou les États-Unis. Enfin, les auteurs concluent leur papier en insistant sur le fait que les politiques de subvention ayant pour objectif de réduire la consommation énergétique domestique doivent être déterminées à un niveau local pour tenir compte des spécificités propres à chaque région.

3.3 Méthodologie

3.3.1 L'aspect théorique

La demande de biens durables provient du flux de service que leur possession permet d'engendrer. Ainsi, la meilleure façon de caractériser l'utilité qui leur est associée est de la représenter sous sa forme indirecte (Dubin et Mcfadden 1984).

Les systèmes de chauffage diffèrent en terme de facilité d'utilisation, d'efficacité, de fiabilité, d'énergie nécessaire à leur fonctionnement et d'émissions polluantes. De ce fait, chaque système a un coût à l'achat et un coût à l'utilisation. Dans le chapitre 1 de cette thèse, nous exprimons l'utilité indirecte procurée par un système j à un ménage i comme ceci :

$$v_{ij} = V(p_j; Y_i - C_j; L_i; M_i)$$

où p_j est le prix de la source d'énergie avec laquelle fonctionne le système j ⁶, C_j le coût fixe engendré par son utilisation; ce coût comprend entre autres l'amortissement des équipements de chauffage, le remboursement du coût de l'emprunt si les équipements sont achetés à crédit, les dépenses courantes de maintenance etc..., L_i le vecteur des caractéristiques du logement et M_i celui des caractéristiques du ménage⁷.

Or, comme expliqué ci-avant, le ménage anticipe l'utilisation qu'il ferait de chaque équipement de chauffage qu'il l'acquiert et ainsi de la quantité d'énergie que cette acquisition engendrerai. De ce fait, nous pouvons réécrire l'utilité indirecte liée à l'utilisation du système j comme ceci :

$$v_{ij} = V(p_j; Y_i - C_j; L_i; M_i; \tilde{E}_j)$$

Où \tilde{E}_j est la quantité d'énergie que le ménage prévoit de consommer s'il choisit le système j .

6. Dans la suite du chapitre nous confondons système de chauffage et énergie utilisée pour le chauffage. La distinction est faite quand cela est nécessaire.

7. Les propriétés microéconomiques de l'utilité indirecte sont détaillées dans le chapitre 1.

Dans la pratique, l'utilité engendrée par le recours à un système j dépend d'un côté de facteurs mesurables et observables et l'autre de facteurs qui ne peuvent être ni observés ni mesurés comme le goût du ménage pour la chaleur, la facilité de raccorder le logement au réseau de chaleur etc. ... Ainsi, du point de vue de l'économiste, l'utilité indirecte engendrée par le système de chauffage j se compose d'une partie déterministe et d'une partie aléatoire. Elle peut s'exprimer comme suit :

$$v_{ij} = \tilde{v}_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Où $\tilde{v}_{ij} = V(p_j; Y_i - C_j; L_i; M_i; \tilde{E}_j)$ est la part déterministe de l'utilité indirecte et ϵ_{ij} sa part aléatoire.

Le ménage choisit d'utiliser la source j si et seulement si elle lui procure la plus grande utilité indirecte. C'est à dire, uniquement si la condition suivante est vérifiée :

$$v_{ij} = \max_k v_{ik}$$

De ce fait, la probabilité de recourir à j est

$$Pr_{ij} = Pr(v_{ij} = \max_k v_{ik}) = Pr(\tilde{v}_{ij} + \epsilon_{ij} = \max_k (\tilde{v}_{ik} + \epsilon_{ik}))$$

$$Pr_{ij} = Pr\left(V(p_j; Y_i - C_j; L_i; M_i; \tilde{E}_j) + \epsilon_{ij} = \max_k \left(V(p_k; Y_i - C_k; L_i; M_i; \tilde{E}_k) + \epsilon_{ik}\right)\right)$$

L'hypothèse la plus intuitive qui peut être formulée à l'égard des termes aléatoires est de les considérer comme étant tirés d'un « large » ensemble de variables aléatoires inobservables et indépendantes. Grâce au théorème Central Limite, la distribution de probabilité de ces termes tend vers une loi normale.

Cependant, la difficulté générée par l'adoption d'une distribution normale pour les termes aléatoires réside en le fait que l'expression analytique de Pr_{ij} qui en résulte n'a pas une forme fermée mais s'exprime sous la forme d'une intégrale impropre, chose qui complexifie considérablement et inutilement les choses. Pour simplifier le problème, nous considérons que les termes aléatoires suivent tous une Gumbel de paramètre μ . Cela est fait car ce sont les écarts entre les termes aléatoires qui nous intéressent et non les termes aléatoires en eux-mêmes, et en faisant cette hypothèse pour chaque couple $(j, k)\epsilon_j - \epsilon_k$ suit une loi logistique. Cette loi approxime très bien la loi normale⁸, permet d'aboutir à des résultats sensiblement identiques et en prime, elle permet d'obtenir une expression analytique beaucoup plus simple de Pr_{ij} .

En faisant l'hypothèse que les ϵ suivent une même distribution de Gumbel de paramètre μ ,

8. Sauf en queue de distribution.

la probabilité de recourir au système j s'exprime comme suit :

$$Pr_{ij} = \frac{\exp\left(\frac{\tilde{v}_{ij}}{\mu}\right)}{\sum_k \exp\left(\frac{\tilde{v}_{ik}}{\mu}\right)}$$

Dubin et Mcfadden (1984) affirme que toutes les formes fonctionnelles qui possèdent les propriétés suffisantes pour une utilité indirecte peuvent être utilisées pour la spécification économétrique de Pr_{ij} . Nous choisissons une forme linéaire. Ainsi :

$$\tilde{v}_{ij} = \alpha_0 + \alpha_p p_j + \alpha_Y Y_i + \alpha_c C_k + \alpha_L L_i + \alpha_M M_i + \alpha_E \tilde{E}_j$$

où les α sont des paramètres à estimer.

La consommation énergétique pour le chauffage étant un processus en deux temps, Dubin et Mcfadden (1984) démontre que :

- la non prise en compte de l'interdépendance entre le choix des équipements et la consommation énergétique lors de l'estimation d'un modèle de demande énergétique conduit à des estimations biaisées.
- La meilleure manière de corriger ce biais est de
 - calculer pour les ménages utilisant la source j les probabilités d'utiliser chacune des autres sources ($\hat{P}r_{ik}$ pour $k \neq j$)
 - calculer pour les ménages utilisant la source j les termes

$$\frac{\hat{P}r_{ik} \ln(\hat{P}r_{ik})}{1 - \hat{P}r_{ik}}$$

pour tous les k différents de j .

- Estimer les équations de demande d'énergie par les moindres carrés ordinaires en insérant les termes $\frac{\hat{P}r_{ik} \ln(\hat{P}r_{ik})}{1 - \hat{P}r_{ik}}$ parmi les régresseurs.

Il est à noter que le relâchement des hypothèses faites pour décrire simplement le choix d'une source d'énergie et les conséquences qui en résultent ne modifie pas fondamentalement cette structure de base du processus menant à la demande d'énergie pour le chauffage. Certes, il est peu fréquent que les ménages choisissent directement leur source d'énergie quand ils achètent un logement existant (y compris neuf) ou quand ils louent. Cependant, leur choix et le prix qu'ils acceptent de payer pour ce logement sont influencés par le système de chauffage qui y est installé. Le propriétaire qui loue un logement ou le constructeur qui met un logement neuf en vente tiennent compte de l'impact du choix du système de chauffage sur le coût du logement, via le coût de production de ce dernier (et donc des coûts d'installation) et la disposition des

occupants à payer pour ce logement, influencée par le confort et les coûts opérationnels du chauffage. Nous retrouvons ainsi le même arbitrage.

De même, dans une vente de particulier à particulier d'un logement ancien, l'arbitrage de l'acheteur entre logements est influencé par la valeur du logement, elle-même influencée par le confort et les coûts opérationnels du chauffage ; de plus, il est légitime de penser que le nouvel occupant a des caractéristiques similaires à son prédécesseur et que les anticipations faites par le premier valent pour son successeur.

Enfin, il faut tenir compte du fait que les ménages peuvent combiner plusieurs sources d'énergie pour se chauffer. Il y a cependant en général une source d'énergie principale qui détermine l'essentiel de la consommation d'énergie pour le chauffage. Nous nous intéressons ici à cette seule source d'énergie.

3.3.2 L'aspect empirique

Compte tenu de ce que la théorie suggère et des informations disponibles dans les bases de données dont nous disposons (Cf. Chapitre 2), nous classons les variables retenues pour les estimations économétriques en trois catégories. Il y a d'abord l'ensemble des variables qui déterminent les besoins en chauffage et les coûts d'utilisation de celui-ci. Ces variables jouent pour l'essentiel sur la détermination de la consommation énergétique et de la dépense qui en découle. Il y a ensuite les variables qui déterminent les coûts d'investissement ; elle jouent pour l'essentiel au stade du choix de la source d'énergie. Enfin, il y a les variables qui influencent la disponibilité des différentes sources d'énergie ; Ces dernières jouent également au stade du choix de la source d'énergie.

Variables influençant les besoins en chauffage et les coûts opérationnels

La première série de variables sont les variables influençant les besoins en chauffage et les coûts opérationnels. Dans notre modèle théorique, elles correspondent aux variables qui sont dans l'argument L de la fonction de chauffage $T(E, L)$.

Les besoins en chauffage sont avant tout influencés par la localisation de l'habitat, les caractéristiques du logement et du système de chauffage qui y est installé, ainsi que les caractéristiques du ménage qui l'occupe.

La localisation de l'habitat peut être caractérisée par la zone climatique, les logements situés en zone froide ayant des besoins plus élevés que ceux situés dans les zones à température modérée. Du côté des caractéristiques du logement, on trouvera les caractéristiques standard que sont la superficie et le nombre de pièces. On y ajoutera le type de logement (individuel ou collectif), le mode de chauffage (individuel ou collectif), le système de régulation du chauffage, la classe énergétique du logement, et l'existence d'un chauffage secondaire.

Du côté du type de logement, une maison individuelle a des besoins énergétiques plus élevés qu'un appartement dans un immeuble collectif. La maison individuelle est détachée alors que l'appartement dans un immeuble collectif est entouré par d'autres appartements. Ce dernier

est donc mieux isolé thermiquement et engendre une consommation énergétique moindre. On s'attend donc à une consommation énergétique plus élevée et à une dépense en énergie plus importante dans une maison individuelle que dans un immeuble collectif. Le type de logement influence également le choix de la source d'énergie, plus facile pour les ménages occupant une maison individuelle que pour les ménages en immeuble collectif.

Le mode de chauffage influence à la fois la performance du système de chauffage et le choix de la source d'énergie. Un chauffage collectif est plus à même de faire jouer les économies d'échelle et de pousser l'arbitrage entre coûts d'installation et performance énergétique en direction de cette dernière. On s'attend donc à ce qu'un chauffage collectif utilise plus fréquemment une source d'énergie comme le gaz, pour lesquels les coûts d'installation sont élevés, mais dont la performance énergétique est meilleure, poussant la consommation énergétique vers le bas. Ce dernier effet peut cependant être contredit par le fait que le chauffage collectif est souvent associé à une facturation sur une base forfaitaire (partage des coûts par un système de quota) qui ne pousse pas l'utilisateur à faire des économies d'énergie.

Du côté du système de régulation du chauffage, plus ce dernier est développé (par exemple avec un système utilisant un thermostat), mieux il peut être adapté aux besoins du ménage. L'effet sur la consommation énergétique est alors ambigu. La régulation facilite certes les économies d'énergie. En même temps, l'adaptation aux besoins du ménage peut entraîner une augmentation de la consommation énergétique quand les besoins de ce dernier sont élevés. Un chauffage non régulé délivre une température fixe qui est très souvent en dessous du niveau de satisfaction des ménages. Ces derniers sont dans ce cas des consommateurs passifs n'ayant aucune marge de manœuvre pour améliorer leur confort thermique. Lorsque le chauffage dispose d'un système de régulation, les ménages peuvent choisir le niveau de chaleur dans leurs logements, qui est alors supérieur à celui que les chauffages sans système de régulation délivrent.

La classe énergétique du logement est un indice de son efficacité énergétique, calculée sur la base de ses caractéristiques physiques, allant de A à G. Les logements de classe A sont les mieux isolés et donc les plus économes en énergie, tandis que les logements classés G sont les moins bien isolés et les plus énergivores.

Enfin, la présence d'un chauffage secondaire peut tirer la consommation énergétique totale vers le haut tout en diminuant la consommation du chauffage principal.

Du côté des caractéristiques du ménage, conformément au modèle théorique, nous retiendrons d'abord les caractéristiques susceptibles d'influencer les préférences du ménage, notamment le niveau de sa température optimale $t^*(M)$ et sa sensibilité aux écarts à cette température optimale. Il s'agit pour l'essentiel des caractéristiques démographiques, qui déterminent les besoins en chauffage ; s'y ajoutent les déterminants classiques de toute demande de biens et services que sont les ressources du ménage et les prix auxquels il fait face. Les caractéristiques démographiques principales sont l'âge de la personne de référence, les ménages âgés ayant des besoins physiques de chauffage plus élevés que les jeunes ménages ; et la taille du ménage. Cette dernière est fortement corrélée avec la taille du logement, mais on s'attend à ce qu'un ménage

sous-occupant un logement ne chauffe pas toutes les pièces.

A priori, les caractéristiques démographiques du ménage influencent la consommation énergétique sans avoir d'impact direct sur le choix du système de chauffage. Ce n'est pas le cas des ressources du ménage, qui influencent les deux étapes de la décision. De manière classique, les ressources ont un effet de revenu sur la demande d'énergie. Elles ont également un impact sur les choix de la source d'énergie dès que les systèmes de chauffage associés à ces sources d'énergie diffèrent entre eux par les coûts d'investissement, ce qui est bien le cas.

Enfin, comme pour toute demande de biens, il faut tenir compte des prix, à deux niveaux : les prix de l'énergie utilisée et les coûts d'investissement.

Variables influençant les coûts d'investissement

Les principales variables ayant une influence directe sur les coûts d'investissement sont la zone climatique et les caractéristiques du logement, notamment la taille de l'immeuble et le mode de chauffage. La zone climatique détermine la puissance de l'équipement de chauffage à installer. La taille de l'immeuble et le mode de chauffage déterminent la capacité à bénéficier d'économies d'échelles, ces dernières étant d'autant plus fortes que l'immeuble est de grande taille avec une installation de chauffage collectif. On s'attend alors à ce que les logements de ce type privilégient les sources d'énergie pour lesquelles, notamment en raison de l'importance des coûts d'installation, ces économies d'échelles sont les plus importantes.

D'autres facteurs sont liés notamment à la performance des systèmes techniques disponibles ou aux réglementations thermiques lors de l'installation du système de chauffage. L'intérêt grandissant envers la question écologique s'est traduit par un durcissement graduel des normes thermiques au fil des réglementations. Les logements construits avant les réglementations les plus contraignantes ont plus de chance d'être équipés de chauffages ayant recours à des énergies moins propres que les logements qui ont été construits après. Ces facteurs influençant de la même manière toutes les installations faites la même année, ils peuvent être pris en compte via un ensemble de variables muettes relatives à l'année de construction.

Variables influençant la disponibilité des sources d'énergie

Le choix de la source d'énergie pour le chauffage peut être conditionné par la facilité d'accès à cette source. Si l'électricité est accessible partout, ce n'est pas toujours le cas du gaz et du fuel. Les réseaux de chaleur permettant l'acheminement du gaz vers les logements sont beaucoup plus accessibles dans les grandes villes que dans les petites. Ainsi, il est plus simple et moins coûteux de raccorder au réseau de gaz naturel les logements situés dans les grandes villes que ceux situés dans les villages. Par ailleurs, en France, les responsables politiques nationaux et régionaux ont fait en sorte de développer les réseaux de chaleur particulièrement dans le nord et dans l'est du pays pour des raisons climatiques. De ce fait, l'accès au gaz de ville est plus simple pour un logement situé dans le nord ou dans l'est que pour un logement situé dans le sud ou dans l'ouest.

En outre, l'usage du fuel entraîne l'installation d'une cuve ou d'un réservoir suffisamment grands pour limiter la fréquence des ravitaillements. Or, la faible disponibilité des terrains ou leur coût dans les zones les plus urbanisées rendent plus difficile et plus coûteuse l'installation de ces cuves.

La disponibilité des différentes sources d'énergie n'est pas directement observable. Cependant, elle est fortement liée au niveau d'urbanisation, ce qui conduit à introduire une variable de niveau d'urbanisation.

3.4 Résultats de la régression du modèle de choix discret

Le choix de la source d'énergie pour se chauffer est analysé avec un modèle logit multinomial en distinguant quatre sources d'énergie : le gaz, l'électricité, le fioul et les énergies renouvelables (essentiellement le bois). L'électricité a été prise comme choix de référence. Conformément au modèle théorique développé dans le chapitre 1 et aux observations faites dans le Chapitre 2, nous nous attendons à une opposition entre, d'une part, les énergies fossiles, essentiellement le gaz, et d'autre part l'électricité : les coûts d'investissement plus élevés pour le gaz et le coût plus faible de sa consommation font que, comme indiqué dans le chapitre 1, il doit être plus attractif pour les logements qui, de par leurs caractéristiques, ont une consommation énergétique suffisamment élevée pour faire jouer les économies d'échelle.

Nous présentons ici uniquement les résultats des régressions effectuées sur la base CLODE issue de PHEBUS (Cf. Chapitre 2) dans le tableau 3.1. Les résultats des régressions effectuées en utilisant les autres bases sont présentées en annexes. Ils sont très proches des résultats obtenus avec CLODE.

Par ailleurs, afin de rendre plus intuitive l'interprétation, nous utilisons les résultats d'estimation obtenus sur la base CLODE pour calculer l'impact de la variation de chacune des caractéristiques du ménage ou du logement (les autres caractéristiques étant inchangées) sur les probabilités de choix de chaque source d'énergie, en partant d'une référence qui est un ménage de trois personnes avec un revenu moyen et une dépense énergétique moyenne, propriétaire occupant d'un logement individuel de trois pièces avec chauffage individuel, construit entre 1971 et 1990 dans une unité urbaine de plus de 200 000 habitants (hors agglomération parisienne) localisé en zone climatique froide.

Les résultats de ce calcul sont disponibles dans le tableau 3.2. La première ligne (référence), donne les pourcentages de chacune des quatre sources d'énergie pour le ménage de référence. Les lignes suivantes donnent les écarts par rapport au ménage de référence induits par le passage à la caractéristique correspondant à la ligne. Nous présenterons d'abord l'impact des caractéristiques du logement pour nous intéresser ensuite aux caractéristiques du ménage.

TABLEAU 3.1 – Les déterminants du choix de la source d'énergie (Base CLODE)

	Gaz		Fioul		ER	
	Coef	Écart-type	Coef	Écart-type	Coef	Écart-type
Constante	-1.96 ***	0.21	-3.83 ***	0.38	-2.55 ***	0.39
Statut d'occupation						
Propriétaire			Référence			
Locataire secteur social	1.31 ***	0.14	-0.98 **	0.42	-0.83 **	0.33
Locataire secteur libre	-0.33 ***	0.13	-0.15	0.19	-0.63 ***	0.20
Zone climatique						
Zone chaude ou modérée			Référence			
Zone froide	0.59 ***	0.10	0.15	0.12	0.26 **	0.12
Type de logement et mode de chauffage						
Logement et chauffage individuels			Référence			
Logement collectif, chauffage individuel	-0.16	0.12	-1.58 ***	0.31	-1.52 ***	0.31
Logement et chauffage collectifs	1.61 ***	0.23	0.18	0.65	-11.87	218.0
Année de construction						
Avant 1919	0.91 ***	0.14	0.46 ***	0.17	0.50 ***	0.17
1919 à 1945	0.93 ***	0.16	0.28	0.23	0.39 *	0.23
1946 à 1970	1.29 ***	0.13	1.11 ***	0.17	0.28	0.21
1971 à 1990			Référence			
1991 à 2005	0.47 ***	0.13	0.02	0.18	-0.34 *	0.19
2006 à 2012	-0.33 *	0.18	-1.6 ***	0.34	-0.69 ***	0.23
Taille de l'unité urbaine						
Commune rurale	-2.29 ***	0.15	0.48 ***	0.18	1.91 ***	0.26
2000 à 4999 habitants	-1.13 ***	0.17	0.48 **	0.23	1.71 ***	0.30
5000 à 9999 habitants	-0.23	0.21	0.25	0.33	1.58 ***	0.37
10000 à 19999 habitants	-0.63 ***	0.18	0.07	0.26	1.01 ***	0.34
20000 à 49999 habitants	-0.34 **	0.17	0.25	0.26	1.69 ***	0.32
50000 à 99999 habitants	0.16	0.18	0.26	0.32	0.69	0.45
100000 à 199999 habitants	0.84 ***	0.20	-0.11	0.43	0.45	0.58
200000 à 1999999 habitants			Référence			
Unité urbaine de Paris	-0.45 ***	0.15	-1.14 ***	0.35	-2.14 **	1.04
Nombre de pièces du logement						
Une ou deux			Référence			
Trois	0.69 ***	0.16	0.52	0.34	-0.06	0.29
Quatre	0.94 ***	0.17	0.86 **	0.34	0.17	0.29
Cinq ou plus	0.89 ***	0.19	0.82 **	0.34	0.27	0.29
Taille du ménage (nombre de personnes)						
Une			Référence			
Deux	-0.21 *	0.12	-0.11	0.16	0.34 *	0.18
Trois	-0.27 *	0.15	-0.27	0.20	0.49 **	0.21
Quatre ou plus	-0.08	0.14	-0.35 *	0.20	0.67 ***	0.21
Revenu du ménage	0.002	0.01	-0.055 ***	0.02	-0.091 ***	0.03
Dépense énergétique	0.648 ***	0.07	1.260 ***	0.08	-0.031	0.09

TABLEAU 3.2 – Effet de chaque variable sur les probabilités de choix de chaque source d'énergie, variation en pourcentage (Base CLODE)

Variable modifiée	Probabilité			
	Électricité	Gaz	Fioul	ER
Modalité				
Référence	42,0	45,5	8,1	4,4
Statut d'occupation				
Locataire secteur libre	8,0	-6,6	0,2	-1,6
Locataire secteur social	-22,6	32,8	-6,7	-3,5
Type de logement et mode de chauffage				
logement collectif, chauffage individuel	8,4	0,9	-6,1	-3,2
logement et chauffage collectifs	-27,8	31,3	0,8	-4,4
Taille du ménage				
Une personne	-5,6	6,5	1,1	-2,0
Deux personnes	-1,5	1,1	1,1	-0,7
Quatre personnes ou plus	-3,8	4,8	-1,3	0,4
Zone climatique				
Zone chaude ou modérée	12,1	-13,0	0,9	0,0
Période de construction				
Avant 1919	-17,9	19,0	-0,8	-0,2
1919 à 1945	-18,0	20,6	-2,0	-0,7
1946 à 1970	-24,3	24,0	2,3	-1,9
1991 à 2005	-8,8	12,3	-1,6	-1,9
2006 à 2012	11,5	-3,9	-6,0	-1,6
Niveau d'urbanisation (taille de l'unité urbaine)				
Commune rurale	5,2	-40,4	6,6	28,6
2 000 à 4 999 habitants	2,8	-29,9	5,8	21,2
5 000 à 9 999 habitants	-3,8	-12,5	1,4	14,9
10 000 à 19 999 habitants	6,3	-17,5	1,9	9,4
20 000 à 49 999 habitants	-3,2	-15,7	1,5	17,4
50 000 à 99 999 habitants	-5,4	1,2	1,1	3,2
100 000 à 199 999 habitants	-15,9	19,7	-3,6	-0,1
Unité urbaine de Paris	14,7	-6,4	-4,6	-3,7
Taille du logement				
Une ou deux pièces	14,5	-14,8	-1,6	1,8
Quatre pièces	-6,2	4,3	1,6	0,3
Cinq pièces ou plus	-5,3	3,0	1,4	0,9

Nous présentons d'abord l'impact des caractéristiques du logement pour nous intéresser ensuite aux caractéristiques du ménage.

3.4.1 L'impact des caractéristiques du logement

Les caractéristiques du logement que nous pouvons prendre en compte sont : le type de logement (individuel ou collectif), son statut d'occupation, sa taille, son année de construction, et le mode de chauffage (individuel ou collectif). S'y ajoutent les caractéristiques géographiques : la zone climatique et le niveau d'urbanisation.

Pour ce qui est du type de logement et du mode de chauffage, ces deux caractéristiques sont partiellement liées, les logements individuels ne pouvant pas être équipés d'un chauffage collectif, ce dont nous avons tenu compte en les regroupant dans la même variable. C'est essentiellement le choix du mode de chauffage, individuel ou collectif, qui influence le choix de la source d'énergie : par rapport aux logements individuels, les logements collectifs avec un chauffage collectif utilisent beaucoup plus le gaz que les autres. Pour un ménage de référence, le passage du premier type de logement au second entraîne une augmentation de 31,3% de la probabilité d'utiliser le gaz, au détriment principalement de l'électricité, mais également des énergies renouvelables. La bascule de l'électricité vers le gaz est conforme à nos attentes, le gaz ayant des coûts d'investissement plus élevés que l'électricité et qui sont plus aisément compensés grâce aux économies d'échelle du chauffage collectif. L'absence d'énergies renouvelables, essentiellement le bois, dans les logements avec un chauffage collectif est la conséquence triviale de contraintes technologiques.

Du côté du statut d'occupation du logement, les régressions faites sur les trois bases de données montrent que, par rapport aux logements des autres secteurs, la probabilité d'utiliser le gaz pour se chauffer est plus élevée dans les logements du secteur social, au détriment de l'ensemble des autres sources d'énergie : pour notre ménage de référence, la passage du statut de propriétaire occupant au statut de locataire du secteur social entraîne une augmentation de 32,8% de la probabilité d'utiliser le gaz, qui passe de 45,5% à 78,3%. Par contre, les différences entre propriétaires et locataires du secteur libre sont faibles.

L'importance de l'usage du gaz dans le secteur social est sans doute, au moins pour partie, la conséquence de la grande taille moyenne des immeubles du secteur locatif social. En effet, plus les immeubles sont grands, plus les économies d'échelles signalées plus haut jouent et rendent le gaz attractif. Or, si nous savons quand un logement est individuel ou collectif, nous n'avons aucune information sur la taille de l'immeuble.

Pour ce qui est de la taille du logement, les estimations sur les trois bases de données convergent : les petits logements ont une probabilité plus élevée d'utiliser l'électricité pour se chauffer que les autres sources d'énergie. On retrouve sans doute ici le rôle des économies d'échelles : plus la taille du logement est importante, plus les ménages acceptent des coûts d'investissement élevés permettant d'utiliser une énergie moins chère, le gain généré par l'utilisation de cette source d'énergie amortissant plus rapidement le coût d'investissement.

L'année de construction est également un déterminant important du choix de la source d'énergie pour le chauffage. Les résultats d'estimation convergent entre les trois sources pour faire apparaître une forte rupture au tournant des années 1970. Les logements construits avant 1970 ont une probabilité d'utiliser le gaz beaucoup plus élevée (d'environ 20% par rapport à la situation de référence, pour laquelle le logement a été construit entre 1971 et 1990) que les logements construits après 1970, au détriment pour l'essentiel de l'électricité. Comme noté plus haut, cette rupture est sans doute la conséquence jointe du premier choc pétrolier et des politiques énergétiques qui l'ont suivi. La combinaison de ces deux facteurs a conduit à investir plus dans le chauffage électrique après 1970 qu'avant suite au renchérissement des énergies fossiles et à la montée en puissance de l'électricité d'origine nucléaire.

Quant à la localisation géographique, le fait d'être en zone froide augmente significativement la probabilité d'utiliser le gaz au détriment de l'ensemble des autres sources d'énergie. Par rapport à un logement de référence situé en zone froide, le fait d'être localisé en zone chaude ou modérée fait baisser la probabilité d'utiliser le gaz de 13% et augmenter la probabilité d'utiliser l'électricité de 12%. On retrouve ici le rôle joué par les économies d'échelle : les coûts d'installation importants exigés par le gaz sont plus facilement amortis en zone froide par l'économie sur les coûts d'utilisation.

L'autre caractéristique géographique, la taille de l'unité urbaine, est également un facteur important dans le choix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage. Il faut ici noter d'abord la position spécifique des zones rurales et des petites villes (moins de 50 000 habitants) où la probabilité d'utiliser les énergies renouvelables est beaucoup plus élevée qu'ailleurs, pour l'essentiel au détriment du gaz. C'est a priori le facteur d'accessibilité signalé plus haut qui joue ici. D'une part, les réseaux de gaz sont peu disponibles en zone rurale, d'autre part le bois, qui est la principale source d'énergie renouvelable, y est beaucoup plus accessible. On notera également la spécificité de la région parisienne, où la probabilité d'utiliser l'électricité est plus élevée que partout ailleurs, au détriment du fioul et des énergies renouvelables.

Il est à noter que l'ensemble des résultats empiriques discutés dans cette sous-section vont dans le sens des résultats théoriques démontrés dans le Chapitre 1.

3.4.2 L'impact des caractéristiques du ménage

L'effet de la taille de ménage est faible et difficile à interpréter. L'effet le plus robuste entre les trois estimations est l'augmentation de l'usage des énergies renouvelables (bois) avec la taille du ménage, mais il est peu important et il est difficile d'en voir l'origine⁹.

9. Nesbakken (2001) trouve que plus la taille de ménages augmente plus la probabilité de combiner entre l'électricité et le bois dans le logement est importante.

Par ailleurs, l'âge de la personne de référence n'impacte pas de façon significative le choix de la source d'énergie pour le chauffage.

Concernant le revenu, les ménages aisés ont une probabilité plus élevée d'utiliser le gaz ou l'électricité que le fioul ou le bois¹⁰. Ceci s'explique par le fait que l'installation d'un chauffage au gaz et son raccordement au réseau sont coûteux, ce qui rend les ménages riches plus enclins à s'en servir. Ce qui n'est pas le cas des ménages plus pauvres.

Enfin, plus la dépense énergétique du logement prévue est élevée¹¹, plus la probabilité d'utiliser l'électricité est faible par rapport au gaz et au fioul. Ce résultat est conforme aux attentes (Cf. Chapitre 1), une dépense énergétique plus élevée rendant moins attractive l'électricité, dont les coûts opérationnels sont supérieurs.

3.5 Résultats des régressions des équations de demande d'énergie

Nous estimons 10 équations : une équation de demande d'énergie totale et l'équation de dépense correspondante, une équation de demande et une équation de dépense pour chacune des quatre sources d'énergie que sont l'électricité, le gaz, le fioul et les énergies renouvelables. Les résultats sont présentés dans les tableaux 3.3, 3.5, 3.4, 3.6 et 3.7.

Les dix estimations sont faites en utilisant chacune des trois bases de données (trente régressions au total). Nous présentons ici uniquement les résultats obtenus en utilisant la base CLODE. Ceux qui sont obtenus avec les autres bases présentent sont très proches. Ils sont disponibles en annexe.

Les équipements du logement autres que le chauffage fonctionnant presque exclusivement à l'électricité, la consommation de gaz, de fioul et de bois est destinée au chauffage. On ne peut pas en dire autant de la consommation d'électricité. Cependant, comme le chauffage est le poste le plus énergivore, quand il est électrique nous pouvons lui imputer une très grande part de la quantité d'électricité consommée dans le logement.

Comme précédemment, nous distinguons les déterminants relatifs aux caractéristiques du logement des déterminants relatifs aux caractéristiques du ménage occupant.

Il est à souligner que dans toutes les régressions effectuées, les coefficients relatifs aux correcteurs du biais de sélection sont statistiquement très significativement différents de zéro. Ceci prouve d'un côté l'existence de ce biais et de l'autre la pertinence du recours à ces correcteurs.

10. Ces résultats vont dans la même sens que les résultats des études antérieures qui montrent que plus le ménage est aisé plus la probabilité d'utiliser l'électricité et le GPL augmente et celle d'utiliser le Bois et le Kerosene diminue Ouedraogo (2006), Leach (1992), Rao et Reddy (2007) et Heltberg (2004).

11. Nous utilisons la quantité d'énergie consommée comme proxy pour la dépense énergétique anticipée.

3.5.1 L'impact des caractéristiques du logement

Les résultats que auxquels nous aboutissons sont globalement conformes aux conclusions du modèle théorique du Chapitre 1. Rappelons que dans ce chapitre, les résultats sur l'élasticité de la demande énergétique par rapport aux caractéristiques du logement suggèrent que, quand une caractéristique permet d'avoir une même température intérieure avec une consommation moindre, la demande et la dépense diminuent. C'est bien ce qu'on trouve.

Pour ce qui est du type de logement et du système de chauffage, on s'attend à ce que les maisons individuelles, plus en contact avec l'extérieur pour un même volume et moins susceptibles de faire jouer les effets d'échelle, aient une consommation énergétique et une demande en énergie plus élevées que les immeubles collectifs avec un chauffage collectif. C'est ce que, globalement, les estimations confirment. Il y a cependant des différences entre sources d'énergie. Pour l'électricité (qui n'est utilisée que dans des chauffages individuels), nous observons bien une consommation plus élevée dans les logements individuels. Pour le gaz, si les logements collectifs avec un chauffage collectif dépensent moins que les logements individuels, ce n'est pas le cas des logements collectifs avec un chauffage individuel, ce qui va dans le sens de l'importance des économies d'échelle.

Le fioul et le bois étant utilisés quasi exclusivement dans les maisons individuelles, étudier l'impact du type de logement sur la consommation quand ces sources d'énergie sont utilisées n'a pas de sens.

Du côté du système de régulation pour le chauffage, trois choses sont à noter. Premièrement, les chauffages au fioul ou au bois ne disposent pas de système de régulation pour des raisons technologiques. Deuxièmement, quand le chauffage est au gaz, le système de régulation n'a pas d'impact statistiquement significatif sur la consommation énergétique¹². Cela s'explique par la forte corrélation entre le système de régulation et le mode de chauffage (individuel ou collectif)¹³. Enfin, quand le chauffage est électrique, les résultats montrent que les logements équipés d'un système de régulation pour le chauffage se caractérisent par une consommation énergétique totale plus élevée que ceux qui n'en sont pas. De plus, les consommations et les dépenses énergétiques sont plus importantes quand la régulation est centralisée que quand elle se fait au niveau de chaque émetteur.

Du côté de la zone climatique, conformément à ce qui était attendu, les régressions effectuées sur l'ensemble des ménages et celles effectuées après ventilation par source d'énergie montrent que les logements localisés dans les zones froides se caractérisent par une consommation et une dépense énergétique plus élevées que les logements localisés dans les zones chaudes ou modérées, toutes choses égales par ailleurs.

12. Plusieurs régressions montrant cet état de fait ont été réalisées.

13. 45% des logements individuels équipés par des chauffages individuels sont équipés par un mode de régulation individualisé et 61% des logements collectifs avec chauffages collectifs ne disposent d'aucun mode de régulation pour le chauffage.

Pour ce qui est de la taille du logement, les estimations donnent également des résultats conformes aux attentes. La consommation et la dépense d'énergie augmentent avec la taille du logement, quelle que soit la source d'énergie utilisée pour le chauffage.

Enfin, dans la base DPE issue de PHEBUS (Cf. chapitre 2), nous disposons d'information sur le diagnostic de performance énergétique du logement. Celle-ci est indiquée par un étiquette énergétique qui va de A pour les logements dont les caractéristiques permettent les performances énergétiques les plus élevées, à F et G pour les logements que les caractéristiques conduisent à être les plus énergivores. Cette information permet d'analyser les différences de consommation et de dépense entre logements appartenant à des classes de performance énergétique différente, et donc savoir si ces différences sont effectives.

Les résultats des différentes régressions effectuées montrent qu'effectivement la consommation change en fonction de la classe de l'étiquette énergétique. Les logements classés économes se caractérisent bien par des consommations énergétiques significativement moins importantes que les logements classés énergivores. L'impact de la classe énergétique sur la dépense énergétique est cependant moins significatif que sur la consommation.

3.5.2 Le statut d'occupation du logement

Le statut d'occupation du logement n'est pas tout à fait une caractéristique du logement, ni vraiment une caractéristique du ménage. C'est de plus une variable importante, ce qui justifie que nous lui accordions une attention particulière.

Avant d'exposer nos résultats, notons tout d'abord que des études antérieures se sont intéressées à l'impact du statut d'occupation des logements sur le niveau de la consommation énergétique domestique. Cependant, aucune d'entre elles n'a distingué entre les locataires du secteur libre et les locataires du secteur social. De plus, les résultats auxquelles ces études aboutissent sont contradictoires : Belaid (2016), V.Jones et collab. (2015), G.Yohanis et collab. (2008), Baker et collab. (1989), Vaage (2000), Berkhout et collab. (2004) concluent que les ménages propriétaires de leurs logements se caractérisent par une consommation énergétique plus importante que celle des locataires alors que Ndiaye et Gabriel (2011) et Rehdanz (2007) arrive à la conclusion opposée. Cela tient autant aux grandes disparités de caractéristiques climatiques et culturelles des pays étudiés qu'au recours à des méthodes d'estimation qui ne traitent pas les problèmes économétriques causés par les biais de sélection.

Les résultats des régressions effectuées sur l'ensemble des ménages sans distinction entre sources d'énergies utilisées pour le chauffage montrent que la consommation et la dépense d'énergie totales changent en fonction du statut d'occupation. Les locataires du secteur libre consomment plus d'énergie que les propriétaires qui à leur tour en consomment plus que les

locataires du secteur social, toutes choses étant égales par ailleurs. Par conséquent, c'est la facture énergétique des locataires du secteur libre qui est la plus élevée, suivie par celle des propriétaires. Celle des locataires du secteur social arrive en troisième position.

Des régressions effectuées sur les échantillons des utilisateurs du chauffage électrique tirés des bases CLODE et DPE (Cf. Annexe), il ressort que le statut d'occupation n'impacte pas le niveau de la consommation d'électricité, même quand on croise cette variable avec le type de logement. En revanche, les estimations effectuées sur l'échantillon tiré de BDF (Cf. Annexe) montrent que les propriétaires se caractérisent par une consommation et une dépense d'électricité plus élevées que celles des locataires. La différence entre les résultats issus des bases PHEBUS et ceux issus de BDF peuvent s'expliquer par le fait que, dans les régressions effectuées sur les bases CLODE et DPE, nous avons tenu compte de l'existence d'un chauffage secondaire dans le logement et de l'énergie avec lequel celui-ci fonctionne. Dans la base BDF, les informations quant au chauffage secondaire ne sont pas disponibles. Par conséquent nous n'avons pas pu tenir compte de ce paramètre dans les régressions. Par ailleurs, les statistiques descriptives effectuées sur PHEBUS montrent que ce sont les propriétaires qui ont recours majoritairement au chauffage secondaire et que celui-ci est la plupart du temps électrique. Ainsi, les résultats de BDF quant au statut d'occupation doivent être relativisés.

Les régressions effectuées sur l'échantillon des utilisateur du chauffage au gaz tiré de CLODE montrent que les locataires du secteur social se caractérisent par une consommation et une dépense de gaz plus élevée que dans les autres secteurs. Ces résultats divergent de ceux obtenus avec les bases BDF et DPE, les essais faits sur ces bases n'ayant pas permis de mettre en évidence des différences en fonction du statut d'occupation. Notons que BDF n'a pas été construite pour analyser la consommation énergétique des ménages et que DPE n'est pas représentative du parc de logements. En conséquence, le résultat obtenu de la régression en utilisant CLODE est, a priori, la plus solide.

Enfin, concernant le fioul et le bois, la grande majorité des ménages qui les utilisent pour se chauffer sont des propriétaires. Par conséquent étudier l'impact du statut d'occupation sur la consommation de ces deux sources n'a pas beaucoup de sens.

3.5.3 L'impact des caractéristiques du ménage

Les caractéristiques des ménages que nous avons pu prendre en compte sont sa taille, l'âge de la personne de référence, et le revenu. Rappelons que, d'après notre modèle théorique, mis à part le revenu, les caractéristiques du ménage susceptibles d'influencer la demande sont celles qui ont un impact sur les préférences du ménage, notamment sur la température qu'il considère comme optimale et sa sensibilité à l'écart entre température effective et température optimale.

Pour ce qui est de la taille du ménage, on ne s'attend pas à ce que des ménages de taille différente aient, de ce fait, des préférences différentes en termes de chauffage. Les résultats d'estimation de l'équation de la demande totale d'énergie dans le logement montrent cependant que les ménages nombreux ont une consommation et une dépense énergétique plus importantes. Cependant, en ventilant selon la source d'énergie utilisée pour le chauffage, il s'avère que pour les logements équipés d'un chauffage électrique la consommation d'électricité augmente avec la taille du ménage alors que pour les logements chauffés au gaz, au fioul ou au bois la taille du ménage n'a aucun impact sur la consommation en ces sources.

Cette divergence entre l'électricité et les autres sources d'énergie conduit à mettre en doute le fait que la croissance de la consommation et la dépense énergétiques avec la taille du ménage provienne du chauffage. L'électricité est en effet très utilisée pour satisfaire d'autres besoins en énergie que le chauffage, et ces derniers sont fortement influencés par la taille du ménage. La croissance observée pour l'électricité pourrait être la conséquence de la croissance de ces besoins plutôt que de celle du chauffage. Cependant, les bases de données disponibles ne permettent pas de trancher sur ce point ¹⁴.

Du côté de l'âge de la personne de référence, les régressions effectuées sur l'ensemble des observations confirment le fait que les ménages dont la personne de référence est âgée (plus de 55 ans) se caractérisent par une consommation et une dépense plus élevée que les ménages dont la personne de référence est jeune ¹⁵. Ces résultats sont conformes aux attentes, la sensibilité à la température croissant avec l'âge.

Cependant, des régressions effectuées après ventilation par source d'énergie, il ressort que l'âge de la personne de référence impacte les niveaux de consommation du gaz, du fioul et du bois mais pas celui de l'électricité. En ce qui concerne le gaz et le fioul, se sont les ménages dont la personne de référence est âgée de 45 à 65 ans qui se caractérisent par la consommation la plus faible, toutes les choses égales par ailleurs ¹⁶. Ce résultat peut être expliqué par le fait que les ménages ayant une personne de référence dont l'âge se situe dans cette tranche sont souvent composés de personnes actives qui passent moins de temps dans leurs domiciles que les autres, d'où un besoin de chauffage moins important. Quant au bois, il s'avère que se sont les ménages dont la personne de référence est âgée de plus de 55 ans qui en dépensent le plus.

14. Kelly (2011), O'Neill et Chen (2002) et Estiri (2014) montrent que la taille de ménage impacte positivement la consommation énergétique dans le logement. Brounen et collab. (2012) trouve que, plus le ménage est de taille important, plus les consommations de gaz et d'électricité par personne diminuent. Certaines études constatent une corrélation positive entre le nombre d'enfants dans le logement et le niveau de consommation énergétique (Hirst et collab., 1982, Baker et collab. 1989 et Raaij 1983). Par contre, d'autres études montrent que le nombre d'enfants (moins de 16 ans) n'a pas d'impact sur la consommation énergétique. Maria et Linderhof (2001) constate une corrélation négative entre la présence des adolescents dans le logement et le niveau de la consommation de gaz.

15. Ces résultats vont dans le sens d'études antérieure. Cf. : Brounen et collab. (2012), Belaid (2016), Nesbakken (2001), Rehdanz (2007), Poyer et Williams (1993).

16. Résultat en contradiction avec Leahy et Lyons (2010) qui montre que les ménages dont la personne de référence est âgée entre 45 et 65 ans se caractérisent par la consommation d'électricité la plus élevée.

Enfin, pour ce qui est du revenu, les résultats des régressions effectuées sur l'ensemble des ménages montrent que la consommation et la dépense d'énergie augmentent avec le revenu. Ces résultats restent valables après ventilation par source d'énergie sauf pour les ménages qui utilisent le bois. Cependant, puisque dans les données nous ne disposons que du revenu en tranche, il nous est impossible de lever l'interrogation soulevée dans le Chapitre 1 quant à la nature normale ou supérieure de l'énergie comme bien de consommation.

3.5.4 Autre déterminants

L'utilisation d'un chauffage secondaire dans le logement est une source de surconsommation (dépense) énergétique. Les résultats montrent que les ménages qui ne disposent pas d'un chauffage secondaire se caractérisent par une consommation et une dépense énergétique totale moins élevée par rapport à ceux qui en disposent. Cependant, il est à noter que les résultats montrent également que l'utilisation d'un chauffage secondaire conduit à une baisse dans l'utilisation du chauffage principal, quelque soit l'énergie avec laquelle celui-ci fonctionne.

Enfin, pour ce qui est du prix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage, plus celui-ci est élevé, plus la consommation énergétique totale du logement est faible, mais plus la dépense est élevée. Ces deux résultats confirment d'une part la négativité de l'élasticité de la demande d'énergie par rapport à son prix, démontrée théoriquement dans le chapitre 1, et de l'autre, permettent de répondre à l'interrogation soulevée dans ce même chapitre quant à l'élasticité-prix directe de la demande de chauffage en affirmant que l'importance du service chauffage est telle que quand le prix de l'énergie augmente, le ménage sacrifie la consommation des autres biens de marché pour avoir suffisamment de ressources pour se chauffer.

TABLEAU 3.3 – Les déterminants de la consommation et de la dépense totale (Base CLODE)

	Consommation totale		Dépense totale	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	1,030***	0,109	-344,92***	81,19
Taille du ménage				
Une personne		Référence		
Deux personnes	0,099***	0,032	117,9***	23,51
Trois personnes	0,163***	0,040	182,53***	29,94
Quatre personnes ou plus	0,221***	0,041	272,88***	30,62
Log_Chauf				
Logement coll., chauffage indiv.	0,02	0,037	-6,65	27,29
Logement et chauffage collectifs	-0,4625***	0,061	-745,17***	45,28
Logement et chauffage individuels		Référence		
Zone climatique				
Zone froide	0,149***	0,024	82,47***	18,01
Zone chaude ou modérée		Référence		
Age de la personne de la référence				
Moins de 35 ans		Référence		
De 35 à 44 ans	-0,0306	0,045	-46,27	33,66
De 45 à 55 ans	-0,0515	0,044	-39,87	32,69
De 55 à 65 ans	-0,0065	0,045	-43,35	33,45
Plus de 65 ans	0,06	0,046	-9,89	34,35
Taille du logement	0,0048***	0,000	3,86***	0,23
Revenu du ménage	0,022***	0,003	24,26***	2,45
Statut d'occupation				
Locataire secteur social	-0,0654	0,042	-78,18**	31,16
Locataire secteur libre	0,0739**	0,037	101,86***	27,64
Propriétaire		Référence		
Chauffage secondaire				
Non	-0,2309***	0,027	-30,47	20,17
Oui		Référence		
Système de régulation				
Centralisé	0,0294	0,034	71,71***	25,36
Individualisé	0,0702**	0,033	65,75***	24,35
Aucun système		Référence		
Source d'énergie pour le chauffage				
Fioul	2,932***	0,078	3619,33***	57,81
Gaz	0,5386***	0,073	1099,64***	53,91
ER	1,0236***	0,118	178,49**	87,54
Électricité		Référence		
Prix d'énergie	-0,0008***	0,000	0,27***	0,05
Correcteur_elec	0,5273***	0,030	592,91***	22,51
Correcteur_gaz	0,2135***	0,025	69,72***	18,83
Correcteur_FMP	-0,9204***	0,029	-1179,31***	21,78
Correcteur_ER	0,2159***	0,032	444,74***	24,11
Obs	4032,00			
$R^2_{carré}$	0,60		0,7044	

TABLEAU 3.4 – Les déterminants de la consommation et de la dépense de gaz (Base CLODE)

	Consommation Gaz		Dépense Gaz	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	0,93***	0,107	533***	87,7
Prix gaz (TEP)	-0,0009***	0,001	-0,2***	0,062
Statut d'occupation				
Locataire secteur social	0,135***	0,042	99,6***	34,56
Locataire secteur libre	-0,013	0,047	-24,92	38,60
Propriétaire		Référence		
Age de la personne de référence				
Moins de 35 ans		Référence		
De 35 à 44 ans	-0,016	0,053	-19,92	43,56
De 45 à 55 ans	-0,13**	0,052	-105**	42,71
De 55 à 65 ans	-0,13**	0,052	-129***	42,71
Plus de 65 ans	-0,03	0,052	-47,45	42,32
Type de logement et système de chauffage				
Logement coll., chauffage indiv.	0,17***	0,042	136,4***	34,26
Logement et chauffage collectifs	-0,32***	0,055	-465***	45,03
Logement et chauffage individuels		Référence		
Taille du logement	0,005***	0,0001	3,73***	0,37
Zone climatique				
Zone froide	0,18***	0,030	150,04***	24,21
Zone chaude ou modérée		Référence		
Revenu du ménage	0,022***	0,003	17,22***	2,81
Chauffage secondaire				
Non	0,065*	0,037	82,58***	29,78
Oui		Référence		
Correcteur1	0,66***	0,084	599,82***	68,58
Correcteur2	-3,17***	0,101	-2807***	82,45
Correcteur3	2,28***	0,131	1995***	107
Obs	1594			
R_carré	0,66		0,67	

TABLEAU 3.5 – Les déterminants de la consommation et de la dépense de l'électricité (Base CLODE)

	Consommation Électricité		Dépense Électricité	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	1,3834***	0,077	-189,52*	98,43
Prix_tep_elec	-0,0007***	0,000	0,61***	0,06
Taille du ménage				
Une personne		Référence		
Deux personnes	0,107***	0,024	143,53***	30,58
Trois personnes	0,2374***	0,030	318,88***	38,01
Quatre personnes ou plus	0,327***	0,030	435,44***	37,90
log-chauf				
Logement coll., chauffage indiv.	-0,0992***	0,027	-147,64***	35,16
Logement et chauffage individuels		Référence		
Taille du logement	0,0013***	0,000	2,13***	0,30
Zone climatique				
Zone froide	0,0806***	0,019	119,68***	24,54
Zone chaude ou modérée		Référence		
Revenu du ménage	0,0058*	0,003	8,41**	3,91
Système de régulation				
Centralisé	0,0697***	0,026	87,94***	33,48
Individualisé	0,0522**	0,023	81,52***	29,91
Aucun système		Référence		
Chauffage secondaire				
Non	0,0563***	0,021	68,94***	26,62
Oui		Référence		
Correcteur1	0,303***	0,032	419,61***	41,26
Correcteur2	-1,4884***	0,064	-2087,12***	82,13
Correcteur3	1,0403***	0,067	1480,68***	86,14
Obs				
R_carré	0,599		0,65	

TABLEAU 3.6 – Les déterminants de la consommation et de la dépense de fioul (Base CLODE)

	Consommation de fioul		Dépense de fioul	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	3,15***	0,344	1615***	383
Prix du fioul (TEP)	-0,001***	0,0003	0,79***	0,30
Age de la personne de référence				
Moins de 35 ans		Référence		
De 35 à 44 ans	-0,210	0,135	-252*	151
De 45 à 55 ans	-0,267**	0,129	-311**	144
De 55 à 65 ans	-0,261**	0,129	-310**	143
Plus de 65 ans	-0,134	0,127	-162	141
Taille du logement	0,002***	0,0005	1,92***	0,52
Zone climatique				
Zone froide	0,142***	0,049	159***	54,8
Zone chaude		Référence		
Revenu du ménage	0,022***	0,007	24,8***	8,06
Chauffage secondaire				
Oui		Référence		
Non	0,163***	0,046	178***	50,8
Correcteur1	0,094	0,18	121	204
Correcteur2	-0,492***	0,07	-543***	82
Correcteur3	1,038***	0,18	1125***	198
Observations	585			
R_carré	0,56		0,57	

TABLEAU 3.7 – Les déterminants de la consommation et de la dépense de bois (Base CLODE)

	Consommation de bois		Dépense en bois	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	250	183	1,70***	0,43
Prix du bois (TEP)	0,24***	0,08	-0,001***	0,0002
Taille du ménage				
Une personne			Référence	
Deux personnes	129	85,2	0,014	0,19
Trois personnes	255**	105	0,424*	0,23
Quatre personnes ou plus	160	104	0,376	0,23
Zone climatique				
Zone froide	195***	60,1	0,444***	0,13
Zone chaude			Référence	
Age de la personne de référence				
Moins de 44 ans			Référence	
De 45 à 55 ans	-94,4	76,8	-0,017	0,18
De 55 à 65 ans	91,1	81,6	0,488**	0,19
Plus de 65 ans	82,6	93,0	0,535**	0,21
Taille du logement	0,25	0,782	0,005***	0,002
Chauffage secondaire				
Oui			Référence	
Non	167***	59,8	0,217	0,133
Correcteur1	724***	137	0,65**	0,33
Correcteur2	110	120	0,51*	0,30
Correcteur3	-902***	96,0	-1,05***	0,24
Observations	421			
R-carré	0,21		0,21	

3.6 Conclusion

L'intérêt de ce chapitre est double. D'un côté il permet d'identifier les facteurs qui déterminent le choix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage principal dans les logements en France et de l'autre il explique le niveau de la consommation et de la dépense énergétiques domestiques engendrées par ce choix.

Le choix d'un modèle à sélection endogène à deux étapes permettant de calculer des correcteurs de biais de sélection nous rassure quant à la fiabilité de nos estimateurs.

Les trois principaux déterminants du choix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage sont : le besoin énergétique du logement, l'accessibilité aux sources d'énergie et le prix des sources d'énergie.

Les résultats de la première étape montrent que plus le besoin énergétique du logement est élevé, plus le ménage investit afin d'utiliser des sources d'énergie moins chères comme le gaz. Le besoin énergétique du logement est reflété par la taille du logement, sa localisation géographique et son type (maison individuelle ou logement dans un immeuble collectif).

L'accessibilité à la source d'énergie est un des déterminants les plus importants du choix. Cela se reflète dans la faible utilisation du gaz dans les zones rurales et les petites unités urbaines.

Le prix de la source d'énergie et les réglementations thermiques successives impactent également le choix de la source d'énergie pour le chauffage de façon très significative. L'année de construction du logement est un bon indicateur des prix des différentes sources d'énergie et de l'entrée en vigueur des différentes réglementations thermiques lors de la construction du logement. Les résultats montrent que les différents chocs pétroliers et que les réglementations thermiques successives ont eu un impact très significatif dans le choix de la source d'énergie pour le chauffage.

En ce qui concerne la consommation et la dépense énergétique domestiques, les résultats sont conformes aux attentes. Plus les besoins énergétiques du logement (surface - nombre de pièces - zone chaude ou froide) et de ses occupants (taille du ménage...) sont importants, plus la consommation et la dépense énergétiques sont élevées.

Les logements équipés de chauffages démunis de systèmes de régulation se caractérisent par les consommations et les dépenses énergétiques les plus faibles.

D'un autre côté les résultats montrent que dans les logements équipés d'un chauffage avec système de régulation au niveau de chaque émetteur, la consommation et la dépense énergétiques sont plus faibles que dans les logements équipés d'un chauffage avec régulation centralisée.

Enfin, lorsque les prix des sources d'énergies utilisées pour le chauffage augmentent, la quantité d'énergie consommée diminue mais le niveau de la dépense énergétique augmente. Cela semble indiquer qu'il existe un niveau de consommation minimal en-dessous duquel les ménages ne peuvent descendre et qu'ils sont prêts à payer le prix pour s'y maintenir.

3.A Annexe

3.A.1 Résultats des régressions du modèle de choix discret avec BDF et DPE

TABLEAU 3.8 – Les déterminants du choix de la source d'énergie (Base DPE)

	Gaz		Fioul		ER	
	Coef	Écart-type	Coef	Écart-type	Coef	Écart-type
Constante	43.48 ***	8.56	53.42 ***	13.16	42.26 ***	13.80
Statut d'occupation						
Propriétaire			Référence			
Locataire secteur social	1.33 ***	0.24	-0.33	0.60	-1.20	0.77
Locataire secteur libre	-0.23	0.24	-0.07	0.37	-0.52	0.44
Zone climatique						
Zone chaude ou modérée			Référence			
Zone froide	0.31 **	0.14	0.21	0.21	0.02	0.22
Type de logement et mode de chauffage						
Logement et chauffage individuels			Référence			
Logement collectif, chauffage individuel	1.24 ***	0.38	0.11	1.10	-12.63	432
Logement et chauffage collectifs	0.06	0.21	-1.55 ***	0.57	-1.94 ***	0.66
Année de construction	-0.023 ***	0.004	-0.029 ***	0.007	-0.022 ***	0.007
Taille de l'unité urbaine						
Moins de 4999 habitants	-1.72 ***	0.20	0.91 ***	0.26	2.09 ***	0.36
5000 à 19999 habitants	-0.60 ***	0.22	0.46	0.35	1.24 ***	0.45
20000 à 99999 habitants	-0.13	0.20	0.73 **	0.33	1.71 ***	0.43
100000 et plus			Référence			
Nombre de pièces du logement						
Une ou deux			Référence			
Trois	0.88 ***	0.32	0.67	0.88	-0.24	0.77
Quatre	1.03 ***	0.33	1.03	0.86	-0.62	0.77
Cinq ou plus	1.07 ***	0.35	0.83	0.87	-0.34	0.77
Taille du ménage (nombre de personnes)						
Une			Référence			
Deux	-0.22	0.20	-0.05	0.29	0.40	0.38
Trois	-0.14	0.24	-0.04	0.36	1.09 ***	0.42
Quatre ou plus	0.17	0.22	-0.25	0.34	1.35 ***	0.41
Revenu du ménage	-0.011	0.02	-0.131 ***	0.04	-0.127 **	0.06
Dépense énergétique	0.587 ***	0.11	1.423 ***	0.15	-0.053	0.17

TABLEAU 3.9 – Les déterminants du choix de la source d'énergie (Base BDF)

	Gaz		Fioul		ER	
	Coef	Écart-type	Coef	Écart-type	Coef	Écart-type
Constante	-2.41 ***	0.23	-3.76 ***	0.41	-2.92 ***	0.47
Statut d'occupation						
Propriétaire			Référence			
Locataire secteur social	1.24 ***	0.16	-2.49 **	1.02	-2.00 ***	0.73
Locataire secteur libre	-0.42 ***	0.12	-0.46 ***	0.17	-0.92 ***	0.20
Zone climatique						
Zone chaude ou modérée			Référence			
Zone froide	0.70 ***	0.09	0.04	0.11	0.26 **	0.12
Type de logement et mode de chauffage						
Logement et chauffage individuels			Référence			
Logement collectif, chauffage individuel	0.41 ***	0.13	-1.53 ***	0.32	-2.04 ***	0.4447
Année de construction						
1948 ou avant	0.75 ***	0.14	0.55 ***	0.16	1.11 ***	0.20
1949 à 1961	1.08 ***	0.18	0.78 ***	0.22	1.17 ***	0.27
1962 à 1967	1.05 ***	0.24	1.00 ***	0.29	0.24	0.49
1968 à 1974	1.15 ***	0.18	0.98 ***	0.20	0.68 **	0.28
1975 à 1981			Référence			
1982 à 1989	-0.71 ***	0.16	-1.16 ***	0.21	-0.31	0.23
1990 à 1998	-0.35 **	0.17	-0.49 **	0.22	0.17	0.25
1999 à 2003	0.39 **	0.17	-0.41 *	0.22	-0.12	0.26
2004 à 2011	0.10	0.18	-1.24 ***	0.26	0.21	0.24
Taille de l'unité urbaine						
Commune rurale	-2.13 ***	0.14	0.96 ***	0.16	1.19 ***	0.19
2000 à 9999 habitants	-0.77 ***	0.14	0.39 **	0.19	0.64 ***	0.22
10000 à 49999 habitants	-0.26 *	0.13	0.48 **	0.20	0.53 **	0.25
50000 à 199999 habitants	0.25 **	0.13	0.44 **	0.21	0.31	0.27
200000 à 1999999 habitants			Référence			
Agglomération de Paris	-0.70 ***	0.15	-0.67**	0.28	-0.96**	0.46
Nombre de pièces du logement						
Une ou deux			Référence			
Trois	0.74 ***	0.16	0.58	0.37	0.66	0.41
Quatre	0.99 ***	0.18	0.92 **	0.36	0.94 **	0.40
Cinq ou plus	1.18 ***	0.19	0.84 **	0.36	1.14 ***	0.40
Taille du ménage (nombre de personnes)						
Une			Référence			
Deux	-0.15	0.11	-0.41 ***	0.14	0.40 **	0.18
Trois	-0.11	0.14	-0.31 *	0.18	0.57 ***	0.21
Quatre ou plus	-0.05	0.13	-0.34 **	0.17	0.76 ***	0.21
Revenu du ménage	-0.013	0.01	-0.092 ***	0.02	-0.049	0.03
Dépense énergétique	0.778 ***	0.07	1.482 ***	0.08	-0.4022 ***	0.10

3.A.2 Résultats de la régression des équations de demande et dépense énergétique avec DPE

TABLEAU 3.10 – Les déterminants de la consommation et de la dépense d'électricité (Base DPE)

	Consommation Electricité		Dépense électricité	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	1,9***	0,1	-67,88	123
Prix électricité (TEP)	-0,0008***	0,0001	0,57***	0,07
Type de logement et système de chauffage				
Logement collectif, chauffage individuel	-0,097**	0,04	-135***	52
Logement et chauffage individuels		Référence		
Taille du ménage				
Une personne			Référence	
Deux personnes	0,09*	0,04	86,6*	50
Trois personnes	0,21***	0,05	280***	62
Quatre personnes ou plus	0,35***	0,05	467***	65
Taille du logement	0,001***	0,0003	2,03***	0,39
Revenu du ménage	0,016***	0,004	22,2***	5,2
Mode de régulation				
Centralisé	0,11**	0,04	146***	52,3
Individualisé	0,05	0,04	89*	49
Aucun système		Référence		
Correcteur1	0,27***	0,05	350***	64,4
Correcteur2	(-1,53***	0,11	(-2204***	133
Correcteur3	1,14***	0,12	1700***	140
Obs	492			
R_carré	0,6		0,69	

TABLEAU 3.11 – Les déterminants de la consommation et de la dépense de gaz (Base DPE)

	Consommation Gaz		Dépense gaz	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	1,29***	0,136	655,3***	122,23
Prix_tep_gaz	-0,0008***	0,000	-0,06	0,08
Statut d'occupation				
Locataire secteur social	-0,14***	0,052	-81,3*	46,44
Locataire secteur libre	-0,005	0,06	-27,8	55,9
Propriétaire		Référence		
Type de logement et système de chauffage				
Logement collectif, chauffage individuel	0,16***	0,051	128***	45,73
Logement et chauffage collectifs	-0,43***	0,072	-565,***	64,87
Logement et chauffage individuels		Référence		
Taille du ménage				
Quatre personnes ou plus	0,10*	0,057	137***	51,04
Trois personnes	0,023	0,058	28,9	51,74
Deux personnes	-0,029	0,047	-16,24	41,93
Une personne		Référence		
Taille du logement	0,004***	0,001	2,72***	0,60
Revenu du ménage	0,0361***	0,004	26,9***	3,93
Chauffage secondaire				
Non	0,17***	0,041	169***	36,88
Oui		Référence		
Correcteur1	1,05***	0,12	814***	106,8
Correcteur2	-2,44***	0,123	-2351***	111
Correcteur3	1,37***	0,187	1463,04***	168
Obs	564			
R_carré	0,72		0,72	

TABLEAU 3.12 – Les déterminants de la consommation et de la dépense de fioul (Base DPE)

	Consommation de fioul		Dépense en fioul	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	3,08***	0,41	1477***	455
Prix du fioul (TEP)	-0,001***	0,0003	0,56	0,36
Taille du ménage				
Une personne		Référence		
Deux personnes	-0,21**	0,09	-243**	100
Trois personnes	-0,04	0,12	-41,7	136
Quatre personnes ou plus	-0,06	0,13	-81,0	132
Revenu du ménage	0,06***	0,02	65,2***	18,7
Système de régulation				
Aucun système		Référence		
Centralisé	0,30***	0,11	348***	128
Individualisé	0,22**	0,12	285**	129
Correcteur1	0,41	0,30	424,76	331,9755
Correcteur2	-0,79***	0,11	-844***	121
Correcteur3	0,90***	0,30	999***	330
Observations	179			
R_carré	0,62		0,63	

TABLEAU 3.13 – Les déterminants de la consommation et de la dépense de bois (Base DPE)

	Consommation de bois		Dépense en bois	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	2,7109***	0,5657	96,59	215,9293
Prix du bois (TEP)	-0,001***	0,0003	0,33***	0,11
Zone climatique				
Zone froide	0,46**	0,22	97,0	82,8
Zone chaude		Référence		
Taille du logement	0,006**	0,003	-0,85	1,16
Classe énergétique				
A-B	0,77	1,08	-129	414
C	-0,95***	0,35	-113	135
D	-0,47*	0,28	59,5	108
E	-0,30	0,25	36,2	94,3
F-G		Référence		
Correcteur1	1,05**	0,50	808***	189
Correcteur2	0,01	0,51	210	194
Correcteur3	-0,78*	0,44	-1249***	169
Observations	123			
R_carré	0,36		0,53	

TABLEAU 3.14 – Les déterminants de la consommation et de la dépense totales (Base DPE)

	Consommation totale		Dépense totale	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	0,8485***	0,151	-705,87***	116,74
statut d'occupation				
Locataire secteur social	-0,1653***	0,063	-201,25***	48,76
Locataire secteur libre	0,1076*	0,061	124,6***	46,81
Propriétaire			Référence	
Type de logement et système de chauffage				
Logement collectif, chauffage individuel	-0,0352	0,054	-76,37*	41,77
Logement et chauffage collectifs	-0,5014***	0,091	-812,54***	70,34
Logement et chauffage individuels			Référence	
Taille du ménage				
Une personne			Référence	
Deux personnes	0,0815*	0,048	41,72	36,89
Trois personnes	0,1604***	0,062	142,32***	47,78
Quatre personnes ou plus	0,2312***	0,064	198,19***	49,62
Age de PR				
Moins de 35 ans			Référence	
De 35 à 44 ans	0,0352	0,071	-9,6	55,00
De 45 à 55 ans	0,0647	0,071	-4,48	54,40
De 55 à 65 ans	0,0754	0,072	-33,65	55,59
Plus de 65 ans	0,1246	0,076	-22,21	58,72
Zone climatique				
Zone froide	0,0765**	0,036	30,96	28,02
Zone chaude ou modérée			Référence	
Taille du logement	0,0031***	0,001	2,49***	0,37
Revenu du ménage	0,0393***	0,005	43,89***	3,84
Chauffage secondaire				
Non	-0,1744***	0,039	11,31	29,83
Oui			Référence	
Système de régulation				
Centralisé	0,1339**	0,052	145,65***	40,10
Individualisé	0,1621***	0,052	153,25***	39,69
Aucun système			Référence	
Source chauffage				
Fioul	2,6834***	0,114	3485,48***	88,04
Gaz	0,9426***	0,110	1575,25***	84,49
ER	1,6295***	0,190	671,73***	146,82
Electricité			Référence	
Classe énergétique				
A-B	-0,0112	0,118	157,74*	90,95
C	-0,137**	0,064	18,99	49,26
D	-0,0747	0,051	42,74	38,93
E	-0,0307	0,047	37,9	36,13
F-G			Référence	
Prix d'énergie	-0,0008***	0,000	0,38***	0,06
Correcteur_elec	0,6672***	0,048	694,81***	37,16
Correcteur_gaz	0,0793**	0,040	-126,89***	30,56
Correcteur_FMP	-0,6536***	0,045	-978,85***	34,57
Correcteur_ER	-0,0455	0,054	292,41***	41,33
Obs	1396,00			
R_carré	0,57		0,71	

3.A.3 Résultats de la régression des équations de demande et dépense énergétique avec BDF

TABLEAU 3.15 – Les déterminants de la consommation et de la dépense d'électricité (Base BDF)

	Consommation électrique		Dépense en électricité	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	0,29***	0,019	621***	32,9
Type de logement et système de chauffage				
Logement Collectif, chauffage individuel	-0,13***	0,014	-232***	25,0
Logement et chauffage individuels	0		0	
Zone climatique				
Zone froide	0,07***	0,01	123***	16,1
Zone chaude			Référence	
Taille du logement	0,001***	0,0001	2,6***	0,25
Statut d'occupation				
Propriétaire			Référence	
Locataire secteur social	-0,05**	0,02	-86,1**	36,7
Locataire secteur libre	-0,08***	0,01	-142***	21,7
Taille du ménage				
Une personne			Référence	
Deux personnes	0,13***	0,01	236***	20,4
Trois personnes	0,18***	0,01	311***	25,8
Quatre personnes ou plus	0,24***	0,01	420***	25,5
Revenu du ménage	0,011***	0,001	19,9***	1,60
Correcteur1	0,0006	0,02	1,01	29,5
Correcteur2	-1,10***	0,03	-1936***	46,9
Correcteur3	1,09***	0,03	1926***	52,3
Observations	1867			
R_carré	0,73			

TABLEAU 3.16 – Les déterminants de la consommation et de la dépense de gaz (Base BDF)

	Consommation de gaz		Dépense en gaz	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	0,30***	0,04	495***	39,5
Zone climatique				
Zone froide	0,11***	0,02	117***	17,5
Zone chaude		Référence		
Taille du ménage				
Une personne		Référence		
Deux personnes	0,078***	0,022	80,8***	22,7
Trois personnes	0,121***	0,027	125***	27,6
Quatre personnes ou plus	0,134***	0,026	139***	26,8
Taille du logement	0,002***	0,0002	1,95***	0,22
Revenu du ménage	0,025***	0,003	26,1***	3,04
Correcteur1	0,278***	0,045	287***	46,7
Correcteur2	-1,79***	0,049	-1851***	51,2
Correcteur3	1,50***	0,079	1558***	81,7
Obs	1436			
R_carré	0,68		0,68	

TABLEAU 3.17 – Les déterminants de la consommation et de la dépense de fioul (Base BDF)

	Consommation de fioul		Dépense en fioul	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	2,18***	0,09	1800***	71,4
Taille du logement	0,001**	0,0005	1,01**	0,40
Zone climatique				
Zone froide	0,155***	0,047	128***	38,7
Zone chaude		Référence		
Taille du ménage				
Une personne		Référence		
Deux personnes	0,155**	0,061	128**	50,7
Trois personnes	0,104	0,079	86,1	65,5
Quatre personnes ou plus	0,135*	0,075	111*	62,1
Revenu du ménage	0,039***	0,010	31,8***	8,57
Correcteur1	0,116	0,155	95,3	127
Correcteur2	-0,994***	0,073	-820***	59,9
Correcteur3	1,62***	0,162	1332***	133
Observations	814			
R_carré	0,61		0,61	

TABLEAU 3.18 – Les déterminants de la consommation et de la dépense de bois (Base BDF)

	Consommation de bois		Dépense en bois	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	0,598***	0,164	257***	70,6
Taille du logement	-0,002***	0,0006	-0,93***	0,28
Zone climatique				
Zone froide	0,25***	0,07	108***	29,5
Zone chaude		Référence		
correcteur1	0,558***	0,152	241***	65,4
correcteur2	0,247*	0,145	106*	62,8
correcteur3	***		-418***	50,7
Observations	455			
R_carré	0,21		0.21	

TABLEAU 3.19 – Les déterminants de la consommation et de la dépense énergétiques totales (Base BDF)

	Consommation totale		Dépense totale	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	-0,06***	0,068	144***	63,9
Statut d'occupation				
Propriétaire			Référence	
Locataire secteur social	-0,163***	0,033	-166***	31
Locataire secteur libre	0,005	0,023	31,6	21,5
Type de logement et système de chauffage				
Logement et chauffage individuels			Référence	
Logement coll., chauffage indiv.	-0,090***	0,0238	-119***	22,5
Zone climatique				
Zone froide	0,136***	0,015	89,2***	14,1
Zone chaude ou modérée			Référence	
Taille du ménage				
Une personne			Référence	
Deux personnes	0,184***	0,020	211,04***	18,7
Trois personnes	0,221***	0,026	270***	24,5
Quatre personnes ou plus	0,238***	0,026	314***	25
Age de PR				
Moins de 35 ans			Référence	
De 35 à 44 ans	-0,008	0,027	-5,23	25,9
De 45 à 55 ans	0,013	0,027	37,38	25,2
De 55 à 65 ans	0,027	0,029	43	26,9
Plus de 65 ans	0,033	0,029	47,99*	27,3
Source d'énergie				
Électricité			Référence	
Fioul	2,92***	0,069	2441***	65,019
Gaz	0,672***	0,066	839***	62
ER	-0,348***	0,058	-719***	55,3662
Taille du logement	0,003***	0,0002	3,36***	0,178
Revenu du ménage	0,020***	0,002	29,03***	1,913
Correcteur_elec	0,324***	0,019	393***	17,66
Correcteur_gaz	0,0029	0,016	-95,01***	15
Correcteur_FMP	-0,845***	0,017	-865***	16
Correcteur_ER	0,557***	0,0209	516,04***	19,79
Observation	4572			
R_carré	0,71		0,69	

Chapitre 4

Les déterminants du choix du système de chauffage et son impact sur la consommation et la dépense énergétiques pour les logements locatifs en France

4.1 Introduction

Les logements du secteur locatif représentent 30% du stock de logements en France. Ils se différencient de ceux occupés par leurs propriétaires tant par leurs caractéristiques que par celles des ménages qui les occupent. De par ces différences, le rapport à la question énergétique chez les locataires ne peut être identique à celui des propriétaires, du moins en théorie. De ce fait, une bonne analyse de la consommation et de la dépense énergétiques pour le chauffage dans le secteur locatif nécessite qu'une étude lui soit particulièrement dédiée.

Cette nécessité, suggérée par l'intuition et le bon sens, se justifie empiriquement à la lumière de l'analyse factorielle et de la classification réalisées dans le chapitre 2 de cette thèse. Pour rappel, le dendrogramme retraçant les différents regroupements suggère une classification des logements en France en trois ou en cinq classes. Dans les deux cas, nous obtenons une classe contenant très majoritairement des logements du secteur locatif, le reste des classes contenant les logements occupés par leurs propriétaires. Ces deux classifications sont d'autant plus intéressantes que pour les effectuer, le statut d'occupation du logement n'est pas retenu parmi les variables actives de l'analyse factorielle.

Une seconde raison justifiant que l'on consacre une étude à la question de la consommation énergétique pour le chauffage dans le secteur du logement locatif consiste en le fait qu'en France, le parc résidentiel locatif se décompose en secteur privé et en secteur social. Ces deux secteurs

ont d'une part des logiques économiques et des objectifs sociaux différents et de l'autre sont occupés par des ménages ayant des caractéristiques socioéconomiques différentes. De ce fait, la dichotomie entre les deux secteurs locatifs apparaît non seulement à travers les caractéristiques intrinsèques des logements, mais également à travers les équipements de chauffage dont ils disposent et l'utilisation de l'énergie qui en est faite.

Nous poursuivons dans ce chapitre deux objectifs. Premièrement, nous cherchons à montrer empiriquement l'existence ou non de la dichotomie entre le secteur social et le secteur libre, décrite précédemment. Cela est réalisée en recourant à une analyse factorielle et à une classification ascendante hiérarchique sur un échantillon de ménages locataires. Deuxièmement, nous souhaitons mettre en lumière les particularités qui peuvent distinguer le secteur locatif social du secteur locatif libre tant au niveau des déterminants des choix d'équipements de chauffage qu'au niveau de la consommation et de la dépense énergétique. Pour ce faire, nous réalisons une série de régressions économétriques sur les logements locatifs, en séparant ceux qui appartiennent au secteur libre de ceux qui appartiennent au secteur social, l'idée de base étant de faire une comparaison entre les deux secteurs.

Nous nous confrontons dans ce chapitre au même problème de biais de sélection que dans le chapitre précédant. Cependant, puisque dans le secteur locatif les chauffages sont pour leur très grande majorité soit électriques soit au gaz de ville, nous n'avons en pratique que deux alternatives, ce qui nous permet de traiter ce biais par la méthode de Heckman dont la méthode de Dubin et Mcfadden utilisée dans le chapitre précédent est une généralisation.

Pour effectuer nos analyses et nos régressions, nous nous appuyons sur les données de la base CLODE issue de l'enquête PHEBUS présentée dans le chapitre 2.

La suite du chapitre se présente comme suit. Dans la section 2 nous présentons les résultats de l'analyse factorielle et de la classification effectuées sur les seuls logements du secteur locatif. Dans la section 3 nous présentons les résultats des régressions économétriques. Nous concluons dans la section 4 par un rappel des principaux résultats.

4.2 Catégorisation des logements du secteur locatif

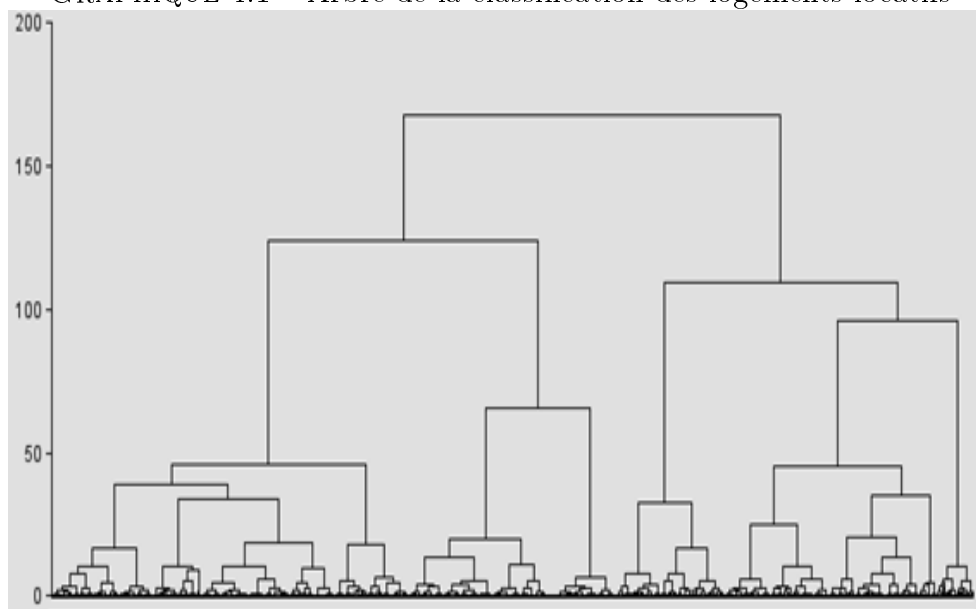
Nous effectuons ici une analyse des correspondances multiples (ACM) suivie d'une classification ascendante hiérarchique (CAH).

Concernant l'ACM, les variables actives et les variables supplémentaires sont les mêmes qu'au chapitre 2. Les résultats obtenus ici sont très proches de ceux obtenus dans le chapitre 2. Nous nous contentons de les présenter en annexe.

Pour ce qui est de la CAH, la figure 4.1 montre le dendrogramme retraçant les différentes

étapes du regroupement des logements. Il en ressort qu'une classification en 4 ou en 2 groupes sont toutes deux pertinentes.

GRAPHIQUE 4.1 – Arbre de la classification des logements locatifs



Avant d'analyser en détail les caractéristiques des groupes issus de la classification, il convient de noter que seulement 16% des logements du secteur locatif sont équipés d'un chauffage au Fuel, Mazout, Pétrole (FMP) ou aux Énergies renouvelables (ER) contre 33% pour ce qui est des logements occupés par leurs propriétaires. De ce fait, nous nous concentrons ici sur les logements chauffés à l'électricité ou au gaz. En cela, nous couvrons la majorité des logements tout en nous assurant d'exclure des observations aberrantes susceptibles de mener à des résultats biaisés.

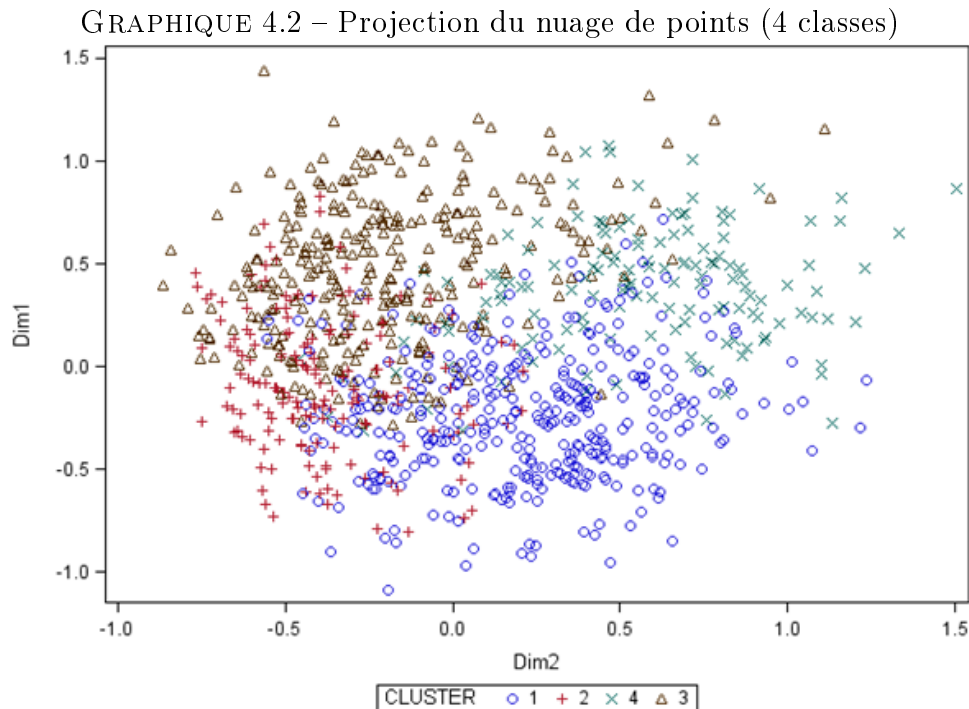
Rappelons par ailleurs que les variables actives dans l'ACM sont exclusivement relatives aux caractéristiques des logements autres que son statut d'occupation. De ce fait, la classification n'en tient pas compte. Par ailleurs, la classification ne tient pas compte non plus des caractéristiques des ménages. Tout ce qui a trait aux caractéristiques des ménages dans l'analyse des spécificités des classes obtenues est le résultat d'une exploration statistique de ces classes après leur formation.

4.2.1 Classification en 4 groupes

Le Tableau 4.1 présente de façon résumée les caractéristiques des 4 classes obtenues. La caractérisation détaillée variable par variable et classe par classe est présentée dans les Tableaux 4.9 et 4.10 figurant en annexe. Les variables dont le noms figure dans ces tableaux sont présentées dans le Chapitre 2.

Par ailleurs, la projection du nuage de points sur le sous-espace composé des deux premiers

axes factoriels après affectation de chaque logement à l'un des 4 groupes (une couleur = un groupe) est présentée dans la figure 4.2.



Ci-après les caractéristiques de chaque classe :

- La première classe contient 38.59 % des observations. Elle regroupe les appartements de petite taille, situés en région parisienne ou dans les petites unités urbaines caractérisées par un hiver froid. Dans les logements de ce groupe, le chauffage fonctionne majoritairement à l'électricité et la consommation énergétique est faible. Les ménages qui occupent les logements de ce groupe sont globalement locataires du secteur libre et jeunes.
- La seconde classe contient 22.43 % des observations. Elle regroupe les appartements de taille moyenne (2 et 3 pièces), situés en région parisienne ou dans les unités urbaines de moyenne taille caractérisées par un hiver chaud. Dans les logements de ce groupe, le chauffage fonctionne majoritairement au gaz de ville et la consommation énergétique est faible. Les ménages qui occupent les logements de ce groupe sont globalement locataires du secteur social, plutôt âgés, de grande taille et avec des revenus plutôt faibles.
- La troisième classe contient 27.17 % des observations. Elle regroupe les maisons individuelles de grande taille (3 et 4 pièces), situées en dehors de la région parisienne, dans les unités urbaines caractérisées par un hiver froid. Dans les logements de ce groupe, le chauffage fonctionne majoritairement au gaz de ville et la consommation énergétique est

élevée. Les ménages qui occupent les logements de ce groupe sont globalement locataires du secteur social, plutôt jeunes, de grande taille et avec des revenus élevés ou moyens.

- La quatrième classe contient 11.79 % des observations. Elle regroupe les maisons individuelles de taille moyenne, situées en zone rurale caractérisées par un hiver chaud. Dans les logements de ce groupe, le chauffage fonctionne majoritairement à l'électricité et la consommation énergétique est plutôt faible. Les ménages qui occupent les logements de ce groupe sont globalement locataires du secteur libre, plutôt jeunes et de grande taille.

Cette classification sépare d'une part les ménages en fonction du statut d'occupation de leur logement et de l'autre en fonction de l'énergie qu'ils utilisent pour le chauffage, avec d'un côté ceux qui résident dans des logements avec un chauffage électrique et de l'autre ceux qui résident dans des logements avec un chauffage au gaz de ville.

TABLEAU 4.1 – Caractérisation des quatre classes

	Groupe 1 (39%)	Groupe 2 (22%)	Groupe 3 (27%)	Groupe 4 (12%)
Énergie utilisée pour le chauffage	Électricité	Gaz	Gaz	Électricité
Consommation énergétique	Faible consommation	Faible consommation	Consommation moyenne - Consommation énergétique moyenne + Consommation énergétique élevée	Consommation moyenne -
Type du logement	Logement collectif Une seule pièce	Logement collectif Deux pièces Trois pièces	Logement individuel Trois pièces Quatre pièces	Logement individuel Deux pièces Trois pièces
Régulation de chauffage	Individualisé	Aucun_sys	Centralisé	Individualisé
Année de construction	Avant 1919 Entre 1919 et 1945 Entre 1991 et 2005	entre 1946 et 1970 Entre 1971 et 1990	1991 à 2005	avant 1919 2006 et après
Chauffage secondaire	Non_chauf_sec Urban_Paris	Non_chauf_sec Urban_Paris	oui_chauf_sec 5000 à 9999 hab. 10000 à 19999 hab. 50 000 à 99 999 habitants	oui_chauf_sec Rurale 5000 à 9999 hab.
Taille de l'unité urbaine	10000 à 19000 hab.	20000 à 49000 hab.		
Zone climatique	Zone froide	Zone chaude	Zone froide	Zone chaude
statut d'occupation du logement	Loc_Libre	Loc_Social	Loc_Social	Loc_Libre
taille du ménage	Une seule personne	Trois personnes Quatre personnes ou plus de 45 à 55 ans De 55 à 65 ans Plus de 65 ans	Trois personnes Trois personnes De 35 à 44 ans	Deux personnes Trois personnes De 35 à 44 ans
Age de la personne de référence	moins de 35 ans			
Revenu du ménage		Entre 17500 et 29000	Entre 29000 et 44000 plus de 44000	

4.2.2 Classification en 2 groupes

Le Tableau 4.2 présente de façon résumée les caractéristiques des 2 classes obtenues. La caractérisation détaillée variable par variable et classe par classe est présentée dans les Tableaux 4.7 et 4.8 figurant en annexe.

Par ailleurs, la projection du nuage de points sur le sous-espace composé des deux premiers axes factoriels après affectation de chaque logement à l'un des 2 groupes (une couleur = un groupe) est présentée dans la figure 4.3.

- La première classe contient 61.03 % des observations. Elle regroupe les appartements de petite et de moyenne taille, situés en région parisienne ou dans les unités urbaines de taille moyenne caractérisées par un hiver froid. Dans les logements de ce groupe, le chauffage fonctionne majoritairement à l'électricité. Les ménages qui occupent les logements de ce groupe sont globalement locataires du secteur libre¹, de petite taille, jeunes, et avec des revenus faibles.
- La seconde classe contient 38.97 % des observations. Elle regroupe les maisons individuelles de moyenne ou de grande, situés en dehors de la région parisienne. Dans les logements de ce groupe, le chauffage fonctionne majoritairement au gaz de ville et la consommation énergétique est plutôt élevée. Les ménages qui occupent les logements de ce groupe sont globalement locataires du secteur social², de grande taille, plutôt âgés et avec des revenus plutôt moyens.

Nous constatons que le passage d'une classification en 4 groupes à une classification en 2 groupes n'a pas fait disparaître le clivage logement du secteur libre logement du secteur social. En plus de consolider l'idée de l'interdépendance entre le besoin énergétique des logements et les énergies avec lesquelles les systèmes de chauffage dont ils sont équipés fonctionnent, montrée théoriquement dans le Chapitre 1 et empiriquement dans le Chapitre 2, ce résultat abonde dans le sens de l'existence d'une différence en terme de logique économiques et d'objectifs sociaux entre les deux secteurs, et illustre que cette différence transparait également à travers les choix des équipements de chauffage et des énergies avec lesquels ils fonctionnent.

De ce fait, pour analyser les choix énergétiques et comparer ce qui se fait dans le secteur libre avec ce qui se fait dans le secteur social, que ce soit concernant le choix des équipements de chauffage ou concernant la demande énergétique des ménages occupants, il est nécessaire de régresser différents modèles économétriques en ventilant selon le statut d'occupation du logement.

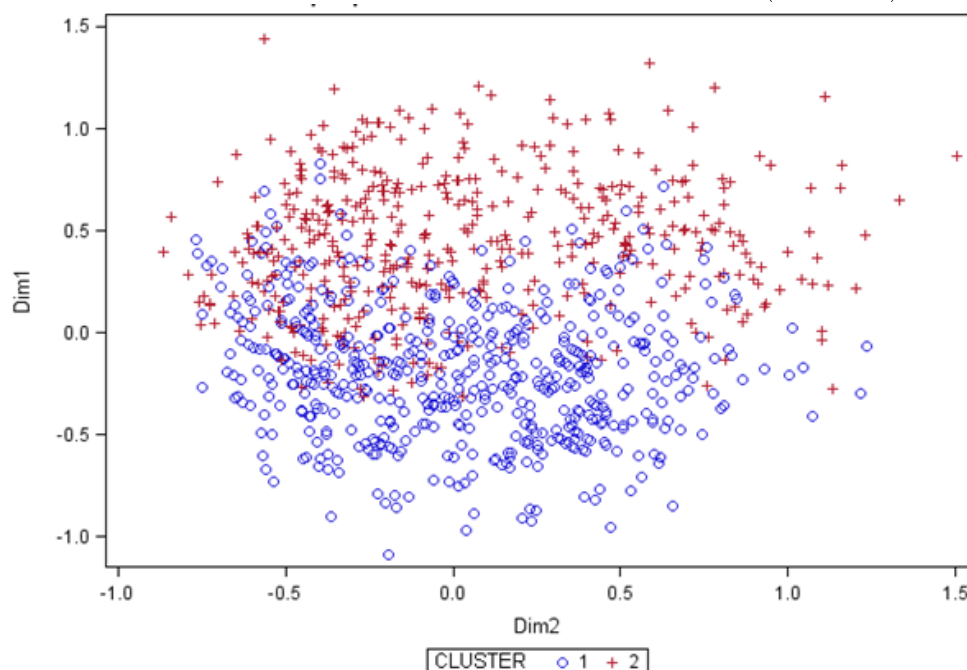
1. Faible significativité

2. Faible significativité

TABLEAU 4.2 – Caractérisation des deux classes

	Groupe 1 (61%)	Groupe 2 (39%)
Énergie utilisée pour le chauffage	Électricité	Gaz
Consommation énergétique	Faible consommation	Consommation moyenne - Consommation énergétique moyenne + Consommation énergétique élevée
Type du logement	Logement collectif	Logement Individuel
Taille du logement	Une seule pièce	Deux pièces trois pièces Quatre pièces
Système de régulation pour le chauffage	Aucun système	Système Centralisé
Année de construction	Système individualisé Entre 1919 et 1990	Entre 1991 et 2005 2006 et après
Chauffage secondaire	Pas de chauffage secondaire	oui_ chauffage secondaire
Taille de l'unité urbaine	Paris 20000 à 49000 hab.	Rurale 5000 à 9999 hab. 10000 à 19999 hab.
Zone climatique	Zone_froide	Zone_chaude
Statut d'occupation du logement	Loc_libre	Loc_social
Taille du ménage	Une seule personne	Trois personnes
Age de la personne de référence	moins de 35 ans	Quatre personnes ou plus Entre 45 et 55 ans
Revenu du ménage	Moins de 29000 par an	Entre 29000 et 44000

GRAPHIQUE 4.3 – Projection du nuage de points (2 classes)



4.3 Choix des équipements de chauffage et demande d'énergie

Comme indiqué dans la section 2, nous nous focalisons dans ce chapitre sur les logements équipés d'un chauffage électrique ou d'un chauffage au gaz de ville. Nous faisons ici face au même problème de biais de sélection présenté dans le chapitre précédent. Cependant, comme le choix discret se résume ici à deux alternatives seulement, nous recourons à la méthode d'Heckman. La méthode de Dubin et Mcfaden exploitée précédemment en est une généralisation.

Notons qu'à l'instar de Dubin et Mcfadden, le recours à la méthode d'Heckman nous permet d'un côté d'analyser les déterminants du choix de l'équipement de chauffage et de l'autre d'analyser les facteurs qui impactent la consommation et la dépense énergétiques engendrées par ce choix.

Notons également que pour analyser la consommation (la dépense) d'une source, il faut considérer les observations relatives aux ménages qui utilisent l'autre source comme "censurées".

Nous effectuons un ensemble de régression sur les logements du secteur libre et un ensemble de régressions sur les logements du secteur social. Pour une bonne lisibilité des résultats, nous les organisons en deux parties. Dans la première nous présentons les déterminants du choix du gaz par rapport à l'électricité et dans la deuxième nous présentons les facteurs qui impactent le niveau de la consommation (dépense) de gaz et d'électricité.

4.3.1 les déterminants du choix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage

Les résultats de la régression effectuée sur les logements du secteur social et ceux de la régression effectuée sur les logements du secteur libre sont présentés dans la Table 4.3. L'électricité est prise ici comme référence.

Les caractéristiques du ménage que nous considérons ici sont sa taille et son revenu. Les estimations sur les deux secteurs montrent que ces caractéristiques n'ont pas d'impact sur le choix de l'énergie utilisée pour le chauffage.

Concernant les caractéristiques des logements, celles que nous prenons en compte sont le mode de chauffage (individuel ou collectif), le type de logement (maison individuelle ou logement collectif), sa taille, l'année de sa construction, la zone climatique et la taille de l'unité urbaine dans laquelle il est localisé.

Les résultats montrent que dans le secteur social, les logements équipés de chauffages collectifs ont une probabilité plus élevée de fonctionner au gaz. Dans le secteur libre, le chauffage collectif n'est présent que dans 5% des logements. Le coefficient associé à la variable mode de chauffage dans la régression relative au secteur libre s'est avéré non significatif³. Concernant le type de logement, le coefficient qui lui est associé est statistiquement non significatif dans les deux secteurs.

Du côté de la taille du logement, les résultats révèlent que, quelque soit le secteur, les grands logements ont plus de chances d'utiliser le gaz pour se chauffer que les petits. Ceci est plus remarquable dans le secteur libre que dans le secteur social. Cela peut être expliqué par le coût de l'investissement nécessaire au raccordement des logements au réseau de gaz de ville. Plus la taille du logement est importante, plus on tend à investir afin d'utiliser une énergie moins chère, le gain généré par l'utilisation de cette source d'énergie pouvant amortir rapidement le coût de l'investissement.

L'année de construction est également un déterminant important du choix de la source d'énergie pour le chauffage. Les résultats montrent que, quelque soit le secteur, la probabilité d'utiliser le gaz pour le chauffage varie selon la période. Les logements construits entre 1971 et 2005 se caractérisent par une faible probabilité d'utiliser le gaz par rapport aux logements construits avant 1970. Pour les logements construits entre l'année 2006 et 2012, le choix de la source d'énergie varie selon le secteur. Les logements du secteur social ont plus de chances d'utiliser le gaz par rapport à l'électricité. Par contre nous constatons l'inverse en ce qui concerne les logements du secteur libre.

La faible utilisation du gaz dans les logements construits entre 1971 et 2005 peut être expliquée par l'augmentation du prix du gaz suite aux crises pétrolières. D'après nos résultats

3. Après avoir vérifié la non significativité du mode de chauffage pour les logements du secteur libre, nous avons décidé de retirer cette variable des régressions

nous constatons que suite à la stabilisation du prix du gaz après les deux crises, le secteur social est retourné à l'utilisation du gaz alors que dans le secteur libre, l'utilisation de l'électricité a continué à croître.

En ce qui concerne la localisation géographique, les estimations sur les deux secteurs montrent que les logements localisés dans les zones froides se caractérisent par une forte probabilité d'utiliser le gaz par rapport à ceux qui sont localisés dans les zones chaudes ou modérées. Cela peut s'expliquer par un besoin de chauffage plus élevé dans les zones froides, d'où un plus grand raccordement aux réseaux de chaleur.

L'autre caractéristique géographique, la taille de l'unité urbaine, est également un facteur important dans le choix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage. Les résultats des estimations sur les deux secteurs révèlent que les logements localisés dans l'agglomération de Paris, les communes rurales et les petites unités urbaines se caractérisent par une forte probabilité d'utiliser l'électricité par rapport au gaz. Les logements localisés dans les unités urbaines moyennes et grandes ont presque la même probabilité d'utiliser le gaz que l'électricité. Ce résultat est valable pour les deux secteurs.

TABLEAU 4.3: Les déterminants du choix de gaz comme une source d'énergie pour le chauffage selon le statut d'occupation du logement (base CLODE)

	Secteur libre		Secteur social	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
Constante	0,14**	0,07	0,61***	0,07
Taille du ménage				
Une personne		Référence		
Deux personnes	-0,03	0,05	0,003	0,05
Trois personnes	0,005	0,06	-0,05	0,05
Quatre personnes ou plus	0,07	0,07	-0,03	0,05
Zone climatique				
Zone froide	0,14***	0,04	0,08**	0,04
Zone chaude ou modérée		Référence		
Type de logement, mode de chauffage				
Logement coll. et chauffage indiv.	-0,07	0,04	-0,007	0,04
Logement et chauffage coll.	.		0,16***	0,05
Logement et chauffage indiv.		Référence		
Année de construction				
Avant 1919	0,12**	0,06	0,021	0,11
1919 à 1945	0,13*	0,07	0,18**	0,07
1946 à 1970	0,22***	0,06	0,17***	0,04
1971 à 1990		Référence		

suite à la page suivante

TABLEAU 4.3: Les déterminants du choix de gaz comme une source d'énergie pour le chauffage selon le statut d'occupation du logement (base CLODE)

	Secteur libre		Secteur social	
	Coef	Écart type	Coef	Écart type
1991 à 2005	0,04	0,06	0,07	0,05
2006 à 2012	-0,15**	0,07	0,15**	0,06
Taille de l'unité urbaine				
Commune rurale	-0,32***	0,06	-0,63***	0,07
De 2 000 à 4 999 habitants	-0,16**	0,07	-0,22***	0,08
De 5 000 à 9 999 habitants	-0,03	0,09	-0,14*	0,08
De 10 000 à 19 999 habitants	-0,09	0,08	-0,09	0,07
De 20 000 à 49 999 habitants	-0,10	0,07	-0,08	0,06
De 50 000 à 99 999 habitants	0,07	0,07	-0,002	0,02
De 100 000 à 199 999 habitants	0,18**	0,075	0,05	0,07
Unité urbaine de Paris	-0,13**	0,06	-0,20***	0,05
De 200 000 à 1 999 999 habitants		Référence		
Taille du logement				
Une ou deux pièces		Référence		
Trois pièces	0,21***	0,05	0,12**	0,05
Quatre pièces	0,32***	0,06	0,10*	0,06
Cinq pièces ou plus	0,36***	0,08	0,14**	0,07
Revenu du ménage	-0,002	0,006	0,004	0,01
_Sigma,chauf_energ	0,41***	0,01	0,36***	0,01

4.3.2 Les déterminants du niveau de la consommation (dépense) de la source d'énergie utilisée pour le chauffage

Les résultats des régressions effectuées sur les logements utilisant le gaz pour se chauffer sont présentés dans le Tableau 4.4 et ceux des régressions effectuées sur les logement utilisant l'électricité sont présentés dans le Tableau 4.5.

Les régressions sont ventilées par secteur.

Notons que dans toutes les régressions, le coefficient relatif au correcteur du biais de sélection est statistiquement significatif.

Nous commentons les résultats relatifs aux régressions sur les logements chauffés au gaz en premier, puis ceux relatifs aux logements chauffés à l'électricité.

Les déterminants de la consommation et de la dépense de gaz

Les caractéristiques que nous prenons en compte afin de déterminer le niveau de la consommation de gaz sont : le type de logement (individuel ou collectif), sa taille, l'année de sa construction, la zone climatique et la taille l'unité urbaine dans laquelle il se localise, le mode de chauffage qui y est utilisé et le système utilisé pour sa régulation.

Par ailleurs, le chauffage collectif n'est utilisé que dans 5% des logement du secteur libre. Nous écartons ces logements lors des régressions.

Enfin, nous choisissons de faire un croisement entre le type de logement, le mode de chauffage et le système de régulation de chauffage afin de bien montrer l'impact du type de logement et du mode de chauffage selon le système de régulation. L'idée est de déterminer les configurations aboutissant à la plus grande consommation énergétique.

Pour les deux secteurs, l'impact de la zone climatique, de l'âge de la personne de référence, du revenu du ménage et de l'utilisation d'un chauffage secondaire ne sont pas statistiquement significatifs pour les deux secteurs.

Par ailleurs, les résultats sur les deux secteurs montrent que les maisons individuelles se caractérisent par une consommation (dépense) de gaz supérieure à celle des logements dans les immeubles collectifs uniquement si elles sont équipées par un système de régulation centralisé. Il est à noter que dans les logements collectifs, le système de régulation pour le chauffage n'a pas un impact statistiquement significatif.

L'impact du mode de chauffage ne peut être relevé que pour les logements du secteur social.

Les résultats montrent que les logements équipés par des chauffages individuels se caractérisent par une consommation et une dépense de gaz plus élevées que ceux qui sont équipés par des chauffage collectifs, à condition que le système de régulation ne soit pas centralisé. Dans le cas d'un système centralisé, le niveau de la consommation et de la dépense de gaz est semblable quelque soit le mode de chauffage⁴. Ceci peut être expliqué par le fait que, quand le système est individualisé, le ménage peut régler le chauffage selon ses besoins au niveau de chaque pièce alors que quand le système est centralisé le ménage ne peut pas contrôler les radiateurs individuellement.

En ce qui concerne les résultats pour les logements équipés avec des chauffages n'ayant aucun système de régulation, nous avons besoin de plus d'informations quant à la façon avec laquelle le chauffage est fourni aux occupants pour être en mesure de donner une explication⁵. Ces

4. Ce résultat va à l'encontre des conclusions d'une étude réalisée par l'ADEME dans laquelle les auteurs affirment que le chauffage collectif est une source de surconsommation et que le passage au chauffage individuel conduirait à une baisse de la consommation énergétique de 20% (Christophe et René (2007)). Cette étude a vivement été critiquée principalement parce que l'échantillon sur laquelle elle se base est petit et non représentatif de l'ensemble des logements. A cette critique sur l'échantillonnage, nous ajoutons que cette étude, qui est sociologique et non économique, ne repose sur aucun modèle théorique et ne contient aucune estimation économétrique. Par conséquent, l'impact du système de facturation sur la consommation n'y est pas analysé *ceteris paribus*, d'où l'impossibilité de tirer des conclusions quant à son effet.

5. Est ce qu'on fournit une température plus élevée dans le cas d'un chauffage individuel puisque le

informations ne nous ont pas été communiquées.

Du côté de la taille du logement, nous constatons que cette variable a un impact positif sur le niveau de la consommation (dépense) de gaz dans les logements du secteur libre alors que son impact est statistiquement non significatif dans le secteur social. Le résultat concernant le secteur social s'explique par la forte corrélation entre le type de logement et sa taille dans ce secteur, les logements collectifs s'y caractérisant par des tailles très proches. Lorsque nous enlevons la variable relative au type de logement de la régression, le coefficient relatif à la taille du logement devient significatif.

L'année de construction impacte le niveau de la consommation et de la dépense de gaz pour les logements construits après 1990. Nous trouvons que les logements du secteur libre construits après cette date se caractérisent par la consommation et la dépense de gaz les moins élevées. En revanche dans le secteur social, nous trouvons que ce sont les logements construits entre 1991 et 2005 qui ont la consommation et la dépense de gaz les moins élevées⁶. L'impact des crises pétrolières et des réglementations thermiques successives apparaît ici de façon assez claire.

En ce qui concerne l'utilisation d'un chauffage secondaire, nous constatons que, dans le secteur social, cela conduit à une baisse dans l'utilisation du chauffage principal. En revanche, l'utilisation d'un chauffage secondaire n'impacte pas l'utilisation du chauffage principal dans les logements du secteur libre. Les ménages du secteur social utilisent le chauffage secondaire pour remplacer le chauffage principal, par contre les ménages du secteur libre l'utilisent pour compléter le chauffage principal.

Du côté de la localisation géographique, nous constatons que la zone climatique dans laquelle le logement est située n'a d'impact ni sur la consommation ni sur la dépense de gaz. Cela peut être expliqué par le fait que les logements qui utilisent le gaz pour se chauffer se caractérisent par un DPE élevé comme le montre la figure 4.4. De ce fait, la température extérieure impacte moins la température intérieure.

Pour ce qui est du prix du gaz, plus celui-ci est élevé, plus la consommation et la dépense de gaz dans les logements du secteur social est faible. En ce qui concerne les logements du secteur libre, nous constatons que le prix du gaz impacte négativement la consommation, mais il n'a pas d'impact sur la dépense. Ceci montre que compte tenu de leurs revenus, les ménages du secteur social sont plus sensibles au prix de l'énergie que les ménages du secteur libre.

Enfin, l'ensemble des régressions effectuées montrent que les caractéristiques des ménages (taille du ménage, revenu, Age de la personne de référence) n'ont aucun impact sur le niveau de la consommation et de la dépense de gaz. Ceci est valable pour les deux secteurs.

ménages va payer sa consommation réelle ? Dans le cas d'un système individualisé, il faut bien connaître les possibilités qu'offre un tel système : permet-il de réguler la température à l'aide de thermostats ou offre-t-il uniquement la possibilité d'allumer et de couper les différents radiateurs du logement ?

6. Les résultats concernant les logements sociaux construits avant 1919 sont négligés car ces logements représentent 2% de l'ensemble des logements du secteur utilisant le gaz.

GRAPHIQUE 4.4 – La classe énergétique du logement selon la source d'énergie pour le chauffage et le statut d'occupation de logement

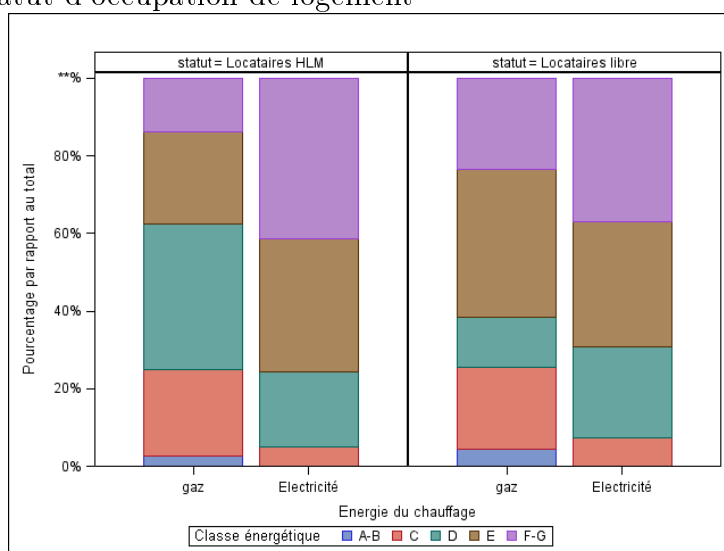


TABLEAU 4.4 – Les déterminants de la consommation et de la dépense de gaz

	Secteur social				Secteur libre			
	Consommation Coef	Ecart-type	Coef	Dépense Ecart-type	Consommation Coef	Ecart-type	Coef	Dépense Ecart-type
Constante	1,48***	0,13	12,52***	1,13	1,01***	0,39	6,15*	3,32
Année de construction								
Avant 1919	-0,38**	0,17	-2,83**	1,42	-0,02	0,14	-0,57	1,19
1919 à 1945	0,14	0,10	0,85	0,81	-0,04	0,15	-0,89	1,30
1946 à 1970	-0,04	0,06	-0,18	0,52	-0,09	0,14	-1,32	1,21
1971 à 1990								
1991 à 2005	-0,17***	0,07	-1,14**	0,55	-0,25*	0,14	-2,26*	1,21
2006 à 2012	-0,14	0,09	-1,004	0,76	-0,41	0,27	-3,91*	2,30
Chauffage secondaire								
Oui	-0,16**	0,08	-1,50**	0,64			Non_sin	
Non								
Prix gaz (TEP)	-0,81***	0,10	-5,51***	0,89	-0,64***	0,24	-0,88	2,03
Taille du logement			Non_sin		0,007***	0,00	0,06***	0,02
Type de logement, mode de chauffage et système de régulation								
Logement et chauffage indiv., non régulé	-0,23	0,26	-2,14	2,18	0,29	0,20	3,36*	1,73
Logement et chauffage indiv., régul indiv.	0,23	0,14	1,52	1,16	0,04	0,15	0,30	1,32
Logement et chauffage indiv., régul centrale	0,22**	0,09	1,91**	0,75	0,30**	0,14	2,39**	1,20
Logement coll., chauff. indiv., non régulé	-0,017	0,12	-0,16	1,04	-0,03	0,13	0,09	1,51
Logement coll., chauff. indiv., régul indiv.								
Logement coll., chauff. indiv., régul centrale	0,07	0,08	0,69	0,69	0,50***	0,03	-0,20	1,09
Logement et chauff. coll., non régulé	-0,33***	0,09	-3,55***	0,80				
Logement et chauff. coll., régul centrale	0,03	0,14	0,19	1,17				
Logement et chauff. coll., régul indiv.	-0,28***	0,11	-3,01***	0,90				
Sigma	0,43***	0,02	3,6***	0,13	0,03	0,18	4,31***	0,24
Rho	-0,09	0,18	-0,08	0,18	-0,08	0,24	-0,07	0,23

Secteur social : Zone climatique, Taille du ménage, Revenu du ménage et la taille du logements sont des variables non significatifs

Secteur libre : Zone climatique, Age de PR, Revenu du ménage, Chauffage secondaire, la taille du ménage et système de régulation de chauffage sont des variables non significatifs

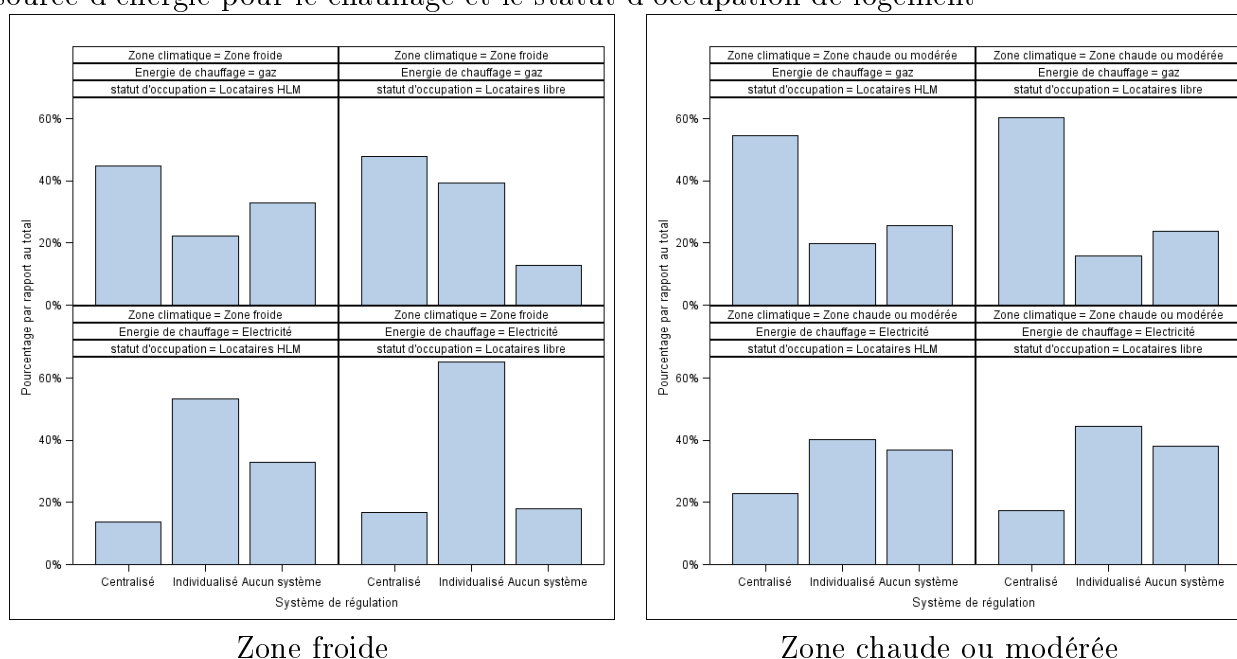
Les déterminants de la consommation et de la dépense d'électricité

Nous régressons sur les mêmes variables que celles utilisées pour expliquer la consommation de gaz. Cela nous permet de comparer l'impact d'un même facteur sur la consommation de chaque source d'énergie.

En ce qui concerne le type de logement, les résultats montrent que, quelque soit le secteur, les logements individuels ont une consommation et une dépense en électricité plus élevée que celle des logements dans des immeubles collectifs dans des cas bien précis. Dans le secteur libre, les logements individuels consomment plus que les logements collectifs si le système de régulation pour le chauffage est centralisé ou individualisé, tandis que dans le secteur social, c'est le cas uniquement quand le système de régulation est individualisé.

Les niveaux de consommation (dépense) d'électricité élevés des logements équipés par des chauffages avec un système individualisé peuvent être expliqués en partie par la localisation de ces logements dans les zones froides. Ceci apparaît de façon assez claire à travers la Figure 4.5.

GRAPHIQUE 4.5 – Les systèmes de régulation de chauffage selon la zone climatique, la source d'énergie pour le chauffage et le statut d'occupation de logement



Du côté de la taille du logement, nous constatons que, quelque soit le secteur, la consommation et la dépense d'électricité dans le logement augmentent avec sa taille.

Concernant la localisation géographique, les résultats des régressions effectuées sur les logements du secteur social montrent que ceux qui sont localisés dans les zones froides se caractérisent par une consommation et une dépense d'électricité plus élevées par rapport à ceux qui sont localisés dans les zones chaudes ou modérées. La localisation géographique du logement n'a pas un impact direct sur le niveau de la consommation (dépense) d'électricité pour

les logements du secteur libre. Son impact apparait à travers le système de régulation individualisé pour le chauffage.

Pour ce qui est du prix de l'électricité, plus celui-ci est élevé, plus la consommation d'électricité est faible, mais plus la dépense est élevée, et ce quelque soit le secteur.

Du côté des caractéristiques du ménage, nous constatons que, contrairement à la consommation et à la dépense de gaz, la taille du ménage a un fort impact sur la consommation et la dépense d'électricité. Cela est valable uniquement dans le secteur libre et pas dans le secteur social. Les résultats montrent que, dans le secteur libre, les logements occupés par des ménages nombreux se caractérisent par une consommation et une dépense d'électricité plus importantes que ceux qui sont occupés par des ménages de petite taille. Cela s'explique par le fait que la consommation et la dépense d'électricité dans le logement sont générés par un grand nombre de postes et pas uniquement par le chauffage.

L'âge de la personne de référence impacte quant à lui le niveau de la consommation (dépense) d'électricité uniquement dans les logements du secteur social. Dans ce secteur, les ménages dont l'âge de la personne de référence se situe entre 45 et 55 ans se caractérisent par la consommation et la dépense d'électricité la plus élevée. Notons que ces ménages sont plutôt de grande taille⁷.

Enfin, quelque soit le secteur, le revenu du ménage n'a pas d'impact sur le niveau de la consommation (dépense) d'électricité dans le logement.

7. 54% des locataires du secteur social qui se composent de 4 personnes ou plus ont l'âge de la PR entre 45 et 55 ans

TABLEAU 4.5 – Les déterminants de la consommation et la dépense d'électricité

	Secteur social			Secteur libre		
	Consommation Coef	Ecart-type	Dépense Ecart-type	Consommation Coef	Ecart-type	Dépense Ecart-type
Constante	0,27	0,14	-9,07	7,58	0,24***	3,8
Zone climatique						
Zone froide	0,09	0,057	1,21	0,77	Non_sin	
Zone chaude ou modérée				Ref		
Taille du ménage (Nombre de personnes)						
Une				Ref		
Deux		Non_sin	0,06	0,05	0,85	0,67
Trois		Non_sin	0,13*	0,07	1,7*	0,93
Quatre ou plus		Non_sin	0,16**	0,08	2,01*	1,04
Age de la personne de référence						
Moins de 35 ans				Ref		
De 35 à 44 ans	0,097	0,08	1,2	1,08	Non_sin	
De 45 à 55 ans	0,21**	0,089	2,54**	1,22	Non_sin	
De 55 à 65 ans	0,09	0,091	1,26	1,23	Non_sin	
Plus de 65 ans	0,003	0,09	-0,10	1,18	Non_sin	
Taille du logement	0,006***	0,002	0,09***	0,02	0,005***	0,013
Prix électricité (TEP)	9,32*			5,52	10,5***	2,79
Type de logement , mode de chauffage et système de régulation						
Logement et chauffage indiv., non régulé	0,08	0,11	1,06	1,44	-0,044	1,04
Logement et chauffage indiv., régul indiv.	0,16**	0,08	2,08*	1,07	0,12*	0,84
Logement et chauffage indiv., régul centrale	-0,007	0,11	-0,13	1,47	0,23**	1,27
Logement coll., chauff. indiv., non régulé	0,02	0,08	0,13	1,03	-0,07	0,76
Logement coll., chauff. indiv., régul indiv.				Ref		
Logement coll., chauff. indiv., régul centrale	-0,11	0,11	-1,36	1,45	-0,03	0,96
Sigma	0,31***	0,02	4,17***	0,33	0,39***	0,23
Rho	-0,40***	0,12	-0,39***	0,13	0,20	0,13

Secteur libre : Zone climatique, Age de PR, Revenu du ménage, Chauffage secondaire et l'année du construction sont des variable non significatifs
Secteur social : Taille du ménage, Revenu du ménage, Chauffage secondaire, système de régulation et l'année du construction sont des variable non significatifs

4.4 Conclusion

Nous analysons dans ce chapitre à la fois les déterminants du choix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage et le niveau de la consommation (dépense) engendré par ce choix dans le secteur locatif en France. L'objectif principal ici est de mettre en lumière les disparités qui existent entre le secteur locatif privé et le secteur locatif social. Pour cela, plusieurs régressions sont réalisées. Et pour faire face au problème posé par le biais de sélection, nous recourons à la méthode d'estimation de Heckman.

Les résultats obtenus révèlent que le rapport à la question énergétique dans le secteur locatif privé diffère de ce qu'il en est dans le secteur social, tant au niveau du choix des équipements de chauffage qu'au niveau de la consommation et de la dépense énergétiques. Cela apparaît de façon assez claire à la suite de l'analyse factorielle et de la classification.

Les différences observées entre les logements des deux secteurs sont plus dues aux caractéristiques intrinsèques des logements et de leurs occupants qu'à leur appartenance à tel ou à tel secteur. Des logements appartenant à des secteurs différents ayant des caractéristiques proches et occupés par des ménages similaires ont des probabilités très proches d'avoir recours au même système de chauffage et sont très susceptibles d'avoir une consommation et une dépense énergétiques voisines.

Pour conclure, citons deux limites à ce travail. Elles sont dues soit à l'absence de données soit à l'absence d'explications concernant les informations contenues dans la base de données qui nous a été fournie. Premièrement, bien que celle-ci contienne des informations importantes quant aux travaux de rénovations, le fait que lors de l'enquête les questions aient été posées aux ménages occupants et que ceux-ci ne disposent pas d'information par rapport à ces travaux lorsqu'ils ne sont pas propriétaires engendre un grand nombre de valeurs manquantes pour les locataires. Ceci nous empêche de tenir compte des travaux dans les régressions. Deuxièmement, un certain nombre de variables gagnent à être mieux expliquées dans la documentation afin de permettre une meilleure interprétation des résultats. L'exemple qui illustre ce problème ici est celui de l'absence d'indication sur ce qu'est un système de régulation de chauffage centralisé ou individualisé, et ce qu'implique l'absence d'un système de régulation tant concernant la façon avec laquelle l'énergie est fournie que la façon avec laquelle la température du logement est réglée. Notons que l'enquête ayant donné naissance à la base de données que nous avons utilisée ici est la première du genre en France. Des remarques et des suggestions d'améliorations seront adressées à l'organisme chargé de l'enquête en vue des enquêtes futures.

4.A Annexe

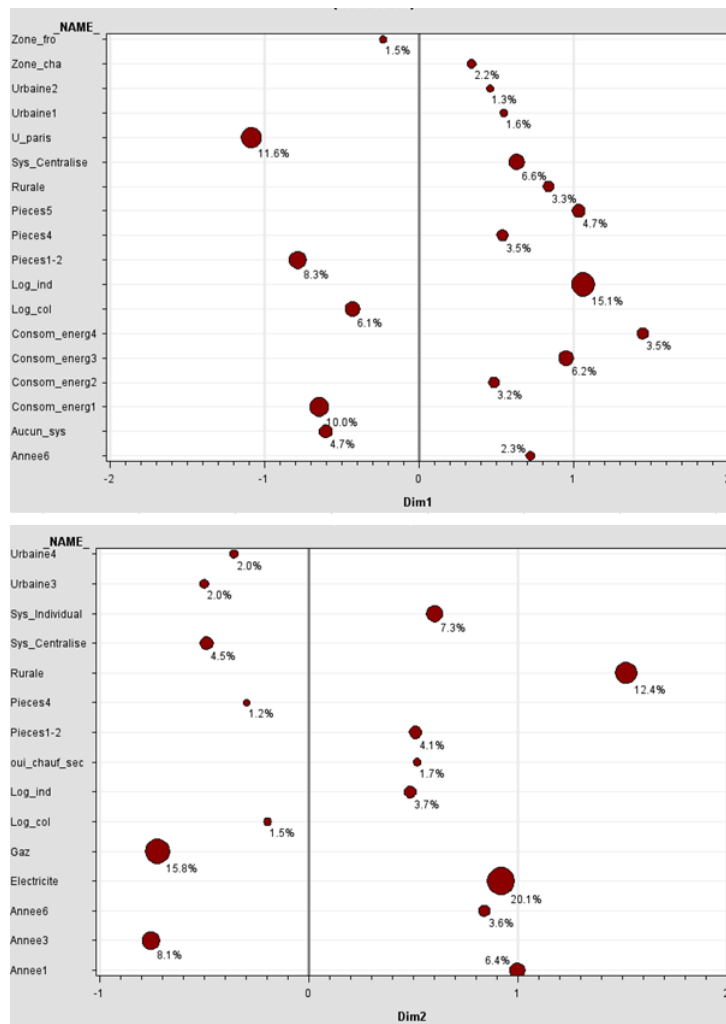
4.A.1 Résultats ACM

TABLEAU 4.6 – Décomposition de l'inertie et du Khi-2

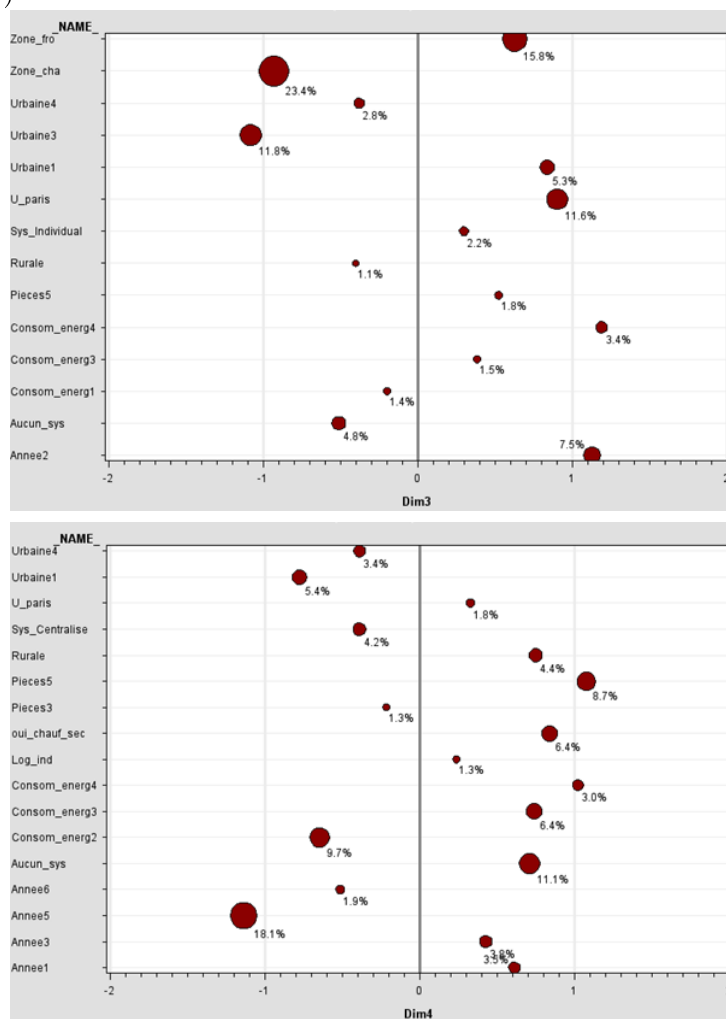
Valeur	Inertie	Khi	Pourcent.	Pourcent.	2 4 6 8 10
singulière	principale	2	Pourcentage	cumulé	—+—+—+—+—+—+—
0.48937	0.23948	3173.3	9.80	9.80	*****
0.45326	0.20545	2722.3	8.40	18.20	*****
0.40670	0.16541	2191.8	6.77	24.97	*****
0.37509	0.14069	1864.3	5.76	30.72	*****
0.36342	0.13207	1750.1	5.40	36.13	*****
0.35607	0.12679	1680.0	5.19	41.31	*****
0.35013	0.12259	1624.4	5.02	46.33	*****
0.34516	0.11914	1578.6	4.87	51.20	*****
0.33892	0.11487	1522.1	4.70	55.90	*****
0.33266	0.11066	1466.4	4.53	60.43	*****
0.32527	0.10580	1401.9	4.33	64.76	*****
0.32286	0.10424	1381.2	4.26	69.02	*****
0.31951	0.10209	1352.7	4.18	73.20	*****
0.31097	0.09670	1281.4	3.96	77.15	*****
0.30939	0.09572	1268.4	3.92	81.07	*****
0.30233	0.09140	1211.2	3.74	84.81	*****
0.29649	0.08790	1164.8	3.60	88.40	*****
0.26325	0.06930	918.3	2.83	91.24	*****
0.24675	0.06088	806.8	2.49	93.73	*****
0.23597	0.05568	737.8	2.28	96.01	*****
0.23044	0.05310	703.6	2.17	98.18	*****
0.21090	0.04448	589.3	1.82	100.00	*****
Total	2.44444	32390.5	100.00		

Degrés de liberté 900

GRAPHIQUE 4.6 – La contribution des modalités représentées sur les deux premiers axes (seuil de 1%)



GRAPHIQUE 4.7 – La contribution des modalités représentées sur le troisième et quatrième axes (seuil de 1%)



4.A.2 Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en deux groupes

TABLEAU 4.7: Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en deux groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
1	sur-représentées	Consom_energ1	561	72.8	52.3	0.0000	18.3701
		Log_col	691	89.6	71.3	0.0000	17.6287
		Pieces1	336	43.6	29.2	0.0000	15.4942
		Urbain_Paris	240	31.1	21.3	0.0000	11.7932
		Aucun_sys	291	37.9	27.7	0.0000	10.7752
		Urbain3	151	19.6	15.1	0.0000	5.9931
		Non_chauf_sec	711	92.2	88.6	0.0000	5.0799
		Electricite	378	49.0	43.8	0.0000	4.7669
		Annee2	230	29.8	26.4	0.0002	3.5475
		Sys_Individualise	310	40.4	36.9	0.0005	3.2727
		Annee3	222	28.8	26.0	0.0014	2.9827
		Annee1	75	9.7	8.7	0.0461	1.6842
		Zone_froide	474	61.5	59.8	0.0609	1.5477
		Annee	91	11.8	11.8	0.5172	0.0431
1	sous-représentées	Urbain4	216	28.0	28.7	0.2595	-0.6448
		Zone_chaude	297	38.5	40.2	0.0763	-1.4301
		Pieces2	254	32.9	35.5	0.0109	-2.2930
		Urbain2	89	11.5	13.7	0.0044	-2.6227
		Annee4	113	14.7	17.8	0.0002	-3.5170
		Gaz	393	51.0	56.2	0.0000	-4.6492
		oui_chauf_sec	60	7.8	11.4	0.0000	-4.9046
		Urbain1	57	7.4	11.3	0.0000	-5.2470
		Annee5	40	5.2	9.3	0.0000	-6.0380

suite à la page suivante

TABLEAU 4.7: Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en deux groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
2		Pieces4	37	4.8	9.5	0.0000	-6.9027
		Pieces3	144	18.7	25.8	0.0000	-7.0574
		Consom_energ2	162	21.0	29.4	0.0000	-8.0461
		Consom_energ4	0	0.0	3.6	0.0000	-9.3100
		Consom_energ3	48	6.2	14.7	0.0000	-10.3266
		Rurale	18	2.3	9.9	0.0000	-11.1912
		Sys_Centralise	166	21.6	35.4	0.0000	-12.4537
		Log_ind	80	10.4	28.7	0.0000	-17.5037
		Log_ind	281	57.5	28.7	0.0000	17.6287
		Sys_Centralise	278	56.9	35.4	0.0000	12.5713
		Rurale	107	21.9	9.9	0.0000	11.4108
		Consom_energ4	45	9.2	3.6	0.0000	10.6220
		Consom_energ3	137	28.0	14.7	0.0000	10.4899
		Consom_energ2	209	42.7	29.4	0.0000	8.1692
		Pieces3	181	37.0	25.8	0.0000	7.1854
		Pieces4	83	17.0	9.5	0.0000	7.0971
		Annee5	77	15.7	9.3	0.0000	6.2326
		Urban1	85	17.4	11.3	0.0000	5.4236
		oui_chauf_sec	84	17.2	11.4	0.0000	5.0799
		Gaz	315	64.4	56.2	0.0000	4.7669
	Annee4	111	22.7	17.8	0.0001	3.6639	
	Urban2	83	17.0	13.7	0.0027	2.7865	
	Pieces2	193	39.5	35.5	0.0079	2.4129	

suite à la page suivante

TABLEAU 4.7: Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en deux groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
2	sous-représentées	Zone_chaude	209	42.7	40.2	0.0609	1.5477
		Urbain4	146	29.9	28.7	0.2200	0.7720
		Annee	58	11.9	11.8	0.4461	0.1355
		Zone_froide	280	57.3	59.8	0.0763	-1.4301
		Annee1	35	7.2	8.7	0.0705	-1.4724
		Annee3	105	21.5	26.0	0.0022	-2.8475
		Sys_Individualise	154	31.5	36.9	0.0008	-3.1513
		Annee2	103	21.1	26.4	0.0003	-3.4124
		Electricite	174	35.6	43.8	0.0000	-4.6492
		Non_chauf_sec	405	82.8	88.6	0.0000	-4.9046
		Urbain3	39	8.0	15.1	0.0000	-5.8094
		Aucun_sys	57	11.7	27.7	0.0000	-10.6265
		Urbain_Paris	29	5.9	21.3	0.0000	-11.6076
		Pieces1	32	6.5	29.2	0.0000	-15.3263
Log_col	208	42.5	71.3	0.0000	-17.5037		
Consom_energ1	98	20.0	52.3	0.0000	-18.2524		

TABLEAU 4.8: Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en deux groupes (variables supplémentaires)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val_Test
1	sur-représentées	Personne1	347	45.0	35.6	0.0000	9.07435
		Age0	201	26.1	23.8	0.0071	2.45121
		Revenu1	240	31.1	29.4	0.0365	1.79328
		Revenu	358	46.4	44.8	0.0687	1.48549
		Age3	135	17.5	17.1	0.2757	0.59577
		Age4	135	17.5	17.1	0.2757	0.59577
		Loc_Libre	388	50.3	49.8	0.2880	0.55924
		Personne2	214	27.8	28.2	0.3608	-0.35620
1	sous-représentées	Loc_Social	383	49.7	50.2	0.3287	-0.44358
		Age2	160	20.8	21.4	0.2511	-0.67092
		Revenu3	64	8.3	8.9	0.2034	-0.82959
		Age1	140	18.2	20.6	0.0042	-2.63596
		Revenu2	109	14.1	16.9	0.0007	-3.17514
		Personne4	117	15.2	19.4	0.0000	-4.65875
		Personne3	93	12.1	16.8	0.0000	-5.48441
		Personne3	119	24.3	16.8	0.0000	5.63365
		Personne4	128	26.2	19.4	0.0000	4.80034
		Revenu2	104	21.3	16.9	0.0004	3.32520
		Age1	120	24.5	20.6	0.0028	2.77588
		Revenu3	48	9.8	8.9	0.1517	1.02912
		Age2	110	22.5	21.4	0.2087	0.81087
		Loc_Social	250	51.1	50.2	0.2880	0.55924

suite à la page suivante

TABLEAU 4.8: Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en deux groupes (variables supplémentaires)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
2	sous-représentées	Personne2	141	28.8	28.2	0.3141	0.48437
		Age3	80	16.4	17.1	0.3295	-0.44129
		Age4	80	16.4	17.1	0.3295	-0.44129
		Loc_Libre	239	48.9	49.8	0.3287	-0.44358
		Revenu	207	42.3	44.8	0.0855	-1.36898
		Revenu1	130	26.6	29.4	0.0480	-1.66493
		Age0	99	20.2	23.8	0.0104	-2.31248
		Personne1	101	20.7	35.6	0.0000	-8.94648

4.A.3 Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes

TABLEAU 4.9: Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
1	sur-représentées	Pieces1	304	63.1	29.2	0.0000	20.3059
		Electricite	346	71.8	43.8	0.0000	15.6993
		Consom_energ1	367	76.1	52.3	0.0000	13.5329
		Log_col	419	86.9	71.3	0.0000	10.1727
		Sys_Individualise	261	54.3	36.9	0.0000	9.9437
		Annee1	74	15.4	8.7	0.0000	6.4746
		Urbain_Paris	149	30.9	21.3	0.0000	6.4541
	sous-représentées	Annee	88	18.3	11.8	0.0000	5.5103
		Zone_froide	327	67.8	59.8	0.0000	4.6515
		Annee4	101	21.0	17.8	0.0087	2.3784
		Non_chauf_sec	439	91.1	88.6	0.0101	2.3239
		Urbain2	79	16.4	13.7	0.0109	2.2924
		Annee3	134	27.8	26.0	0.1064	1.2460
		Urbain1	57	11.8	11.3	0.2758	0.5954
1	sous-représentées	Aucun_sys	133	27.7	27.7	0.5146	0.0365
		Urbain4	134	27.8	28.7	0.3071	-0.5042
		Annee5	37	7.7	9.3	0.0737	-1.4487
		oui_chauf_sec	43	8.9	11.4	0.0164	-2.1334
		Zone_chaude	155	32.2	40.2	0.0000	-4.5314
		Urbain3	45	9.3	15.1	0.0000	-4.5628
		Consom_energ2	98	20.3	29.4	0.0000	-5.6344
Rurale	18	3.7	9.9	0.0000	-6.1903		

suite à la page suivante

TABLEAU 4.9: Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test	
2	sur-représentées	Consom_energ4	0	0.0	3.6	0.0000	-6.7742	
		Pieces2	115	23.9	35.5	0.0000	-6.8401	
		Pieces4	13	2.7	9.5	0.0000	-7.1597	
		Consom_energ3	17	3.5	14.7	0.0000	-9.8431	
		Log_ind	63	13.1	28.7	0.0000	-10.0278	
		Sys_Centralise	87	18.1	35.4	0.0000	-10.3327	
		Pieces3	50	10.4	25.8	0.0000	-10.3910	
		Annee2	48	10.0	26.4	0.0000	-11.0541	
		Gaz	136	28.2	56.2	0.0000	-15.5836	
		Annee2	182	63.0	26.4	0.0000	14.6834	
		Gaz	257	88.9	56.2	0.0000	13.8941	
		Log_col	272	94.1	71.3	0.0000	11.4791	
		Aucun_sys	158	55.2	27.7	0.0000	11.0903	
		Urbain3	106	36.7	15.1	0.0000	10.3862	
		Consom_energ1	194	67.1	52.3	0.0000	5.8761	
		Pieces2	139	48.1	35.5	0.0000	5.0702	
2	sous-représentées	Urbain_Paris	91	31.5	21.3	0.0000	4.6525	
		Non_chauf_sec	272	94.1	88.6	0.0001	3.7850	
		Zone_chaude	142	49.1	40.2	0.0002	3.5818	
		Pieces3	94	32.5	25.8	0.0014	2.9920	
		Annee3	88	30.4	26.0	0.0205	2.0426	
		Urbain4	82	28.4	28.7	0.4755	-0.0615	
		Pieces4	24	8.3	9.5	0.2582	-0.6489	

suite à la page suivante

TABLEAU 4.9: Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
3	sur-représentées	Consom_energ3	31	10.7	14.7	0.0172	-2.1159
		Sys_Centralise	79	27.6	35.4	0.0010	-3.0876
		Consom_energ2	64	22.1	29.4	0.0010	-3.0953
		Zone_froide	147	50.9	59.8	0.0003	-3.4477
		oui_chauf_sec	17	5.9	11.4	0.0002	-3.5246
		Consom_energ4	0	0.0	3.6	0.0000	-4.7118
		Urbain2	10	3.5	13.7	0.0000	-6.6628
		Annee5	3	1.0	9.3	0.0000	-6.8757
		Annee1	1	0.3	8.7	0.0000	-7.6451
		Annee4	12	4.2	17.8	0.0000	-8.0565
		Annee	3	1.0	11.8	0.0000	-8.2780
		Sys_Individualise	49	17.1	36.9	0.0000	-8.2924
		Pieces1	32	11.1	29.2	0.0000	-8.3977
		Rurale	0	0.0	9.9	0.0000	-9.0728
		Urbain1	0	0.0	11.3	0.0000	-9.7946
		Log_ind	17	5.9	28.7	0.0000	-11.2489
		Electricite	32	11.1	43.8	0.0000	-13.7216
		Sys_Centralise	243	71.5	35.4	0.0000	15.7141
		Gaz	298	87.6	56.2	0.0000	14.6358
		Consom_energ4	45	13.2	3.6	0.0000	11.6018
		Consom_energ3	117	34.4	14.7	0.0000	10.9417
		Log_ind	173	50.9	28.7	0.0000	10.1426
		Pieces4	73	21.5	9.5	0.0000	8.0205

suite à la page suivante

TABLEAU 4.9: Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
3		Annee4	97	28.5	17.8	0.0000	5.8212
		Consom_energ2	139	40.9	29.4	0.0000	5.3342
		Pieces3	125	36.8	25.8	0.0000	5.3008
		Urbain2	75	22.1	13.7	0.0000	5.0684
		Urbain4	130	38.2	28.7	0.0000	4.4927
		Urbain1	58	17.1	11.3	0.0001	3.8506
		Zone_froide	226	66.5	59.8	0.0013	3.0066
		oui_chauf_sec	47	13.8	11.4	0.0439	1.7074
		Annee1	33	9.7	8.7	0.1889	0.8821
		Annee5	34	10.0	9.3	0.2513	0.6703
		Pieces2	124	36.5	35.5	0.3007	0.5224
		Non_chauf_sec	293	86.2	88.6	0.0645	-1.5182
		Annee	31	9.1	11.8	0.0420	-1.7276
		Annee3	72	21.2	26.0	0.0105	-2.3067
		Annee2	73	21.5	26.4	0.0085	-2.3849
		Zone_chaude	114	33.5	40.2	0.0020	-2.8745
		Rurale	18	5.3	9.9	0.0003	-3.4527
		Urbain3	30	8.8	15.1	0.0000	-3.8958
		Sys_Individualise	82	24.1	36.9	0.0000	-5.8269
		Urbain_Paris	29	8.5	21.3	0.0000	-7.3428
	Log_col	167	49.1	71.3	0.0000	-10.0145	
	Pieces1	18	5.3	29.2	0.0000	-13.0515	
	Aucun_sys	15	4.4	27.7	0.0000	-13.1153	

suite à la page suivante

TABLEAU 4.9: Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test	
4	sur-représentées	Electricite	42	12.4	43.8	0.0000	-14.4808	
		Consom_energ1	39	11.5	52.3	0.0000	-18.1650	
		Rurale	89	59.7	9.9	0.0000	14.9209	
		Electricite	132	88.6	43.8	0.0000	12.3372	
		Log_ind	108	72.5	28.7	0.0000	11.5068	
		Annee5	43	28.9	9.3	0.0000	7.0538	
		Zone_chaude	95	63.8	40.2	0.0000	6.2250	
		oui_chauf_sec	37	24.8	11.4	0.0000	4.8447	
		Consom_energ2	70	47.0	29.4	0.0000	4.8337	
		Pieces3	56	37.6	25.8	0.0003	3.4405	
		Sys_Individualise	72	48.3	36.9	0.0010	3.0987	
		Pieces2	69	46.3	35.5	0.0015	2.9747	
		Urbain1	27	18.1	11.3	0.0031	2.7412	
		Annee	27	18.1	11.8	0.0061	2.5079	
4	sous-représentées	Aucun_sys	42	28.2	27.7	0.3941	0.2685	
		Consom_energ3	20	13.4	14.7	0.3918	-0.2746	
		Annee3	33	22.1	26.0	0.1565	-1.0091	
		Pieces4	10	6.7	9.5	0.1464	-1.0522	
		Annee2	30	20.1	26.4	0.0378	-1.7768	
		Consom_energ4	0	0.0	3.6	0.0028	-2.7743	
		Annee4	14	9.4	17.8	0.0017	-2.9342	
		Consom_energ1	59	39.6	52.3	0.0006	-3.2189	
		Sys_Centralise	35	23.5	35.4	0.0006	-3.2349	

suite à la page suivante

TABLEAU 4.9: Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables actives)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
		Urban2	8	5.4	13.7	0.0004	-3.3649
		Urban3	9	6.0	15.1	0.0002	-3.5340
		Annee1	2	1.3	8.7	0.0000	-4.0087
		Non_chauf_sec	112	75.2	88.6	0.0000	-4.6370
		Urban4	16	10.7	28.7	0.0000	-5.6594
		Zone_froide	54	36.2	59.8	0.0000	-6.0505
		Pieces1	14	9.4	29.2	0.0000	-6.3118
		Urban_Paris	0	0.0	21.3	0.0000	-9.6480
		Log_col	41	27.5	71.3	0.0000	-11.3364
		Gaz	17	11.4	56.2	0.0000	-12.1165

TABLEAU 4.10: Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables supplémentaires)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
1	sur-représentées	Personnel	263	54.6	35.6	0.0000	10.9754
		Loc_Libre	321	66.6	49.8	0.0000	9.4867
		Age0	155	32.2	23.8	0.0000	5.4529
		Revenu	226	46.9	44.8	0.1134	1.2089
		Revenu3	48	10.0	8.9	0.1238	1.1564
	sous-représentées	Revenu1	144	29.9	29.4	0.3511	0.3825
		Personne2	133	27.6	28.2	0.3858	-0.2902
		Age4	76	15.8	17.1	0.1901	-0.8775
		Age1	91	18.9	20.6	0.1279	-1.1364
		Age3	71	14.7	17.1	0.0484	-1.6603
2	sur-représentées	Age2	89	18.5	21.4	0.0252	-1.9568
		Revenu2	64	13.3	16.9	0.0039	-2.6606
		Personne4	51	10.6	19.4	0.0000	-6.4679
		Personne3	35	7.3	16.8	0.0000	-7.5568
		Loc_Social	161	33.4	50.2	0.0000	-9.3700
	sous-représentées	Loc_Social	222	76.8	50.2	0.0000	10.5831
		Age3	64	22.1	17.1	0.0043	2.6315
		Age4	59	20.4	17.1	0.0363	1.7952
		Personne3	58	20.1	16.8	0.0399	1.7516
		Personne4	66	22.8	19.4	0.0417	1.7310
		Revenu1	96	33.2	29.4	0.0441	1.7047
		Age2	71	24.6	21.4	0.0597	1.5575

suite à la page suivante

TABLEAU 4.10: Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables supplémentaires)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val_Test
2	sous-représentées	Revenu	132	45.7	44.8	0.3463	0.3953
		Personne2	81	28.0	28.2	0.5115	0.0288
	sur-représentées	Revenu2	45	15.6	16.9	0.2836	-0.5723
		Age1	49	17.0	20.6	0.0456	-1.6892
		Revenu3	16	5.5	8.9	0.0123	-2.2465
		Personne1	84	29.1	35.6	0.0049	-2.5835
		Age0	46	15.9	23.8	0.0001	-3.6490
		Loc_Libre	67	23.2	49.8	0.0000	-10.4396
		Personne4	104	30.6	19.4	0.0000	5.8488
		Personne3	84	24.7	16.8	0.0000	4.4307
3	sous-représentées	Revenu2	76	22.4	16.9	0.0009	3.1294
		Loc_Social	192	56.5	50.2	0.0029	2.7559
	sur-représentées	Age1	83	24.4	20.6	0.0193	2.0692
		Revenu3	36	10.6	8.9	0.0809	1.3990
		Age2	77	22.6	21.4	0.2319	0.7326
		Age3	55	16.2	17.1	0.3444	-0.4005
		Age4	55	16.2	17.1	0.3444	-0.4005
		Personne2	87	25.6	28.2	0.1219	-1.1654
		Revenu	141	41.5	44.8	0.0809	-1.3989
		Age0	70	20.6	23.8	0.0592	-1.5614
sur-représentées	Revenu1	87	25.6	29.4	0.0421	-1.7266	
	Loc_Libre	148	43.5	49.8	0.0043	-2.6286	
	Personne1	65	19.1	35.6	0.0000	-7.6716	

suite à la page suivante

TABLEAU 4.10: Caractérisation détaillée : Classification logement locatifs en quatre groupes (variables supplémentaires)

CLUSTER	Modalités	Modalité	Effectif	Fréq_classe(%)	Fréq_pop. (%)	proba	Val.Test
4	sur-représentées	Loc_Libre	91	61.1	49.8	0.0012	3.0371
		Personne2	54	36.2	28.2	0.0088	2.3729
		Personne3	35	23.5	16.8	0.0098	2.3345
		Age1	37	24.8	20.6	0.0732	1.4520
4	sous-représentées	Revenu2	28	18.8	16.9	0.2094	0.8085
		Age2	33	22.1	21.4	0.3534	0.3762
		Age3	25	16.8	17.1	0.5300	0.0753
		Age4	25	16.8	17.1	0.5300	0.0753
		Revenu1	43	28.9	29.4	0.4926	-0.0185
		Revenu	66	44.3	44.8	0.4809	-0.0480
		Revenu3	12	8.1	8.9	0.4474	-0.1323
		Personne4	24	16.1	19.4	0.1696	-0.9559
4	Social	Age0	29	19.5	23.8	0.1129	-1.2115
		Loc_Social	58	38.9	50.2	0.0021	-2.8605
		Personne1	36	24.2	35.6	0.0010	-3.0908

Conclusion générale

Dans ce travail de thèse, nous décrivons la situation de l'usage énergétique pour le chauffage dans le secteur résidentiel, nous analysons les déterminants du choix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage et nous examinons l'impact de ce choix sur la consommation et la facture énergétiques domestiques des ménages en France. L'objectif principal est de dépeindre la situation de façon suffisamment précise et détaillée et de fournir un outil théorique et des résultats empiriques sur lesquels se baser pour formuler les politiques énergétiques dirigées vers le secteur résidentiel.

Cette thèse vient combler partiellement un vide académique qui tranche avec l'importance des problématiques économiques, écologiques et sociales que pose la consommation énergétique domestique pour le chauffage, particulièrement dans les pays caractérisés par des hivers longs et froids. De ce fait, afin d'expliquer quelques unes des raisons derrière ce vide et d'étudier quelques uns des aspects économiques de la question en France, cette thèse est construite en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre, nous construisons un modèle microéconomique théorique décrivant la demande énergétique pour le chauffage domestique en insistant sur l'interdépendance entre cette demande et le choix des équipements de chauffage. Il s'agit là du premier papier théorique consacré à la consommation énergétique domestique pour le chauffage que compte la littérature microéconomique. Le modèle que nous y développons permet d'aboutir à des expressions mathématiques des élasticités de la demande d'énergie par rapport aux caractéristiques des logements, des ménages qui les occupent et des prix de l'énergie. Le cas du chauffage collectif est également traité.

Le modèle aboutit à des résultats qui sont conformes à l'intuition. Ils montrent qu'un besoin de chauffage élevé, causé par un besoin plus important des ménages ou dû aux caractéristiques des logements, engendre une consommation énergétique supplémentaire, que l'investissement dans des équipements de chauffage chers mais plus efficaces énergétiquement n'est profitable que si la demande énergétique pour se chauffer est suffisante, que le comportement des ménages dans le cas du chauffage collectif peut engendrer une surconsommation énergétique mais que dans ce cas, les effets d'échelle inhérents au chauffage collectifs sont susceptibles de compenser cette surconsommation.

Dans le deuxième chapitre, nous mettons en évidence le manque de données relatives à la consommation énergétique domestique, nous présentons de façon détaillée les enquêtes Budget des Familles 2010-2011 et PHEBUS et les informations contenues dans les bases qui en résultent, nous rendons compte du travail effectué sur ses bases pour aboutir à des données exploitables statistiquement et économétriquement de la façon que nous souhaitons et nous effectuons un travail d'analyse factorielle et de classification des logements en France. L'analyse factorielle et la classification se basent sur les caractéristiques des logements, l'énergie qui y est utilisée pour le chauffage et la consommation énergétique. Le choix méthodologique que nous adoptons dans ce chapitre se justifie par le besoin d'une description détaillée de la situation de l'utilisation énergétique pour le chauffage en France qui a la particularité de tenir compte des interrelations complexes des facteurs économiques, géographiques et sociaux qui en sont à l'origine.

Les résultats de la classification montrent que les logements dont les besoins énergétiques sont élevés ont tendance à être équipés de systèmes de chauffage fonctionnant avec des énergies peu chères et que les logements dont les besoins sont faibles ont souvent recours à un chauffage fonctionnant à l'électricité. Cette interdépendance est conditionnée par la disponibilité des différentes sources ; une disponibilité elle-même fonction des spécificités de chaque territoire et de l'histoire des politiques menées pour son aménagement. Par ailleurs, il apparaît à travers la classification que le parc de logements du secteur locatif possède des caractéristiques particulières qui le distinguent du parc des logements occupés par leurs propriétaires.

Le troisième chapitre est dédié à l'analyse des déterminants de la demande énergétique pour le chauffage et de la dépense énergétique globale dans tous les logements français. Nous y répondons ainsi à un certain nombre d'interrogations que l'analyse théorique effectuée dans le Chapitre 1 n'a pas permis de lever. Pour ce faire, nous estimons une série de modèles micro-économétriques dérivés de Dubin et Mcfadden (1984). Ce choix est motivé par la nécessité de traiter les problèmes de biais de sélection causés par la relation entre le choix de l'équipement de chauffage et l'intensité de son utilisation prévue.

Les résultats montrent que les trois principaux déterminants du choix de la source d'énergie utilisée pour le chauffage sont le besoin énergétique du logement, l'accessibilité aux sources d'énergie et le prix des sources d'énergie. Concernant la consommation et la dépense énergétiques, l'un des résultats les plus importants à notre sens est que l'augmentation du prix de l'énergie utilisée pour le chauffage s'accompagne d'une diminution de la quantité d'énergie consommée mais d'une hausse de la dépense énergétique, chose qui indique qu'il existe un niveau de confort thermique minimal essentiel pour les ménages.

Outre les résultats obtenus dans ce chapitre, son importance réside également dans son apport méthodologique. En effet, en plus de traiter les problèmes du biais de sélection, chose qui est extrêmement rare dans la littérature, nous sommes ici en présence de quatre choix possibles pour la source d'énergie pour le chauffage principal, une situation jamais traitée dans la littérature à notre connaissance.

Enfin, dans le quatrième chapitre, nous nous focalisons sur le secteur locatif afin de déterminer d'une part les singularités qui lui sont propres et de l'autre, les particularités qui distinguent le secteur social du secteur libre, tant au niveau des déterminants des choix d'équipements de chauffage qu'au niveau de la consommation et de la dépense énergétiques le cas échéant. Ce choix se justifie à la lumière des classifications effectuées dans le chapitre 2 et par le fait qu'en dépit de l'importance de ce secteur qui représente 30% du stock de logements, aucune étude académique ne lui a été spécialement dédiée. Or cela est nécessaire car les caractéristiques des locataires et des logements qu'ils occupent diffèrent de ceux des propriétaires et compte tenu du fait qu'ils sont minoritaires, il est impossible d'extraire les déterminants de leurs choix et de leur comportement énergétique en effectuant une analyse qui prend en considération tous les logements et tous les ménages.

Les principaux résultats montrent que les différences observées entre le secteur locatif libre et le secteur social relèvent des différences des caractéristiques des logements qui composent les deux secteurs et non de leur appartenance à un secteur.

Notons que dans la littérature il n'existe aucun travail spécialement dédié à l'un des postes de consommation énergétique dans le secteur résidentiel locatif. Par ailleurs, ce travail révèle en particulier que les enquêtes de consommation énergétique ne traitent pas ce secteur de façon adéquate. A titre d'exemple, les questions relatives aux travaux d'amélioration de l'habitat sont posées aux occupants des logements, or quand il s'agit de logements occupés par des locataires, ces derniers ne peuvent y répondre. De ce fait, beaucoup de variables intéressantes dans les bases de données enregistrent des valeurs manquantes pour ces logements.

Le travail entrepris dans ce chapitre appelle à être complété. Cependant, cela ne peut se faire que si les prochaines enquêtes comblent quelques uns des manquements des bases disponibles actuellement.

Pour conclure, ce travail de thèse ouvre la porte à beaucoup de travaux à venir. Le premier consiste en la construction, à partir de la base édifiée dans le Chapitre 1, d'une série de modèles théoriques formalisant de façon plus détaillée la demande énergétique pour le chauffage, en particulier quand la fourniture de celui-ci est collective. Dans ce cas précis, un intérêt particulier doit être porté à la modélisation et à l'analyse des comportements de l'ensemble des agents concernés par la facturation collective des frais de chauffage.

Par ailleurs, les bases de données issues de l'enquête PHEBUS contiennent des informations intéressantes relatives aux comportements des ménages vis-à-vis de l'énergie dans leurs logements. A partir de ces données, nous envisageons de voir s'il existe des ménages qui ont des comportements jugés irrationnels et de les analyser le cas échéant. Nous souhaitons entre-autres déterminer si le chauffage collectif est une des causes des comportements irrationnels, si tentés qu'ils existent.

Conclusion générale

Enfin, les données dont nous disposons nous permettent de nous pencher sur une problématique plus sociale, à savoir la précarité énergétique. L'objectif ici sera de décrire avec précision la situation des ménages qui en souffrent et de dépeindre ses causes et ses conséquences. Un intérêt particulier sera porté aux ménages résidant dans le secteur locatif social, ceux-ci faisant partie des couches sociales les plus fragiles.

Références bibliographiques

1. ADEME. : « Chiffres clés du bâtiment », édition (2013), p.1- 92.
2. ADEME. : « Chiffres clés Climat, Air et Energie », édition (2015), p.1- 214.
3. Amemiya, T. : « Regression Analysis When the Dependent Variable is Truncated Normal », *Econometrica*, 41 (1973), 997-1016
4. Becker, G., S., : « A Theory of the Allocation of Time », *Economic Journal*, 75 (1965), 493-517
5. Baker, P. et R. Blundell. : « The microeconomic approach to modelling energy demand : some results for households », *Oxford Review of Economic Policy*, 7 (1991), no 2, p. 54-76.
6. Baker, P., R. Blundell et J. Micklewright. : « Modelling household energy expenditures using micro-data », *Economic Journal*, vol. 99 (1989), no 397, p. 720-738.
7. Behera, B., D. B. Rahut, A. Jeetendra et A. Ali. : « Household collection and use of biomass energy sources in south asia », *Energy*, vol. 85 (2015), p. 468-480.
8. Belaid, F., « Understanding the spectrum of domestic energy consumption : Empirical evidence from France », *Energy Policy*, 92 (2016), 220-233
9. Belaid, F. : « Untangling the Complexity of the Direct and Indirect Determinants of the Residential Energy Consumption in France : Quantitative Analysis Using a Structural Equation Modeling Approach, » *Energy Policy*, 110 (2017), 246-256
10. Berkhout, P. H., A. F. i Carbonell et J. C. Muskens. : « The ex post impact of an energy tax on household energy demand », *Energy Economics*, vol. 26 (2004) , no 3, p. 297-317.
11. Bernard, J.-T., D. Bolduc et D. Bélanger. : « Quebec residential electricity demand : A microeconomic approach, *Canadian » Journal of Economics*, vol. 29 (1996), no 1, p. 92-113.
12. Ben-Akiva, M. et R. Lerman, S. : « Discrete Choice Analysis : Theory and Application to Travel Demand », *The massachusetts institute of technology*, 1985, p. 1-385.
13. Branch, E. R. : « Short run income elasticity of demand for residential electricity using consumer expenditure survey data », *Energy Journal*, vol. 14 (1993), no 4, p. 111-121.
14. Brisepierre, G. : « Les conditions sociales et organisationnelles du changement des pratiques de consommation d'énergie dans l'habitat collectif », thèse de doctorat (2011), Faculté de sciences humaines et sociales - Sorbonne departement de sciences social.

15. Brounen, D., N. Kok et J. M. Quigley. : « Residential energy use and conservation : Economics and demographics », *European Economic Review*, vol. 56 (2012), p. 931-945.
16. Calvet, L. et F. Marical. : « Le budget énergie du logement : les déterminants des écarts entre les ménages », *Commissariat général au développement durable*, 56 (2010), p. 1-5.
17. Cavaud, D., K. Delamare, F.-X. Dussud, M. Écoier, Z. Gong, F. Guggemos, C. Hagège, D. Lepoittevin, J. Lauerjat, Évelyne Misak, J.-P. Martin, D. Mombel, D. Reynaud et N. Riedinge. : « Bilan énergétique de la France 2015 », *Le service de l'observation et des statistiques (SOeS)*.
18. CETE. : « Les réseaux de chaleur en France, Centre d'Études Techniques de l'Équipement de l'Ouest », reseaux-chaleur@developpementdurable.gouv.fr, (2011).
19. Christophe, B. et C. René. : « Les services d'individualisation des frais de chauffage, une étude technique et sociologique », *COSTIC, CERTOP-CNRS, Rapport ADEME*, (2007).
20. DENJEAN, M. : « Consommation énergétique des ménages en 2012 », *Commissariat général au développement durable CGDD*, 645 (2015), p. 1-10.
21. Dubin, J. A., McFadden, D. : « An Econometric Analysis of Residential Electric Appliance Holdings and Consumption, » *Econometrica*, 52(1984), 345-362
22. Estiri, H. : « Building and household x-factors and energy consumption at the residential sector. a structural equation analysis of the effects of household and building characteristics on the annual energy consumption of US residential buildings », *Energy Economics*, vol. 43 (2014), 178-184.
23. Ewing, R. et F. Rong. : « The impact of urban form on US residential energy use », *Housing Policy Debate*, 19 (2008), p. 1-30.
24. Farsi, M., M. Filippini et S. Pachauri. : « Fuel choices in urban Indian households », *Environment and Development Economics*, vol. 12 (2007), no 6, p. 757-774.
25. François, D. : « Le parc des logements en France métropolitaine, en 2012 : plus de la moitié des résidences principales ont une étiquette énergie D ou E », *Commissariat général au développement durable*, 534 (2014), p. 1-9.
26. Garbacz, C. : « A model of residential demand for electricity using a national household sample », *Energy Economics*, vol. 5 (1983), no 2, p. 124-128.
27. Galarraga, I., Abadie, L. M., Ansuategi, A., : « Efficiency, Effectiveness and Implementation Feasibility of Energy Efficiency Rebates : the « Renove » Plan in Spain, » *Energy Economics*, 40 (2013), 98-10
28. Garbacz, C. : « Residential fuel oil demand : a micro-based national model », *Applied Economics*, vol. 17 (1985), p. 669-674.
29. Garg, V. et N. Bansal. : « Smart occupancy sensors to reduce energy consumption », *Energy and Buildings*, no 32 (2000), p. 81-87.
30. Gneezy, U., E. Haruvy et H. Yafe. : « The inefficiency of splitting the bill », *The Economic Journal*, 114(2004) p. 265-280.

31. Goodman, J. : « Determinants of operating costs of multifamily rental housing », *Journal of Housing Economics*, vol. 13 (2004), no 3, p. 226-244.
32. Greene, W. : « *Econometric Analysis*, 5th edition. » ed. Prentice Hall : Englewood Cliffs, (2003)
33. Green, R. D. : « Regional variations in us consumer response to price changes in home heating fuels : the northeast and the south », *Applied Economics*, vol. 19 (1987), no 9, p. 1261-1268.
34. Grosmesnil, O. : « La consommation d'énergie à usage domestique depuis quarante ans », INSEE, 845 (2002) ; P. 1-4.
35. G.Yohanis, Y., J. D.Mondol, A. Wright et B. Norton. : « Real-life energy use in the UK : How occupancy and dwelling characteristics affect domestic electricity use », *Energy and Buildings*, vol. 40 (2008), p. 1053-1059.
36. Gourieroux, C., Monfort, A., Trognon, A. : « Apseudo Maximum Likelihood methods : Applications to Poisson Models, » *Econometrica*, 52 (1984), 701-720
37. Guo, F., Pachauri, S., Cofala, J. : « Cost-effective Subsidy Incentives for Room Air Conditioners in China : An Analysis Based on a Mcfadden-type Discrete Choice Model, » *Energy Policy*, 110 (2017), 375-385
38. Hanemann, W. M. : « Discrete / Continuous Models of Consumer Demand, » *Econometrica*, 52(1984), 541-561
39. Halvorsen, B. et B. M. Larsen. : « The exhibility of household electricity demand over time », *Resource and Energy Economics*, vol. 23 (2001), no 1, p. 118.
40. Hausman, J. A., Wise, D. A. : « A conditional Probit Model for Qualitative Choice : Discrete Choice Decisions Recognizing Interdependence and Heterogenous Preferences, » *Econometrica*, 46(1978), 403-426
41. Hausman, J., A., Trimble, J. : « Appliance Purchase and Usage Adaptation to a Permanent Time-of-Day Electricity Rate Schedule, » *Journal of Econometrics*, 26 (1984), 115-139
42. Heckman, J. : « Dummy Endogenous Variables in a Simultaneous Equation System, » *Econometrica*, 46(1978), 931-960
43. Heckman, J. : « Sample Selection Bias as a Specification Error, » *Econometrica*, 47(1979), 153-161
44. Hay, S. et A. Rice. : « The case for apportionment », *Proceedings of the First ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings*, November 03-03, 2009, Berkeley, California
45. Heltberg, R. : « Fuel switching : evidence from eight developing countries », *Energy Economics*, vol. 26 (2004), no 5, p. 869-887.
46. Heltberg, R. : « Factors determining household fuel choice in guatemala, *Environment and Development Economics*, vol. 10 (2005) , p. 337-361.

47. Houthakker, H. S. : « Electricity Tariffs in Theory and Practice, » *Electricity in the United States*, Amsterdam : North Holland Publishing Co., (1962)
48. Hirst, E., R. Goeltz et J. Carney. : « Residential energy use : Analysis of disaggregate data », *Energy Economics*, vol. 4 (1982), no 2, p. 7482.
49. Hubert, J. et R. Daoud. : « Regard sur la recherche en économie du logement via le prisme du journal of housing economics », *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, vol. 1 (2017), p. 141-168.
50. Kuo, K., Poomlamjiak, B., Lai, S. L. : « The Causal Relationship between Gross Domestic Product, Exports, Energy Consumption, and CO_2 in Thailand, » *International Journal of Intelligent Technologies and Applied Statistics*, 7(2014), 47-67
51. Israel, D. : « Fuel choice in developing countries : Evidence from bolivia », *Economic Development and Cultural Change*, vol. 50 (2002), no 4, p. 865-890.
52. Jacquot, A., B. Jezequel et C. Minodier. : « Les charges dans le budget des locataires », *INSEE*, (2004), p. 1-4.
53. Jung, T. Y. : « Ordered logit model for residential electricity demand in korea, » *Energy Economics*, vol. 15 (1993), no 3, p. 205-209.
54. Kahn, M. E. : « The environmental impact of suburbanization. », *J. Policy Anal. Manage.*, vol. 19 (2000), no 4, p. 569-586.
55. Kaza, N. : « Understanding the spectrum of residential energy consumption : a quantile regression approach », *Energy Policy*, vol. 38 (2010), no 11, p. 6574-6585.
56. Kelly, S. : « Do homes that are more energy efficient consume less energy ? a structural equation model of the english residential sector », *Energy*, vol. 36 (2011), no 9, p. 5610-5620.
57. Labandeiran, X., J. M. L. Azcona et M. R. Méndez. : « A residential energy demand system for spain », *Journal of Energy*, vol. 27 (2006), p. 87-111.
58. Leach, G. : « The energy transition », *Energy Policy*, vol. 20 (1992), no 2, p. 116-123.
59. Lancaster, K. J. : « Consumer Demand : A New Approach, » *Columbia University Press*, 5 (1971), 1-177.
60. Leahy, E. et S. Lyons. : « Energy use and appliance ownership in ireland », *Energy Policy*, vol. 38 (2010), p. 4265-4279.
61. Lee, R.-S. et N. Singh. : « Patterns in residential gas and electricity consumption : An econometric analysis », *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 12 (1994), no 2, p. 233-241.
62. Lee, L. F., Trost, R. P. : « Estimation of Some Limited Dependent Variable Models with Application to Housing Demand, » *Journal of Econometrics*, 8(1978), 357-382
63. Lee, S.-H. J. S. et S.-J. Kwak. : « Estimation of residential electricity demand function in seoul by correction for sample selection bias », *Energy policy*, vol. 35 (2007), p. 5702-5707.

64. Lhendup, T., S. Lhundup et T. Wangchuk. : « Domestic energy consumption patterns in urban bhutan », *Energy for Sustainable Development*, vol. 14 (2010), no 2134-142.
65. Liao, H.-C. et T.-F. Chang. : « Space-heating and water-heating energy demands of the aged in the us », *Energy Economics*, vol. 24 (2002), no 3, p. 267-284.
66. Levy, J., Belaid, F. : « The Determinants of Energy Consumption in France : Energy Modes, Habitat, Households and Life Cycles, » *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2018), 2104-2114
67. Lévy, J.-P., N. Roudil, A. Flamand et F. Belaïd. : « Les déterminants de la consommation énergétique domestique », *Cahiers scientifiques internationaux Réseaux et territoires, Metropolis / Université Paris-Est Marne la Vallée* (2014), Usages de l'énergie dans l'habitat : la transition énergétique vue d'en bas., pp.40-54
68. Lucas, W., D. : « Durable Goods and Residential Demand for Energy and Water : Evidence from a Field Trial, » *RAND Journal of Economics*, 39(2008), 530-546
69. Mcfadden, D., : « Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior, » Academic Press, New York, (1974), 105-142
70. Mcfadden, D., Train, K. : « Mixed MNL Models for Discrete Response, » *Journal Applied Econometrics*, 15 (2000), 447-470
71. Nesbakken, R. : « Price Sensitivity of Residential Energy Consumption in Norway, » *Energy Economics*, 21 (6) (1999), 493-515.
72. Maria, V. G. et Linderhof. : « Household demand for energy, water and the collection of waste : a microeconomic analysis », university of Groningen, Labyrinth Publication. (2001), p. 1-171.
73. Ndiaye, D. et K. Gabriel. : « Principal component analysis of the electricity consumption in residential dwellings », *Energy and building*, vol. 43 (2011), p. 446-453.
74. Nesbakken, R. : « Price sensitivity of residential energy consumption in norway », *Energy Economics*, vol. 21 (1999), no 6, p. 493-515.
75. Nesbakken, R. : « Energy consumption for space heating : A discrete continuous approach », *J. of Economics*. vol. 103 (2001), p. 156-184.
76. Novshek, W., Sonnenschein : « Marginal Consumers of Neoclassical Demand Theory, » *Journal of Political Economy*, 87 (1979), 1368-1376
77. Ozturk, I. : « Aliterature Survey on Energy-Growth Nexus, » *Energy policy* 38(2010), 340-349
78. O'Neill, B. C. et B. S. Chen. : « Demographic determinants of household energy use in the united states. », *Population and Development Review*, vol. 28 (2002), p. 53-88.
79. Ouedraogo, B. : « Household energy preferences for cooking in urban ouagadougou, burkina faso », *Energy Policy*, vol. 34 (2006), no 18, p. 3787-3795.

80. Pachauri, S. et L. Jiang. : « The household energy transition in india and china », *Energy Policy*, vol. 36 (2008), p. 4022-4035.
81. Pachauri, S., A. Mueller, A. Kemmler et D. Spreng. : « On measuring energy poverty in indian households », *World Development*, vol. 32 (2004), no 12, p. 2083-2104.
82. Pandey, V. L. et A. Chaubal. : « Comprehending household cooking energy choice in rural india », *Biomass and Bioenergy*, vol. 35(2011), no 11, p. 4724-4731.
83. Parti, M. et C. Parti. : « The total and appliance-specific conditional demand for electricity in the household sector », *Bell Journal of Economics*, vol. 11 (1980), no 1, p. 309-321.
84. Patel, S. N., T. Robertson, J. A. Kientz, M. S. Reynolds et G. D. Abowd. : « At the Flick of a switch : Detecting and classifying unique electrical events on the residential power line. lecture notes in computer science », *Ubiquitous Computing*, (2007), 271-288.
85. Poyer, D. A. et M. Williams. : « Residential energy demand : additional empirical evidence by minority household type », *Energy Economics*, vol. 15 (1993), no 2, p. 93-100.
86. Raaij, W. V. : « A behavioral model of residential energy use », *Journal of Economic Psychology*, vol. 3 (1983), no 1, p. 39-63.
87. Rahut, D. B., B. Behera et A. Ali. : « Household energy and consumption intensity : Empirical evidence from bhutan », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. vol. 53 (2016), p. 993-1009.
88. Rahut, D. B., S. Das, H. D. Groote et B. Behera. : « Determinants of household energy use in bhutan », *Energy*, vol. 69 (2014), no 1, p. 661-672.
89. Rao, M. et B. S. Reddy. : « Variations in energy use by indian households : An analysis of micro level data », *Energy*, vol. 32 (2007), no 2, p. 143-153.
90. Rehdanz, K. : « Determinants of residential space heating expenditures in germany », *Energy Economics*, vol. 29 (2007), p. 167-182.
91. R.Khandker, S., D. F.Barnes et H. A.Samad. : « Are the energy poor also income poor ? evidence from india », *Energy Policy*, vol. 47 (2012), p. 1-12.
92. Refabert, F., Sweatman, P. : « Rapport du Groupe de Travail sur le financement des rénovations énergétiques dans le secteur résidentiel, » Janvier 2017, p.1-68.
93. Slini, T., Giana, E., Papadopoulos, A. M. : « The Impact of Economic Recession on Domestic Energy Consumption, » *International Journal of Sustainable Energy*, 34 (2015), 259-270
94. Santin, O. G. : « Behavioural patterns and user roles related to energy consumption for heating », *Energy and Buildings*, vol. 43 (2011), no 10, p. 2662-2672.
95. Schuler, A., C. Weber et U. Fahl. : « Energy consumption for space heating of west-german households : empirical evidence, scenario projections and policy implications », *Energy Policy*, vol. 28 (2000), no 12, p. 877-894.

96. Shimoda, Y., T. Asahi, A. Taniguchi et M. Mizuno. : « Evaluation of city-scale impact of residential energy conservation measures using the detailed end-use simulation model », *Energy*, vol. 32 (2007), no 9, p. 1617-1633.
97. Someth, K. M., Rahul, A., Ishita, G., Sarbjit, S. : « Domestic Energy Consumption and Income Growth : A Quantitative Analysis of Developing and Developed Countries Using Panel Causality, Panel Cointegration and SURE, » *Journal of Quantitative Economics*, 14 (2016), 87-116
98. Soytas, U., Sari, R. : « Energy Consumption and GDP : Causality Relationship in G7 Countries and Emerging Markets, » 25(2003), 33-37
99. Sun, J., Yin, H., Wang, F. : « Net Private Benefice of Purchasing Eco-label Air Conditioners and Subsidization Policies in China, » *Energy Policy*, 73 (2014a), 186-195
100. Sun, D., Bai, J., Cai, Y. : « Impact of Government Subsidies on Households Biogas Use in Rural China, » *Energy Policy*, 73 (2014b), 748-756
101. Taylor, L. : « The Demand for Electricity : A Survey, » *Bell Journal of Economics*, 6(1975), 74-110
102. Thaler, R. : « Toward a positive theory of consumer choice », *Journal of Economic Behavior and Organization*, vol. 1 (1980), P. 39-60.
103. Vaage, K. : « Heating technology and energy use : a discrete/continuous choice approach to norwegian household energy demand », *Energy Economics*, vol. 22 (2000), p. 649-666.
104. Vergara, E. J., S. Nadjm-Tehrani et M. Asplund. : « Sharing the cost of lunch : Energy apportionment policies , *Proceedings of the 11th ACM Symposium on QoS and Security for Wireless and Mobile Networks*, November 02-06, 2015, Cancun, Mexico
105. V.Jones, R., A. Fuertes et K. J.Lomas. : « The socio-economic, dwelling and appliance related factors aecting electricity consumption in domestic buildings », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 43 (2015), p. 901-917.
106. Özcan, K. M., E. Gülay et enay Üçdoşruk. : « Economic and demographic determinants of household energy use in turkey », *Energy Policy*, vol. 60 (2013), p. 550-557.
107. Watanabe, M., Kojima, M. : « Energy Efficiency Standards and Labeling Program and Consumer Welfare : a Case of the Air Conditioner Market in China, » *IDE Paper No. 602*, (2016), Institute of developing Economics, Japan
108. Zhao, T., Bell, L., Horner M., Sulik, J., Zhang, J. : « Consumer Responses Towards Home Energy Financial Incentives : A Survey Based Study, » *Energy Policy*, 47 (2012), 291-297
109. Zhou, S. et F. Teng. : « Estimation of urban residential electricity demand in china using household survey data », *Energy plocicy*, vol. 61 (2013), p. 394-402