

INRA
UMR 1041
CESAER
Dijon

CNRS
UMR 6049
ThéMA
Besançon

La consommation d'énergie des ménages en France

Jean Cavailhès
Daniel Joly
Thierry Brossard
Hervé Cardot
Mohamed Hilal
Pierre Wavresky

Rapport final
Novembre 2011

INRA
UMR 1041
CESAER
Dijon

CNRS
UMR 6049
ThéMA
Besançon

La consommation d'énergie des ménages en France

Jean Cavailhès^α
Daniel Joly^β
Thierry Brossard^β
Hervé Cardot^γ
Mohamed Hilal^α
Pierre Wavresky^α

Rapport final
Novembre 2011

^α INRA UMR 1041 CESAER, Dijon.

^β CNRS UMR 6049 ThéMA, Besançon.

^γ Université de Bourgogne, IMB, UMR CNRS 5584, Dijon, France

Convention MEEDDM – INRA n° 22 0009 3249 du 3 juin 2010

Sommaire

TABLE DES FIGURES	9
TABLE DES TABLEAUX.....	11
PRÉSENTATION.....	13
CHAPITRE 1- DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE : ESTIMATION DE PARAMÈTRES DE COURT TERME DE COMPORTEMENT DES MÉNAGES	15
1. POSITION DU PROBLÈME	15
1.1 UNE APPROCHE EN ÉCONOMÉTRIE DE DONNÉES DE PANEL	15
1.2 ANALYSE DE COMPORTEMENTS DE COURT TERME.....	16
1.3 QUELQUES LIMITES DE L'APPROCHE EN ÉCONOMÉTRIE DE DONNÉES DE PANEL.....	16
2. LE MODÈLE ET LES DONNÉES	17
2.1 LE MODÈLE ÉCONOMÉTRIQUE	17
2.2 LA FORME FONCTIONNELLE.....	17
2.3 L'APPARIEMENT ET L'APUREMENT DES DONNÉES.....	18
2.4 LES VARIABLES	19
2.5 LES VARIABLES CLIMATIQUES	20
2.6 LES SOUS-ÉCHANTILLONS	21
3. RÉSULTATS.....	22
3.1 STATISTIQUES DESCRIPTIVES.....	22
3.2 LA DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE DANS LES MAISONS.....	26
3.3 LA DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE DANS LES APPARTEMENTS	29
4. CONCLUSIONS	32
RÉFÉRENCES DU CHAPITRE 1	34
CHAPITRE 2- LA VULNÉRABILITÉ AU FROID	35
1. PRÉCARITÉ ÉNERGÉTIQUE ET VULNÉRABILITÉ AU FROID.....	35
2. LE FROID RESENTI : QUI ? OÙ ? POURQUOI ?.....	37
2.1 QUELS SONT LES MÉNAGES QUI ONT EU FROID ?.....	37
2.1.1 <i>Le rôle du revenu et de la dépense énergétique.....</i>	<i>37</i>
2.1.2 <i>Le rôle de la composition du ménage</i>	<i>39</i>
2.2 LE FROID SELON LE STATUT D'OCCUPATION DU LOGEMENT	41
2.3 DANS QUELS LOGEMENTS A-T-ON FROID ?	43
2.3.1 <i>La date de construction de l'immeuble</i>	<i>43</i>
2.3.2 <i>La taille du logement</i>	<i>45</i>
2.3.3 <i>Le mode de chauffage</i>	<i>45</i>
2.3.4 <i>L'état de l'immeuble</i>	<i>46</i>
2.3.5 <i>La situation du logement dans l'immeuble collectif.....</i>	<i>49</i>
2.4 OÙ A-T-ON FROID ?	50
3. LES DÉTERMINANTS DU FROID.....	52
3.1 MÉTHODE.....	52
3.2 LES LOCATAIRES D'APPARTEMENTS	54
3.2.1 <i>La sélection des variables.....</i>	<i>54</i>
3.2.2 <i>Les variables relatives au logement.....</i>	<i>56</i>

3.2.3	<i>Les variables relatives au ménage</i>	57
3.2.4	<i>Les variables climatiques</i>	59
3.2.5	<i>Précarité énergétique et sensation de froid</i>	61
3.3	LES PROPRIÉTAIRES EN MAISONS INDIVIDUELLES	63
3.3.1	<i>La sélection des variables</i>	63
3.3.2	<i>Les variables relatives au logement</i>	64
3.3.3	<i>Les variables relatives au ménage</i>	66
3.3.4	<i>Les variables climatiques</i>	67
3.3.5	<i>Précarité énergétique et sensation de froid</i>	68
3.4	LES PROPRIÉTAIRES D'APPARTEMENTS ET LES LOCATAIRES DE MAISONS INDIVIDUELLES	70
3.5	CONCLUSIONS	72
4.	ANALYSE FACTORIELLE MULTIPLE	73
4.1	LES VARIABLES	73
4.2	LA MÉTHODE DE L'ANALYSE FACTORIELLE MULTIPLE.....	77
4.3	RÉSULTATS : LES LOCATAIRES D'APPARTEMENTS	77
4.4	RÉSULTATS : PROPRIÉTAIRES DE MAISONS INDIVIDUELLES	89
	RÉFÉRENCES DU CHAPITRE 2	101
	ANNEXES DU CHAPITRE 2 : ESTIMATION PAR LE MAXIMUM DE VRAISEMBLANCE	103
	CHAPITRE 3- FONCTIONS DE DÉPENSE ET DE CONSOMMATION	107
1.	INTRODUCTION	107
2.	MÉTHODE : QUELLE FONCTION ESTIMER ?	109
2.1	APPROCHE DISCRÈTE – CONTINUE DANS LA LITTÉRATURE INTERNATIONALE	109
2.2	L'IMPOSSIBILITÉ D'ESTIMER UNE <i>FONCTION ALMOST IDEAL SYSTEM DEMAND (AIDS)</i> 109	
2.2.1	<i>Choix du mode de chauffage et de l'équipement énergétique</i>	109
2.2.2	<i>Les prix de l'énergie</i>	114
2.3.	LES FONCTIONS DE DÉPENSE ET DE CONSOMMATION ESTIMÉES	114
3.	LES DONNÉES ET LA MÉTHODE	115
4.	RÉSULTATS : STATISTIQUES DESCRIPTIVES	118
4.1	LA DÉPENSE ÉNERGÉTIQUE.....	118
4.2	LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE ET LES ÉMISSIONS DE GAZ CARBONIQUE.....	120
5.	LES DÉTERMINANTS DE LA DÉPENSE ET DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES MAISONS INDIVIDUELLES	121
6.	LES DÉTERMINANTS DE LA DÉPENSE ET DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES APPARTEMENTS	132
7.	CONCLUSIONS	141
	RÉFÉRENCES DU CHAPITRE 3	143
	ANNEXE DU CHAPITRE 3. LA FONCTION AIDS ET SES PROPRIÉTÉS	145
	CHAPITRE 4 - LES DÉPENSES ÉNERGÉTIQUES CONTRAINTES DANS LES TERRITOIRES : LOGEMENT ET NAVETTES	147

1. INTRODUCTION.....	147
2. MÉTHODE.....	148
3. RÉSULTATS.....	150
3.1 LES ÉMISSIONS DE CO2 PAR DÉPARTEMENT	150
3.2 LES ÉMISSIONS DE CO2 PAR COMMUNE.....	152
4. CONCLUSION	154
RÉFÉRENCES	155

TABLE DES FIGURES

Figure 1. Sur- et sous-représentations du froid ressenti selon la date de construction de l'immeuble	44
Figure 2. Surreprésentation des ménages ayant froid selon les problèmes rencontrés dans le logement.....	49
Figure 3. Sous ou surreprésentation du froid ressenti selon les climats.....	51
Figure 4. Effet de l'âge de la personne de référence sur la probabilité d'avoir froid.....	58
Figure 5. Effet du taux d'effort énergétique sur la probabilité d'avoir froid.....	59
Figure 6. Effet de la température moyenne (novembre-mars) sur la probabilité d'avoir froid	59
Figure 7. Probabilité d'avoir froid selon la température et la date de construction de l'immeuble	60
Figure 8. Sensation de froid et précarité énergétique selon l'âge.....	62
Figure 9. Précarité énergétique selon la date de construction de l'immeuble et la température hivernale.....	63
Figure 10. Effet du taux d'effort énergétique sur la probabilité d'avoir froid.....	66
Figure 11. Effet de la température sur le froid ressenti	67
Figure 12. Effet de la pluviométrie sur le froid ressenti.....	67
Figure 13. Histogramme des valeurs propres pour les locataires (analyse globale).....	78
Figure 14. Arbre de classification.....	80
Figure 15. Représentation des groupes actifs et supplémentaires	81
Figure 16. Plan 1-2 de l'AFM	82
Figure 17. Plan 1-2 : variables relatives au ménage	83
Figure 18. Variables relatives au logement	83
Figure 19. Variables relatives à l'environnement.....	84
Figure 20. Variables supplémentaires	85
Figure 21. Histogramme des valeurs propres pour les propriétaires	90
Figure 22. Arbre de classification.....	92
Figure 23. Représentation des groupes actifs et supplémentaires	93
Figure 24. Plan 1-2 de l'AFM des propriétaires.....	95
Figure 25. Plan 1-2 : variables relatives au ménage	96
Figure 26. Plan 1-2 : variables relatives au logement.....	97
Figure 27. Plan 1-2 : variables relatives à la localisation	98
Figure 28. Plan 1-2 : variables supplémentaires.....	99

Figure 29. Evolution du prix de l'énergie (période 1983-2010 et années des enquêtes Logement)	114
Figure 30. Dépense énergétique selon le mode de chauffage et la date de construction de la maison	131
Figure 31. Dépense énergétique selon la date de construction de l'appartement.....	140
Figure 32. Emissions de CO2 par département	151
Figure 33. Emissions de CO2 par commune	153

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1. Statistiques descriptives : maisons individuelles.....	22
Tableau 2. Statistiques descriptives : appartements	23
Tableau 3. Evolutions de la situation des maisons avec chauffage électrique dont la dépense d'énergie a été divisée par deux ou plus entre 1984 et 1988.....	24
Tableau 4. Evolutions de la situation des maisons avec chauffage électrique dont la dépense d'énergie a été multipliée par deux ou plus entre 1984 et 1988.....	25
Tableau 5. Date déclarée de construction de l'immeuble en 1984 et 1988 (maisons en propriété)	26
Tableau 6. Résultats : maisons	27
Tableau 7. Résultats : appartements	30
Tableau 8. Froid ressenti selon le revenu du ménage.....	38
Tableau 9. Froid ressenti selon le taux d'effort énergétique	38
Tableau 10. Froid ressenti selon l'âge de la personne de référence du ménage.....	39
Tableau 11. Froid ressenti selon la nationalité de la personne de référence	40
Tableau 12. Froid ressenti selon la composition du ménage.....	40
Tableau 13. Froid ressenti selon l'occupation de la personne de référence	40
Tableau 14. Froid ressenti selon le niveau de peuplement du logement	41
Tableau 15. Froid ressenti selon le statut d'occupation du logement.....	41
Tableau 16. Froid ressenti par les propriétaires en individuel accédant à la propriété.....	41
Tableau 17. Froid ressenti par les locataires dans les HLM et les autres logements locatifs	42
Tableau 18. Froid ressenti par les locataires en collectif ayant des difficultés à payer leur loyer.....	42
Tableau 19. Froid ressenti par les locataires en collectif en retard de loyer (enquêtes Logement 1996 et 2002)	43
Tableau 20. Froid ressenti selon la date de construction de l'immeuble.....	43
Tableau 21. Froid ressenti selon la surface habitable.....	45
Tableau 22. Froid ressenti selon le mode de chauffage principal	46
Tableau 23. Froid ressenti selon l'usage de modes de chauffage d'appoint	46
Tableau 24. Froid ressenti et isolation du logement.....	47
Tableau 25. Froid ressenti et état de l'immeuble: revêtement de la façade.....	48
Tableau 26. Froid ressenti et état du logement : problèmes divers	48
Tableau 27. Froid ressenti par les locataires en collectif selon la situation dans l'immeuble	50
Tableau 28. Froid ressenti selon les climats	51

Tableau 29. Froid ressenti selon la température moyenne novembre à mars.....	51
Tableau 30. Froid ressenti et localisation dans le zonage en aires urbaines.....	52
Tableau 31. Résultats : Odds ratios, locataires en appartements.....	57
Tableau 32. Comparaison des sélections stepwise	61
Tableau 33. Odds ratios, propriétaires en maisons individuelles	65
Tableau 34. Comparaison des sélections stepwise	69
Tableau 35. Résultats : locataires en maisons individuelles.....	70
Tableau 36. Résultats : propriétaires d'appartements.....	71
Tableau 37. Les variables et de leur intitulé dans l'analyse factorielle (en italiques les variables actives, en romaines les variables supplémentaires).....	77
Tableau 38. Pourcentages d'inertie (analyses partielles).....	79
Tableau 39. Coefficients Rv	79
Tableau 40. Contribution des variables sur les 5 premiers axes.....	86
Tableau 41. Pourcentages d'inertie (analyses partielles).....	91
Tableau 42. Coefficients Rv	91
Tableau 43. Contribution des variables sur les 5 premiers axes.....	94
Tableau 44. Prix de l'équipement de chauffage selon son type (installation, maisons individuelles).....	110
Tableau 45. Prix des ouvertures et parois opaques (maisons individuelles)	111
Tableau 46. Gros travaux d'équipement de chauffage ou d'isolation.....	112
Tableau 47. Utilisation d'appareils indépendants de chauffage comme mode principal ..	113
Tableau 48. Localisation des logements utilisant des appareils indépendants de chauffage comme mode principal	113
Tableau 49. Mode de chauffage du logement (effectifs).....	116
Tableau 50. Nombre d'observations utilisées dans les estimations économétriques	116
Tableau 51. Facteurs d'émission de CO2 selon le type d'énergie	117
Tableau 52. Dépense annuelle et consommation selon le mode de chauffage et le type d'énergie. Maisons individuelles.....	120
Tableau 53. Dépense annuelle et consommation selon le mode de chauffage et le type d'énergie. Appartements	120
Tableau 54. Maisons individuelles : résultats économétriques.....	129
Tableau 55. Appartements : résultats économétriques (fin)	138
Tableau 56. Facteurs d'émission de CO2 selon le type d'énergie	149

Présentation

Ce rapport présente les résultats d'une recherche menée en partenariat entre le Commissariat Général au Développement Durable et l'INRA (UMR CESAER, Dijon), à laquelle participent le CNRS (UMR ThéMA, Besançon) et l'Université de Bourgogne (UMR CNRS 5584, Dijon). Cette recherche a pour objectif l'étude de questions relatives à la consommation d'énergie des ménages.

Dans le premier chapitre, les dépenses d'énergie domestique des ménages sont analysées à partir de deux enquêtes Logement (EL) de l'INSEE (1984 et 1988), qui ont l'avantage d'avoir été réalisées sur le même échantillon de ménages, ce qui permet d'utiliser les méthodes de l'économétrie des données de panel. Malgré l'ancienneté de ces deux EL, elles permettent de se rapprocher au mieux des la condition « toutes choses égales par ailleurs ». Le second chapitre traite de la vulnérabilité énergétique des ménages, en exploitant une question posée dans les EL 1996, 2002 et 2006 sur le froid ressenti dans le logement¹. Cette question complète les approches « objectives » de la précarité énergétique (Pelletier et al., 2009) par une approche « subjective », que recommande la commission Stiglitz et al. (2010).

Le troisième chapitre analyse la dépense énergétique, la consommation d'énergie et les émissions de gaz carbonique en fonction de caractéristiques des ménages (position socio-économique, caractéristiques démographiques, etc.), des logements (surface habitable, date de construction de l'immeuble, etc.) et de la localisation (en particulier : le climat). Les maisons individuelles et les appartements sont distingués, de même que les principaux modes de chauffage du logement.

Enfin, le quatrième chapitre présente la sensibilité des territoires à la consommation d'énergie contrainte. Nous entendons par énergie contrainte celle utilisée dans le logement (chauffage, éclairage, etc.) et dans les déplacements domicile – travail. Ces derniers ont été analysés par Levy et Le Jeannic (2011a ; 2011b). Nous prolongeons leur travail en cumulant les dépenses énergétiques dues à ces navettes et celles liées au logement. Leur somme constitue, en effet, ce qu'on peut appeler des dépenses contraintes, sur lesquelles Stiglitz et al. (2010) attirent également l'attention.

Ce travail a été réalisé à partir des enquêtes Logement de l'INSEE, qui les a mises à notre disposition sur son centre d'accès sécurisé à distance (CASD). Cela nous a permis de rattacher à chaque logement enquêté d'autres données sur la localisation de ce logement : données climatiques, données issues de recensements de la population, ZAUER, etc. La procédure mise en place par l'INSEE avec le CASD a ainsi permis d'enrichir les EL à partir d'autres sources de données sans rompre le secret statistique, avec l'accord du Comité du secret statistique du CNIS. Nous remercions l'INSEE d'avoir mis à notre disposition cette procédure et, tout particulièrement, les informaticiens du CASD sans lesquels cette technologie ne pourrait fonctionner.

¹ « Froid dans le logement pendant au moins 24h au cours des 12 derniers mois ? ». Réponse par « oui », « non » ou « sans objet » quand aucune personne du ménage n'a emménagé depuis 12 mois.

Références

Levy, D., Le Jeannic T. (2011a) - Un habitant de pôle urbain émet deux fois moins de CO2 que la moyenne pour se rendre à son lieu de travail ou d'études, *Insee Première* n°1357, juin 2011 et *Le point sur*, n° 87.

Levy, D., Le Jeannic T. (2011b) - Indicateurs de développement durable territoriaux. Le temps de déplacement domicile-travail, CGDD, <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/indicateurs-indices/fiche/1833/1346/temps-deplacement-domicile-travail.html>

Pelletier Ph., De Quero A (Rédacteur), Lapostolet B (Rédacteur) (2009), Groupe de travail Précarité énergétique, 15 décembre 2009, 52 p.

Stiglitz JE, Sen A, Fitoussi JP (2010), Rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social, 324 p.

Chapitre 1

Dépense énergétique :

Estimation de paramètres de court terme de comportement des ménages

1. Position du problème

Nous étudions ici la dépense en énergie domestique des ménages à partir des enquêtes *Logement* de l'Insee de 1984 et 1988. Cette variable est directement observée dans ces enquêtes. Il s'agit d'expliquer certains de ses déterminants par les comportements de court terme des ménages (i.e. certains facteurs restant fixes à court terme : même logement, même mode de chauffage, etc.).

1.1 Une approche en économétrie de données de panel

Une des difficultés essentielles des méthodes de révélation des préférences des ménages à partir de l'observation de leur comportement est qu'il n'est jamais sûr que la condition « toutes choses égales par ailleurs » soit respectée. Or, s'il y a des paramètres de l'état du monde ou des caractéristiques des ménages qui ne sont pas observés et qui sont corrélés à des variables d'intérêt du modèle (ce qui se produit toujours), les paramètres estimés pour ces dernières sont biaisés.

L'économétrie des données de panel permet, dans une certaine limite, de s'affranchir de cette limite. Il s'agit d'observer la même entité (un agent économique particulier, une zone géographique donnée, etc.) à deux moments différents en considérant que tout ce qui concerne cette entité et qui n'est pas observé n'a pas changé durant l'intervalle de temps. Ce cadre méthodologique est bien adapté à l'étude du comportement de ménages (entité pour laquelle les variables de comportement inobservables sont nombreuses) occupant un logement (autre entité dont toutes les caractéristiques ne peuvent être connues).

Nous exploitons ici le fait que les enquêtes *Logement* réalisées par l'Insee en 1984 et 1988 sont issues du même échantillon-maître (lui-même tiré du recensement de la population de 1982). De ce fait, il est possible de contrôler assez bien la condition « toutes choses égales par ailleurs » en prenant les mêmes logements (qui ont pu connaître quelques évolutions) occupés par le même ménage (dont la composition socio-démographique ou la situation économique ont pu changer) aux deux dates. Si ce qui n'est pas observable est invariant, on obtient ainsi des paramètres non biaisés (du fait de l'omission des variables inobservables) pour les variables explicatives.

1.2 Analyse de comportements de court terme

L'analyse de ces deux enquêtes *Logement* en données de panel permet d'estimer des paramètres de comportement à court terme des ménages en matière de consommation d'énergie (élasticité revenu, effet de la composition socio-démographique, etc.). Il s'agit de paramètres de comportement à court terme, sans ajustement de long terme d'éléments quasi-fixes caractérisant le ménage (comme la rupture ou la formation d'un couple) et le logement qu'il occupe (déménagement, modifications majeures comme une coupure en deux ou la fusion de deux logements). Ces changements majeurs sont exclus pour des raisons qui tiennent à la source : d'une part, ce sont les logements et non les ménages qui sont observés aux deux dates (ce qui ne permet pas d'analyser le comportement de ménages ayant déménagé) ; d'autre part, seuls les logements pérennes aux deux dates sont appariés (les logements de 1984 détruits ou non retrouvés en 1988 sont évidemment éliminés et les logements construits entre les deux dates ne peuvent évidemment pas être appariés).

Les variables dont les effets sont analysés dans cette partie ne concernent donc pas des changements radicaux, mais des changements incrémentaux comme l'arrivée ou le départ d'un enfant, une hausse ou une baisse du revenu, l'aménagement d'une nouvelle pièce habitable, un changement de la température des mois d'hiver, etc. De plus, les estimations réalisées à partir de ce panel 1984 – 1988 ignorent les changements qui ont pu se produire depuis lors en matière de préférences des ménages, de technologie énergétique, d'isolation des logements, etc.

1.3 Quelques limites de l'approche en économétrie de données de panel

L'économétrie des données de panel n'a pas, pour autant, réponse à tout. Quelques limites importantes doivent être signalées ici.

Si certaines variables ont connu des évolutions identiques pour tous les ménages entre 1984 et 1988, leur effet ne peut être estimé. C'est le cas, par exemple, du prix du KWh fourni par EDF (aux évolutions près du contrat d'abonnement) et ceci vaut, à peu de choses près, pour les autres sources d'énergie domestique : le prix du gaz, du fioul, etc. a évolué de la même manière pour tous les ménages entre les deux dates. Il n'est donc pas possible d'estimer des élasticités prix de la consommation énergétique.

Notons également que le prix de l'électricité a légèrement augmenté entre 1984 et 1988 (il s'agit d'un prix national), alors que celui du fioul a diminué de près de 40% (les variations régionales sont faibles), l'évolution du prix du gaz étant intermédiaire. Or, les ménages utilisent ces différentes sources d'énergie en proportion différente selon leurs équipements de chauffage, d'eau chaude, de cuisson des aliments, etc. Du fait de cette diversité des sources, ils ne réagissent pas de la même façon à des changements des prix relatifs de l'énergie. Mais en l'absence de variabilité inter-ménages de ces changements, ces effets de prix ne peuvent être analysés dans le modèle. Cela peut biaiser les résultats s'il y a des différences systématiques corrélées aux variables d'intérêt (ex. : les riches utilisent davantage l'électricité, les pauvres le fioul).

Il peut également y avoir des caractéristiques inobservables qui ne sont pas restées identiques durant la période ; dans ce cas, leurs effets sont captés soit par le terme d'erreur (si ces caractéristiques ne sont pas liées aux variables de la régression) soit par certaines variables explicatives du modèle (dans le cas contraire), ce qui introduit des biais. Le risque est moindre qu'avec des données en coupe transversale, mais il existe. C'est le cas, par

exemple, du chauffage au fioul. Comme nous l'avons dit, le prix de ce combustible a baissé d'environ 40% entre 1984 et 1988. Si l'élasticité du prix de la demande est négative, cela doit se traduire par une augmentation de la consommation. Mais, d'un autre côté, nous allons voir que l'hiver 1988 a été particulièrement doux, ce qui doit conduire à une économie de chauffage. L'effet estimé de la température est le résultat de cette économie, mais il est (en partie au moins) contrecarré par la dépense supplémentaire que permet la baisse du prix. Le fait que l'augmentation de température n'ait pas été uniforme dans le pays limite ce biais sans le faire disparaître.

2. Le modèle et les données

2.1 Le modèle économétrique

Nous utilisons un modèle d'économétrie de données de panel individuel – temporel, où la consommation d'énergie E_{nt} du ménage n l'année t ($t = 1984, 1988$) est la variable endogène et X_{nt} est une matrice de variables explicatives :

$$f(E_{nt}) = b_0 + bg(X_{nt}) + m_n + \varepsilon_{nt}, \quad (1)$$

où f et g sont, respectivement, les formes fonctionnelles choisies pour l'énergie et pour les régresseurs, m_n est une variable caractérisant le ménage n qui occupe le même logement aux deux dates, constante dans le temps et non intégrée à X , ε_{nt} est un terme d'erreur et les b sont les paramètres à estimer. Nous nous intéressons à l'estimateur intra-individuel (*within* ou *Least Squares Dummy Variable*) des X . En faisant la différence de l'équation (1) pour les deux années 1984 et 1988, la variable expliquée devient la différence entre la consommation énergétique en 1984 et 1988 : $f(E_{n,1988}) - f(E_{n,1984})$, qui elle est expliquée par la déviation des variables explicatives $X_{n,1988} - X_{n,1984}$. Le terme m_n de (1) s'élimine de cette équation qui devient :

$$f(E_{n,1988}) - f(E_{n,1984}) = b[g(X_{n,1988}) - g(X_{n,1984})] + v_n \quad (2)$$

Le terme d'erreur $v_n = \varepsilon_{n,1988} - \varepsilon_{n,1984}$ est hétéroscédastique, mais on est dans le cas où l'estimateur des moindres carrés généralisés (MCG) est le même que celui des moindres carrés ordinaires (MCO) (Sevestre, 2002).

Les b donnent les paramètres de la dépense d'énergie domestique lorsque les X varient.

2.2 La forme fonctionnelle

La théorie économique ne donne pas d'indication sur la forme fonctionnelle du prix hédoniste, car il s'agit d'une fonction enveloppe (Taylor, 2008). Une spécification avec transformation de Box Cox est souvent utilisée, compte tenu de sa flexibilité. Comme l'indiquent Cheshire et Sheppard (1998 : 360-361), « The Box Cox transformation was used as the basic for the hedonic price function. Use of this form provides for the flexibility to approximate any 'true' hedonic price function ». En l'absence d'indication sur la forme fonctionnelle qui relie la dépense énergétiques aux variables explicatives, c'est-à-dire les fonctions $f(\cdot)$ et $g(\cdot)$ de (1), nous avons testé une transformation de Box Cox de la variable expliquée :

$$f(E_{nt}) = \frac{E_{nt}^\lambda - 1}{\lambda},$$

telle que $f(E_{nt})$ est la fonction logarithmique si $\lambda = 0$, $f(E_{nt})$ est une fonction linéaire si $\lambda = 1$, et $f(E_{nt})$ est une fonction monotone pour des valeurs différentes de λ . L'équation (1) avec une transformation de Box Cox pour $f(\cdot)$ et en intégrant m_n à l'erreur devient :

$$\frac{E_{nt}^\lambda - 1}{\lambda} = b_0 + bg(X_{nt}) + \zeta_{nt}, \quad t = 1984, 1988.$$

On obtient des paramètres de transformation λ qui ne sont pas significativement différents de 1. C'est pourquoi nous avons retenu la spécification linéaire.

La fonction $g(\cdot)$ est constitué de variables indicatrices, à l'exception de l'évolution :

- du revenu : nous avons testé les formes linéaire, parabolique et logarithmique, la première ayant été retenue. Des quartiles de revenu ont également été utilisés.
- de la surface habitable : m^2 , forme linéaire.
- du nombre de personnes ou d'unités de consommation du ménage : forme linéaire continue.
- des variables climatiques : introduites en variables continues, elles sont exprimées en degrés Celsius ou millimètres de pluie, forme linéaire ; introduites en variables discrètes elles sont exprimées en quantiles.

Finalement, l'équation est de la forme :

$$E_{n,1988} - E_{n,1984} = b[g(X_{n,1988}) - g(X_{n,1984})] + v_n$$

où la matrice X est sans constante. Elle est estimée par les MCO.

2.3 L'appariement et l'apurement des données

Pour mettre en œuvre ce modèle, nous avons sélectionné un sous-échantillon composé des mêmes logements : 23841 logements de l'enquête de 1988 sont issus de celle de 1984. Parmi ces logements, 16559 sont occupés en 1988 par des ménages qui ont déclaré à l'enquêteur qu'ils avaient été enquêtés en 1984. Une question de l'enquête de 1988 permet de repérer les « logements qui existent sans avoir fusionné ni éclaté depuis l'enquête 1984 ».

Ces logements identiques occupés par le même ménage constituent la base du panel. Ils sont appariés à partir de l'identifiant des logements.

Nous avons ensuite procédé à diverses éliminations :

- Les fermes, les maisons de retraite, les pièces indépendantes ou chambres meublées dans des hôtels ou pensions et les habitations de fortune ont été éliminés, pour ne retenir que les logements ordinaires utilisés pour l'habitation.
- Les observations pour lesquelles la dépense énergétique n'a pas été renseignée en 1984 et/ou 1988 ont été exclues.
- Il en est de même des logements ayant un chauffage collectif d'immeuble ou urbain, puisque les ménages en bénéficiant ne peuvent décider de leur consommation énergétique,
- Et des locataires pour lesquels tout ou partie de la dépense en chauffage collectif et/ou l'eau chaude collective est incluse dans les charges locatives, ce qui ne permet pas d'identifier cette dépense.
- Les ménages ayant déclaré un revenu négatif ou nul n'ont pas été retenus.

- Nous avons également éliminé les centiles extrêmes de certaines variables :
 - o surface habitable en 1984 et 1988 et évolution de la surface habitable entre 1984 et 1988,
 - o nombre de pièces en 1984 et 1988 et évolution du nombre de pièces entre les deux dates,
 - o revenus total du ménage en 1984 et 1988 et son évolution entre les deux dates,
 - o montant total des dépenses énergétiques en 1984 et 1988 et évolution de cette dépense entre les deux dates.
- Les logements locatifs relevant du secteur libre à une des deux dates et du secteur social à l'autre sont également exclus.
- Les départements de la Corse n'ont pas pu être retenus car les variables climatiques n'ont pas été interpolées pour ces deux départements.

2.4 Les variables

La variable expliquée $E_{n,1988} - E_{n,1984}$ est la différence de la dépense énergétique entre 1988 et 1984, exprimée en volume. Nous calculons la dépense en volume de chacune des sources d'énergie (facture en francs courants divisée par l'évolution du prix, disponible dans la base de données Pégase), et nous faisons ensuite la somme de ces dépenses en volume.

Les variables de la matrice X concernent, tout d'abord, le ménage :

- revenu total du ménage, qui est une des principales variables d'intérêt puisqu'elle permet d'estimer une élasticité revenu (de court terme) de la dépense énergétique,
- âge de la personne de référence, ce qui permet de voir si, lorsqu'elle vieillit de quatre ans, son comportement évolue de la même façon selon qu'elle est jeune, mûre ou senior
- évolution du nombre de personnes du ménage est également utilisée comme régresseur, variable plus significative que l'évolution du nombre d'enfants (les deux étant étroitement corrélés).

En ce qui concerne le logement, nous tenons compte de ce qu'il a pu connaître certains changements entre 1984 et 1988 :

- évolution de la surface habitable aux deux dates (les résultats sont plus significatifs que ceux de l'évolution du nombre de pièces),
- réalisation entre les deux dates de travaux permettant de réaliser des économies d'énergie,
- utilisation d'un chauffage d'appoint par un appareil indépendant en 1984 et pas en 1988,
- utilisation d'une cheminée en 1984 et pas en 1988.

Les valeurs monétaires (revenu, dépense énergétique) sont exprimées en francs 1988 (en utilisant l'indice du prix du PIB comme déflateur, la conversion en euros s'obtient en multipliant par 0,06926312).

Enfin, la température et la pluviométrie de la période hivernale sont des variables d'intérêt importantes, qui permettent de voir comment les ménages réagissent au climat. Ces deux

dernières variables peuvent interagir avec le revenu si les réactions au climat diffèrent pour les classes aisées et populaires. Nous allons résumer la manière dont elles ont été obtenues.

2.5 Les variables climatiques

Elles ont été introduites dans les enquêtes Logement par appariement à partir du code communal². Elles ont été obtenues à partir de données climatiques collectées par Météo-France dans des stations réparties sur l'ensemble du territoire français. Ces données ont été interpolées pour les 30 stations les plus proches de chaque commune. Cette méthode « d'interpolation locale » (Joly *et al.*, 2009) enchaîne successivement plusieurs étapes :

- (i) Reconnaissance des 30 stations les plus proches d'une cellule d'estimation, après que le territoire national ait été partitionné en cellules de 250 mètres de côté.
- (ii) Partition du territoire en polygones relevant des 30 mêmes stations, définis selon une règle de voisinage.
- (iii) Analyse par régression multiple dans le cadre de chaque polygone, les variables utilisées comme régresseurs étant tirées de deux bases de données : un modèle numérique de terrain fourni par l'IGN, et une couche d'occupation du sol issue de Corine Land Cover. Elles ont été sélectionnées à partir de modèles physiques (rôle de l'altitude ou de l'indice de végétation sur la température et la pluviométrie, etc.) ou par une procédure pas à pas lorsque la relation physique était incertaine (rôle de la rugosité topographique par exemple).
- (iv) Application des coefficients de régression à toutes les cellules afin d'obtenir une valeur d'estimation.
- (v) Application des valeurs interpolées à la cellule où est localisée la mairie de chaque commune de manière à avoir une température et un abas pluviométrique pour chaque commune.
- (vi) Les étapes (i) à (v) ont été conduites pour les 12 mois précédant la date médiane des enquêtes Logement de 1984 (décembre 1983 à novembre 1984) et 1988 (décembre 1987 à novembre 1988), de façon à obtenir des variables climatiques correspondant à la période pour laquelle la dépense énergétique est observée (i.e. les 12 mois précédant l'enquête).

La moyenne des températures et de la pluviométrie de périodes hivernales de différentes durées (trois, quatre ou cinq mois) a été calculée et c'est la valeur qui donnait le paramètre le plus significatif qui a été retenue et exprimée sous forme linéaire. Il s'agit de la période novembre à mars. Les dépenses énergétiques ont été déclarées dans les enquêtes Logement pour les 12 mois précédant la visite de l'enquêteur.

L'enquête de 1984 a eu lieu entre octobre et décembre 1984 (cf. collections de l'INSEE série M, n° 133). La période retenue va donc de décembre 1983 à novembre 1984. L'enquête de 1988 s'est déroulée en octobre et novembre 1988 (source : INSEE résultats, consommation mode de vie, n° 36-37). La période retenue va donc de novembre 1987 à octobre 1988. Les interpolations ont été faites mois par mois pour ces deux périodes.

² Nous remercions l'Insee d'avoir permis cet appariement par une procédure d'accès distant sécurisé permettant d'interroger les enquêtes Logement sans que le code communal ne soit supprimé. Cette opération a pu être réalisée après l'accord du Comité du secret statistique et de la Commission informatique et liberté (CNIL).

2.6 Les sous-échantillons

Une estimation faite sur l'ensemble de l'échantillon poserait des problèmes pouvant entacher les résultats.

D'une part, l'évolution de la dépense énergétique sous l'effet de l'évolution des variables explicatives n'est probablement pas identique pour les maisons individuelles et les appartements. En effet, la performance thermique des appartements est améliorée (toutes choses égales d'ailleurs) du fait de leur insertion dans un immeuble où ils sont en partie chauffés par les appartements contigus.

D'autre part, le modèle risque de générer des distorsions si l'on traite en même temps chauffage individuel électrique et chauffage central au fioul. En effet, les factures du premier correspondent à la consommation d'une période courte et récente (généralement les deux derniers mois) alors que les factures de mazout dépendent du moment où la cuve est remplie et de la capacité de celle-ci. C'est ainsi qu'il y a des logements chauffés au mazout dont la dépense est nulle pour une des deux années, sans doute parce le plein n'a pas été fait au cours des douze mois précédant l'enquête³. Nous avons donc fait des estimations séparées des deux modes de chauffage, central électrique et central au mazout, lorsque les effectifs étaient suffisants.

En revanche, nous n'avons pas distingué les propriétaires des locataires car il n'y a pas de raison logique pour que ces deux types d'occupants se manifestent par des comportements différents. D'autres termes de différenciation pouvaient être envisagés, comme le taux d'effort net des accédants à la propriété, l'ancienneté d'acquisition, etc. Au total, cela aurait conduit à estimer des modèles sur un nombre élevé de sous-échantillons, ce qui ne nous a pas semblé souhaitable pour éviter de trop disperser notre propos.

Les estimations ont été faites sur cinq sous-ensembles :

- 1557 maisons individuelles à chauffage central électrique,
- 4222 maisons individuelles à chauffage central au mazout,
- 8179 maisons individuelles, quel que soit leur mode de chauffage,
- 809 appartements à chauffage central au mazout,
- et 1438 appartements, quel que soit le mode de chauffage (dont 124 à chauffage central électrique, ce qui est un effectif trop faible pour faire une estimation spécifique sur ce segment).

Le faible nombre d'appartements par rapport à celui des maisons individuelles s'explique par un taux de rotation supérieur des locataires par rapport aux propriétaires, les premiers étant surreprésentés dans les appartements. Or, nous n'avons retenu que les logements dont le ménage occupant était le même en 1984 et 1988.

Compte tenu des effectifs dans certains groupes, nous n'avons pas distingué les propriétaires des locataires. Il est, cependant, possible que les paramètres diffèrent pour ces deux catégories car l'entretien du système de chauffage repose sur le propriétaire, qui peut ne pas avoir le même comportement selon qu'il est bailleur ou occupant.

³ La question de la fréquence des achats et des non achats durant la période d'observation est classique en économie de la consommation. Elle est prise en compte à propos de la dépense énergétique lorsqu'on dispose de séries longues, comme Baker et al. (1989). C'est impossible dans notre cas, où nous ne disposons que de deux dates d'observation.

3. Résultats

3.1 Statistiques descriptives

Les tableaux 1 et 2 donnent les statistiques descriptives des variables retenues dans les régressions, pour les maisons (tableau 1) et les appartements (tableau 2). On observe, tout d'abord, que la dépense énergétique en 1984 est supérieure de 48% dans les maisons comparée aux appartements (7400 F contre 5000 F, en francs constants 1988). Entre 1984 et 1988, elle s'est réduite de 22% pour les maisons et de 23% pour les appartements.

Les deux types d'immeubles, individuels et collectifs, semblent donc donner lieu à des comportements très différents en matière de consommation d'énergie. Il faut, cependant, tenir compte de la fréquence de non-achat de mazout, qui est différente dans les deux types de logements.

	maisons			
	moyenne	écart-type	mini	maxi
dépense énergétique en 1984 (francs 1988)	7402	3038	59	17351
évolution 1988 - 1984 dépense énergétique (francs)	-1641	3205	-11978	9896
pas d'achat de mazout en 1984	0,308	0,461	0	1
pas d'achat de mazout en 1988	0,313	0,464	0	1
chauffage indépendant d'appoint en 1984 et pas en 1988	0,413	0,492	0	1
cheminée d'appoint en 1984 et pas en 1988	0,074	0,262	0	1
travaux d'économie d'énergie entre 1984 et 1988	0,238	0,426	0	1
nombre de personnes du ménage en 1984	3,2	1,3	1	6
évolution 1988 - 1984 du nombre de personnes	-0,1	0,8	-5	5
surface habitable en 1984	98,8	30,0	36	242
évolution 1988 - 1984 surface habitable	1,4	24,3	-99	98
revenu en 1984 (francs 1988)	150116	73947	2501	479164
évolution 1988 - 1984 revenu (francs)	-12494	50409	-236683	235829
température moyenne (décembre 1983 à mars 1984, novembre 1984) (degrés Celsius)	5,2	1,7	-0,1	9,7
Evolution température enquête 1988-enquête 1984 (degrés Celsius)	3,7	0,6	2,0	5,3
Pluviométrie moyenne (décembre 1983 à mars 1984, novembre 1984) (millimètres)	71,8	25,2	24,4	204,4
Evolution pluviométrie enquête 1988-enquête 1984 (millimètres)	20,9	9,4	-15,6	65,8

Unité : francs

Tableau 1. Statistiques descriptives : maisons individuelles

Les économies réalisées en 1988 par rapport à 1984 sont probablement dues en grande partie au climat des deux hivers en cause : la température moyenne des mois d'hiver (cinq mois, à cheval sur l'année précédente et celle de l'enquête : cf. supra) a oscillé entre 5,2 et 5,5°C en 1983-1984 alors qu'elle fut beaucoup plus clémente en 1987-1988 avec une augmentation de 3,7 à 3,8°C. Par contre En revanche, la période hivernale considérée (les cinq même mois) a été plus arrosée en 1987-1988 (entre 82 et 92 mm par mois en moyenne) qu'en 1983-1984 (entre 62 et 72 mm). Les travaux d'économie d'énergie réalisés entre les deux enquêtes, qui concernent près du quart des maisons individuelles et près du sixième des appartements, contribuent sans doute à expliquer cette baisse de la consommation d'énergie.

L'hiver doux de 1987-1988 peut expliquer le recul de l'utilisation des appareils de chauffage indépendants par rapport à la situation de 1984, plus marqué dans les maisons (- 41%) que dans les appartements (- 15%).

Le revenu des ménages logés dans des maisons est supérieur à celui des ménages en appartements (150 KF en 1984 contre 124 KF, en francs constants 1988), mais il s'est contracté en 1988 (- 8,3% en francs constants) plus que dans le cas des appartements (- 7,6%). La taille des ménages est, comme attendu, nettement plus grande dans les maisons que dans les appartements (3,2 unités de consommation contre 1,9) et elle s'est légèrement réduite dans les deux cas entre 1984 et 1988.

	appartements			
	moyenne	écart-type	mini	maxi
dépense énergétique en 1984 (francs 1988)	5004	2656	127	26599
évolution 1988 - 1984 dépense énergétique (francs)	-1168	3194	-23339	40123
pas d'achat de mazout en 1984	0,556	0,497	0	1
pas d'achat de mazout en 1988	0,574	0,495	0	1
chauffage indépendant d'appoint en 1984 et pas en 1988	0,154	0,361	0	1
cheminée d'appoint en 1984 et pas en 1988	0,021	0,143	0	1
travaux d'économie d'énergie entre 1984 et 1988	0,152	0,359	0	1
Personne de référence : 20 à 35 ans	0,241	0,428	0	1
Personne de référence : 61 à 65 ans	0,102	0,303	0	1
Personne de référence : plus de 65 ans	0,227	0,419	0	1
nombre d'unités de consommation du ménage en 1984	1,9	0,8	1,0	6,3
évolution du nombre d'unités de consommation du ménage	-0,1	0,5	-2,8	2,0
surface habitable en 1984	68,8	23,5	24,0	165,0
évolution 1988 - 1984 surface habitable	0,8	13,4	-49,0	57,0
revenu en 1984 (francs 1988)	123600	71706	6124	454775
évolution 1988 - 1984 revenu (francs)	-9359	43413	-228979	160408
température moyenne (décembre 1983 à mars 1984, novembre 1984) (degrés Celsius)	5,5	1,8	0,3	9,7
Evolution température enquête 1988-enquête 1984 (degrés Celsius)	3,8	0,7	2,1	5,3
Pluviométrie moyenne (décembre 1983 à mars 1984, novembre 1984) (millimètres)	62,0	23,7	25,8	177,8
Evolution pluviométrie enquête 1988-enquête 1984 (millimètres)	19,5	9,4	-8,9	54,0

Unité : francs

Tableau 2. Statistiques descriptives : appartements

Comme nous allons le voir en examinant les résultats, les pseudo-R² ajustés des régressions sont assez faibles : entre 0,17 et 0,25 selon les équations. Cela s'explique par de grands changements de l'évolution de certaines variables explicatives qui ne se répercutent pas dans l'évolution des dépenses énergétiques ou, inversement, par d'importantes variations de la dépense énergétique dont il n'est pas possible d'identifier la cause à partir des variables disponibles dans les enquêtes.

Les tableaux 3 et 4 indiquent l'évolution de certaines variables pour des logements dont la dépense en électricité (en volume, i.e. en contrôlant le prix du KWH) a été divisée par plus de

deux entre 1984 et 1988 (tableau 3) et pour ceux dont cette facture a été multipliée par plus de deux (tableau 4). Nous n'avons retenu dans ce tableau que les maisons individuelles à chauffage central électrique pour que la question de la date du plein de mazout ne se pose pas, soit 59 logements avec forte diminution et 86 avec forte augmentation.

La consommation électrique a diminué de 67% en volume dans le cas d'une forte baisse, alors que la surface habitable n'a pas changé (augmentation de 2%), pas plus que le nombre de pièces (augmentation de 2%). Deux variables ont fortement varié, ce qui contribue probablement à expliquer la chute de la consommation électrique. D'une part, le nombre de personnes du ménage et le nombre d'enfants ont diminué de 9 et 8% entre les deux dates. D'autre part, le revenu du ménage a diminué d'environ 20% entre 1984 et 1988 ; cette diminution est probablement liée à l'évolution du nombre d'actifs (-6%) et à une régression dans la hiérarchie des CSP (la part des personnes de référence classées comme cadre recule de 20%).

	moyenne	écart-type
dépense énergétique en 1984 (francs 1988)	9992	3484
évolution 1988 - 1984 dépense énergétique (francs)	-6687	2847
surface habitable en 1984	100,0	27,1
évolution 1988 - 1984 surface habitable	0,2	19,0
nombre de pièces principales en 1984	4,4	1,0
évolution 1988 - 1984 du nombre de pièces	0,1	0,7
nombre de personnes du ménage en 1984	3,4	1,2
évolution 1988 - 1984 du nombre de personnes	-0,3	1,1
Nombre d'enfants en 1984	1,3	1,1
évolution 1988 - 1984 du nombre d'enfants	-0,1	0,7
nombre d'unités de consommation du ménage en 1984	2,4	0,7
évolution du nombre d'unités de consommation	-0,2	0,7
revenu en 1984 (francs 1988)	122164	52784
évolution 1988 - 1984 revenu (francs)	-25076	64221
nombre d'actifs en 1984	1,6	0,7
évolution 1988 - 1984 du nombre d'actifs	-0,1	0,7
% de cadres en 1984	0,085	0,281
évolution 1988 - 1984 du % de cadres	-0,017	0,130
% de chômeurs en 1984	0,034	0,183
évolution 1988 - 1984 du % de chômeurs	-0,017	0,227

Tableau 3. Evolutions de la situation des maisons avec chauffage électrique dont la dépense d'énergie a été divisée par deux ou plus entre 1984 et 1988

Lorsque la consommation électrique a doublé, la surface habitable et le nombre de pièces ne se sont accrus que de 0,4%. Le nombre de personnes du ménage n'a pas varié et le nombre d'enfants a diminué de 8% entre 1984 et 1988. Le revenu est resté constant, le nombre d'actifs a augmenté de 7%, la proportion des cadres a diminué de 23%, celle de chômeurs a baissé de 66%. Au total, il n'y pas ici de variable susceptible d'expliquer ce doublement de la consommation électrique.

Ces évolutions considérables, à la hausse comme à la baisse, ne peuvent être expliquées par les variables dont nous disposons dans les enquêtes logement. Il est possible qu'elles

soient dues à l'histoire particulière des logements (dysfonctionnement des appareils de chauffage, etc.) ou des ménages (absence durant la période hivernale, surchauffage de chambres de malades, etc.). Mais il nous semble qu'une grande partie de ces évolutions inexpliquées sont dues à des oublis ou des erreurs de déclaration des enquêtés.

	moyenne	écart-type
dépense énergétique en 1984 (francs 1988)	3274	2124
évolution 1988 - 1984 dépense énergétique (francs)	6693	3252
surface habitable en 1984	104,5	26,6
évolution 1988 - 1984 surface habitable	0,4	22,3
nombre de pièces principales en 1984	4,7	1,0
évolution 1988 - 1984 du nombre de pièces	0,2	0,8
nombre de personnes du ménage en 1984	3,6	1,2
évolution 1988 - 1984 du nombre de personnes	0,0	0,8
Nombre d'enfants en 1984	1,5	1,2
évolution 1988 - 1984 du nombre d'enfants	-0,1	0,8
nombre d'unités de consommation du ménage en 1984	26,2	7,3
évolution du nombre d'unités de consommation	0,1	5,2
revenu en 1984 (francs 1988)	123068	49199
évolution 1988 - 1984 revenu (francs)	-272	48851
nombre d'actifs en 1984	1,5	0,8
évolution 1988 - 1984 du nombre d'actifs	0,1	0,7
% de cadres en 1984	0,151	0,360
évolution 1988 - 1984 du % de cadres	-0,035	0,240
% de chômeurs en 1984	0,035	0,185
évolution 1988 - 1984 du % de chômeurs	-0,023	0,216

Tableau 4. Evolutions de la situation des maisons avec chauffage électrique dont la dépense d'énergie a été multipliée par deux ou plus entre 1984 et 1988

Ces erreurs de déclaration peuvent être non négligeables, comme le montrent les résultats portant sur une variable que connaissent probablement assez bien les personnes enquêtées : la date de construction de la maison, dans le cas des maisons individuelles en propriété. C'est ce que montre le tableau 5. Les écarts sont très importants pour certaines périodes anciennes et, de plus, le nombre de non réponses n'est pas le même aux deux enquêtes. Même pour les immeubles récemment construits, les personnes enquêtées se trompent souvent, au moins d'une année (cf. par exemple 1978 et 1979, ou 1981 et 1982). Or, le total des factures d'électricité, de gaz, fioul, etc. est connu avec moins de précision que la date ou la période de construction de la maison, sauf à aller rechercher les factures. Il est probable qu'une grande partie des évolutions étonnantes constatées est due à des estimations approximatives, voire erronées.

date de construction de l'immeuble	enquête 1984	enquête 1988	différence 1988 - 1984	date de construction de l'immeuble	enquête 1984	enquête 1988	différence 1988 - 1984
Avant 1871	582	650	68	1975	282	277	-5
1871-1914	709	589	-120	1976	394	395	1
1915-1948	686	687	1	1977	379	370	-9
1949-1961	353	593	240	1978	411	444	33
1962-1967	375	385	10	1979	469	442	-27
1968-1974	889	906	17	1980	498	506	8
				1981	467	493	26
				1982	495	444	-51
				1983	376	357	-19

Unité : nombre d'observations

Tableau 5. Date déclarée de construction de l'immeuble en 1984 et 1988 (maisons en propriété)

Dans ce cas, l'imprécision de l'estimation pose problème si les erreurs de déclaration sont corrélées aux variables d'intérêt (ex. : les pauvres mémorisent bien le montant de ces dépenses alors que les riches s'en souviennent mal et les sous-estiment, etc.). Si tel n'est pas le cas, les erreurs de déclaration sont captées par l'erreur du modèle (ce qui contribue à expliquer le faible R^2) sans que les paramètres d'intérêt ne soient biaisés.

3.2 La dépense énergétique dans les maisons

Le tableau 6 indique les résultats pour différentes spécifications et plusieurs sous-échantillons : nous avons distingué les maisons à chauffage électrique individuel équivalent au chauffage central (pour simplifier, nous parlerons ce chauffage central électrique), celles à chauffage central au fioul et l'ensemble. Les résultats montreront que cette distinction était indispensable pour éviter un biais d'agrégation. Néanmoins, les résultats de l'ensemble des maisons sont également présentés. Le pseudo R^2 ajusté va de 0,20 à 0,25 dans ces estimations (il s'agit d'un pseudo R^2 , car les modèles sont estimés sans constante).

Avec un chauffage central électrique, lorsque la surface habitable des maisons augmente de 1 m², leur dépense énergétique augmente de 13 ou 14 francs 1988. Pour 16 m² supplémentaires (soit approximativement une pièce de plus), la dépense n'augmente donc que de 3%. Pour un écart-type de plus, soit 30 m², l'augmentation est de 5,3%. La dépense est donc peu sensible à la surface habitable pour ce segment. Qui plus est, lorsque le chauffage central est au fioul ou pour l'ensemble des maisons individuelles, l'évolution de la dépense énergétique entre 1984 et 1988 ne dépend pas de l'évolution de la surface habitable. Au total, retenons que la dépense énergétique des maisons est inélastique, ou presque inélastique, aux variations de la surface habitable.

La réalisation de travaux d'économie d'énergie diminue la facture énergétique de 750 francs environ pour les maisons à chauffage central électrique, soit plus de 10% de la dépense de 1984. Mais l'effet de tels travaux pour les maisons à chauffage central au fioul est non significatif et pour l'ensemble des maisons, si l'effet est significatif, il est faible : l'économie en 1988 n'est que de 2% de la facture énergétique.

	Chauffage électrique				Chauffage central fioul				Ensemble			
	paramètre	t	paramètre	t	paramètre	t	paramètre	t	paramètre	t	paramètre	t
LOGEMENT ET CHAUFFAGE												
Evolution de la surface habitable	13,2	2,9	13,6	3,0	-1,3	-0,6	-1,6	-0,7	0,1	0,1	0,0	0,0
Chauffage d'appoint par appareil indépendant en 1984 et pas en 1988	-371,5	-2,0	-593,3	-3,4	-322,8	-2,7	-536,8	-4,7	-599,0	-8,1	-672,2	-9,2
Chauffage d'appoint par cheminée en 1984 et pas en 1988	627,2	1,8	551,9	1,6	279,5	1,3	206,8	0,9	184,3	1,3	153,9	1,1
Réalisation de travaux d'économie d'énergie	-742,8	-3,1	-763,5	-3,2	-42,8	-0,3	-114,1	-0,9	-105,4	-1,3	-166,6	-2,0
Pas d'achat de mazout en 1988	/	/	/	/	1666,2	6,8	1559,9	6,4	485,2	4,1	451,4	3,8
Pas d'achat de mazout en 1988	/	/	/	/	-1498,3	-6,2	-1547,8	-6,4	-563,3	-4,8	-601,6	-5,1
TEMPERATURE (novembre à mars)												
linéaire	-413,8	-6,9	/	/	-348,1	-7,8	/	/	-262,2	-11	/	/
Premier intervalle inter-quartile	/	/	Réf.		/	/	Réf.		/	/	Réf.	
Deuxième intervalle inter-quartile	/	/	-414,2	-1,7	/	/	-1143,4	-7,3	/	/	-473,7	-5,1
Troisième intervalle inter-quartile	/	/	-540,0	-2,1	/	/	-988,4	-5,9	/	/	-438,4	-4,3
Quatrième intervalle inter-quartile, immeuble construit avant 1948	/	/	-3890,0	-4,5	/	/	-1054,3	-4,6	/	/	-320,7	-2,5
Quatrième intervalle inter-quartile, immeuble construit entre 1949 et 1974	/	/	-1746,1	-2,9	/	/	-900,5	-4,7	/	/	-714,3	-5,3
Quatrième intervalle inter-quartile, immeuble construit après 1974	/	/	-1334,5	-5,4	/	/	-690,6	-2,6	/	/	-824,7	-5,7
PLUVIOMETRIE (novembre à mars)												
linéaire	-5,6	-0,7	-34,8	-4,8	-9,6	-1,6	/	/	-11,8	-3,4	-24,3	-7,9
Premier intervalle inter-quartile	/	/	/	/	/	/	Réf.		/	/	/	/
Deuxième intervalle inter-quartile	/	/	/	/	/	/	-501,1	-3,3	/	/	/	/
Troisième intervalle inter-quartile	/	/	/	/	/	/	-563,5	-3,5	/	/	/	/
Quatrième intervalle inter-quartile	/	/	/	/	/	/	-408,6	-2,7	/	/	/	/
MENAGE												
Personne de référence < 50 (ou 60) ans	Réf.		Réf.		Réf.		Réf.		Réf.		Réf.	
Personne de référence de 51 à 60 ans	/	/	/	/	-381,2	-2,5	-538,6	-3,7	/	/	/	/
Personne de référence de 61 à 65 ans	/	/	/	/	396,8	1,9	192,0	0,9	384,6	3,2	222,2	1,8
Personne de référence de plus de 65 ans	1286,6	3,1	1055,0	2,6	-223,9	-1,3	-418,7	-2,5	214,4	2,4	33,1	0,4
Augmentation nombre de membres du ménage	200,0	1,5	249,0	1,9	573,9	7,1	618,8	7,7	344,7	7,1	342,2	7,0
Evolution du revenu :												
continu, terme linéaire	61,8	3,1	/	/	4,4	0,4	0,0	0,4	24,3	3,3	/	/
continu, terme quadratique	-1,0	-0,6	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Premier intervalle inter-quartile	/	/	-697,2	-3,2	/	/	/	/	/	/	-453,3	-5,1
2ème intervalle inter-quartile	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	-307,8	-3,6
Autres intervalles inter-quartile	/	/	Réf.		/	/	/	/	/	/	Réf.	
R ² ajusté	0,25		0,25		0,20		0,20		0,20		0,20	
Nombre observations	1552				1730				8170			

Les paramètres expriment des francs 1988

Tableau 6. Résultats : maisons

Lorsqu'un appareil indépendant est utilisé comme chauffage d'appoint en 1984 et qu'il ne l'est plus en 1988, la dépense énergétique diminue nettement : – 370 F à – 670 F selon les équations (soit – 5% à – 9%). En revanche, l'usage ou le non usage de cheminées d'appoint (qui, à cette époque, étaient surtout des cheminées à foyer ouvert) n'a pas d'incidence significative sur la dépense énergétique.

Pour le chauffage central au mazout, l'absence d'achat de mazout durant les 12 mois précédant le passage de l'enquêteur se traduit par une facture inférieure d'environ 1500 F.

Avant de nous intéresser aux effets du climat, examinons ceux de la composition du ménage. L'âge de la personne de référence en 1984 est introduit comme variable explicative, afin de voir l'effet du vieillissement de quatre années des différentes cohortes. Les plus jeunes ne se différencient pas significativement, et constituent la modalité de référence dans les estimations. Les autres classes d'âge semblent avoir des comportements assez variables, d'où aucune tendance nette ne se dégage. L'effet du nombre de personnes du ménage est, par contre, assez net : la dépense augmente de 200 à 250 francs par personne supplémentaire (soit environ 3%) dans les maisons à chauffage central électrique et de 600 F environ (soit + 8%) lorsque la maison est chauffée au fioul.

La sensibilité de l'évolution de la dépense énergétique à l'évolution du revenu est une variable d'intérêt importante de ces estimations en données de panel. Rappelons que, bien qu'il s'agisse du même ménage enquêté en 1984 et en 1988, les évolutions du revenu ont été importantes : il a diminué en moyenne de 8,3% en francs constants entre 1984 et 1988 (sans que nous ne connaissions la raison de cette baisse), avec un écart-type important (50000 F environ). Cette variable a été introduite dans le modèle sous forme continue (polynôme de degré deux, sauf si le terme linéaire est non significatif) et discrète (quartiles, en regroupant ceux qui ont des paramètres voisins).

Avec la spécification continue, le paramètre est non significatif pour les maisons à chauffage central au fioul. Le terme linéaire est significativement positif pour les maisons à chauffage central électrique et pour l'ensemble des maisons, tous types de chauffage confondus, le terme quadratique étant non significatif. De plus, l'effet d'une augmentation de 10000 F du revenu (+ 8%) sur la dépense énergétique n'est que de 62 F (+ 0,8%) dans le cas du chauffage central électrique et de 24 F (+ 0,3%) pour l'ensemble des modes de chauffage.

Pour les maisons à chauffage central électrique, en utilisant les quartiles d'évolution du revenu, on obtient un paramètre significativement négatif pour le premier intervalle inter-quartile par rapport aux trois autres, qui constituent la référence. La dépense énergétique est de 700 F inférieure (soit près de - 10%) pour le quart des ménages qui a subi l'évolution la plus défavorable du revenu (- 21% ou davantage). Pour l'ensemble des maisons, le premier intervalle inter-quartile (- 450 F) et le deuxième (- 310 F) se différencient significativement des deux autres.

La dépense énergétique des ménages est donc sensible au revenu. Mais cette sensibilité est très légère, au point de ne pas être significative dans certains cas (chauffage central au mazout). L'élasticité de 0,1 (+ 0,8% d'augmentation lorsque le revenu progresse de 8%) obtenu pour les maisons à chauffage central électrique est la valeur la plus élevée que nous ayons obtenue.

Les variables climatiques des régressions concernent la température et la pluviométrie. Dans les deux cas, différentes combinaisons de mois d'hiver ont été testées. Ce sont les cinq mois de novembre, décembre, janvier, février et mars qui ont été retenus (rappelons qu'il s'agit de mois à cheval sur l'année précédant les enquêtes et l'année de ces enquêtes elles-mêmes). Les variables correspondantes ont été introduites sous forme continue et discrète (quartiles l'évolution entre 1984 et 1988). De plus, certaines interactions ont été testées, entre l'évolution de la température et la date de construction de l'immeuble par exemple.

L'évolution de la température, sous forme linéaire, a un effet toujours significatif sur la dépense énergétique. Dans le cas des maisons à chauffage central électrique, lorsque l'évolution de la température entre 1984 et 1988 a été plus favorable de 1°C que l'évolution moyenne, la dépense énergétique a diminué de plus de 400 F (- 5,4%) par rapport à l'évolution moyenne de la dépense énergétique. Sachant que la température moyenne des cinq mois d'hiver retenus a été de 3,7°C supérieure en 1987/88 à celle de 1983/84, l'effet de cette

douceur hivernale est donc considérable. Le résultat est un peu inférieur pour les maisons à chauffage central au fioul : – 350 F par degré Celsius. Pour l'ensemble des maisons, qui inclut des modes de chauffage moins performants (appareil indépendant, cuisinière chauffante, etc.), on obtient un effet amoindri : – 260 F (– 3,5%) par degré (mais le t de Student est plus élevé).

Par rapport au premier intervalle inter-quartile d'évolution de la température, qui distingue les logements qui ont très peu bénéficié de l'amélioration des conditions thermiques, le deuxième intervalle inter-quartile a économisé 400 F et le troisième 540 F (maisons à chauffage central électrique) ou autour de 1000 F (chauffage central au fioul). Dans le cas du quatrième intervalle inter-quartile, ce sont les maisons les plus anciennes qui ont le plus réduit leur facture énergétique : pour le chauffage central électrique, l'économie est de près de 4000 F dans les maisons construites avant 1948 (qui sont peu nombreuses), de 1750 F dans celles construites entre 1949 et 1974 et de 1330 F dans les plus récentes. La hiérarchie est la même dans le cas du chauffage central au fioul : respectivement – 1050 F, – 900 F, – 690 F.

Le résultat pour l'ensemble des maisons inverse cette hiérarchie, à cause d'un effet d'agrégation de données hétérogènes. En effet, le chauffage central électrique est plus répandu parmi les immeubles les plus récents, ce qui conduit à donner plus de poids aux économies de ce mode de chauffage (– 1330 F) qu'à celles du chauffage central au fioul (– 690 F), d'où une économie de – 820 F pour l'ensemble. Au contraire, le poids du chauffage central au fioul parmi les immeubles les plus anciens fait baisser la valeur du paramètre estimé pour ces immeubles (d'où le résultat de – 320 F). Ceci montre qu'il était indispensable d'estimer des équations différentes en fonction du mode de chauffage (de même qu'il fallait distinguer les maisons individuelles des appartements). On sait, en effet, que les résultats d'estimations économétriques agrégeant des objets hétérogènes conduisent souvent à des résultats difficiles à interpréter. Dans le cas présent, en mettant ensemble des maisons à chauffage central électrique et au fioul, on inverse l'effet des économies d'énergie permises par un hiver doux, selon la date de construction du bâtiment. Dans le cas où le chauffage central est électrique comme dans celui où il est au fioul, ce sont les maisons les plus anciennes qui bénéficient au mieux de cette douceur et qui donc, inversement, pâtissent le plus d'hivers rigoureux (alors que le résultat agrégé semble montrer le contraire).

L'effet de la pluviométrie sur la dépense énergétique est beaucoup moins important que celui de la température. La liaison est, dans l'ensemble, plutôt négative ; mais elle n'est pas toujours significative. Le lien entre pluviométrie et température explique que le paramètre de la pluviométrie soit sensible à la façon dont la température est introduite dans l'équation.

3.3 La dépense énergétique dans les appartements

Les résultats concernant les appartements sont présentés dans le tableau 7. Les pseudos R^2 ajustés sont un peu plus faibles que pour les maisons (de 0,18 à 0,25). Il n'a pas été possible d'isoler le segment des appartements à chauffage central électrique, qui compte trop peu d'observations dans notre panel (124). Seuls les appartements à chauffage central au fioul ont été distingués de l'ensemble.

L'évolution de la dépense énergétique des appartements n'est pas sensible à l'évolution de leur surface habitable, bien que cette dernière ait connu des évolutions assez amples (écart type de 13 m²). Ceci renforce la conclusion déjà esquissée dans le cas des maisons individuelles : la dépense énergétique est très peu sensible à la taille des logements ou, pour le dire autrement, elle est inélastique à la surface habitable des logements.

	Chauffage central fioul				Ensemble			
	paramètre	t	paramètre	t	paramètre	t	paramètre	t
LOGEMENT ET CHAUFFAGE								
Evolution de la surface habitable	10,3	1,3	10,1	1,3	6,4	1,1	6,3	1,1
Chauffage d'appoint par appareil indépendant en 1984 et pas en 1988	-318,6	-1,2	-311,9	-1,2	-343,0	-1,5	-353,0	-1,5
Chauffage d'appoint par cheminée en 1984 et pas en 1988	-2307,7	-3,0	-2204,6	-2,9	-873,0	-1,5	-932,4	-1,6
Réalisation de travaux d'économie d'énergie	-387,1	-1,5	-427,1	-1,6	-304,2	-1,4	-335,2	-1,5
Pas d'achat de mazout en 1988	281,1	0,3	151,1	0,2	65,1	0,2	-144,6	-0,4
Pas d'achat de mazout en 1988	-157,8	-0,2	-497,0	-0,6	33,1	0,1	-40,7	-0,2
TEMPERATURE (novembre à mars)								
linéaire	-147,6	-1,6	/	/	-99,9	-1,8	/	/
Premier intervalle inter-quartile	/	/	Réf.		/	/	/	/
Deuxième intervalle inter-quartile	/	/	-149,9	-0,5	/	/	-150,2	-0,7
Troisième intervalle inter-quartile	/	/	-575,8	-1,5	/	/	-368,1	-1,3
Quatrième intervalle inter-quartile, immeuble construit avant 1948	/	/	-1005,7	-2,8	/	/	-670,0	-2,5
Quatrième intervalle inter-quartile, immeuble construit entre 1949 et 1974	/	/	-382,7	-1,1	/	/	-675,9	-2,2
Quatrième intervalle inter-quartile, immeuble construit après 1974	/	/	-694,5	-1,3	/	/	-304,3	-0,6
température* rez-de-chaussée	/	/	-247,8	-3,3	/	/	-123,2	-2,4
température* chauffage central mazout	/	/	/	/	-180,2	-2,1	-137,9	-1,5
température* chauffage électrique	/	/	/	/	-187,3	-2,0	-193,9	-2,1
PLUVIOMETRIE (novembre à mars)								
linéaire	-30,3	-2,7	/	/	-8,1	-1,0	/	/
Premier intervalle inter-quartile	/	/	Réf.		/	/	Réf.	
Deuxième intervalle inter-quartile	/	/	-197,7	-0,7	/	/	134,3	0,6
Troisième intervalle inter-quartile	/	/	-198,5	-0,5	/	/	-22,3	-0,1
Quatrième intervalle inter-quartile	/	/	-1059,9	-3,4	/	/	-383,9	-1,7
MENAGE								
Personne de référence 20 à 35 ans	591,6	2,1	537,2	1,9	444,8	2,0	369,4	1,7
Personne de référence de 36 à 60 ans	Réf.		Réf.		Réf.		Réf.	
Personne de référence de 61 à 65 ans	-847,7	-2,2	-890,6	-2,3	-488,0	-1,8	-590,5	-2,2
Personne de référence de plus de 65 ans	-94,9	-0,3	-81,8	-0,3	84,8	0,4	-22,8	-0,1
Augmentation nombre d'unités de consommation	55,2	2,3	59,6	2,5	55,9	2,9	62,1	3,2
Chômeur en 1988 et pas en 1984	-1065,6	-2,0	-1023,3	-1,9	/	/	/	/
Evolution du revenu :								
continu, terme linéaire	24,4	1,1	0,0	1,2	40,1	1,9	/	/
continu, terme quadratique	/	/	/	/	-2,6	-1,3	/	/
Premier intervalle inter-quartile	/	/	/	/	/	/	-477,4	-2,4
2ème à 4ème intervalles inter-quartile	/	/	/	/	/	/	Réf.	
R² ajusté	0,23		0,25		0,17		0,18	

Les paramètres expriment des francs 1988

Tableau 7. Résultats : appartements

L'effet de la réalisation d'économies d'énergie entre 1984 et 1988 présenté le signe négatif attendu, mais il n'atteint pas le seuil de significativité de 10%. On n'obtient pas non plus, contrairement au cas des maisons, d'effet significatif de l'abandon en 1988 d'un chauffage d'appoint par un appareil indépendant, qui était utilisé en 1984. Dans le cas d'un chauffage central au fioul, le signe significativement négatif du non usage en 1988 d'une cheminée qui était utilisée en 1984 comme appoint est contre-intuitif, mais ce résultat ne repose que sur 2% de ces appartements (soit environ 15 observations).

En ce qui concerne l'évolution des caractéristiques des ménages, notons tout d'abord que, par rapport aux 36 à 60 ans (qui ne se différencient pas significativement et qui sont la modalité de référence de la régression), les personnes de référence les plus jeunes (entre 20 et 35 ans en 1984) accroissent leur consommation d'environ 400 à 600 F (+ 8% à + 12%) lorsqu'elles ont quatre ans de plus, alors que le revenu et la taille du ménage sont contrôlés. Ce résultat semble donc indiquer que, toutes choses égales d'ailleurs, les plus jeunes dépensent un peu moins en énergie que les ménages un peu plus âgés. Nous n'observons pas ce résultat dans le cas des maisons car celles-ci sont rarement occupées par des personnes de référence de 35 ans ou moins. L'effet de l'âge est inverse pour la cohorte des 61 à 65 ans en 1984 : la dépense diminue de 600 à 900 F (– 12 à – 18 %), pour un revenu et une taille du ménage donnés. Les plus de 65 ans, quant à eux, ont un comportement de consommation d'énergie, semblable au groupe de référence.

Au total, l'effet de l'âge de la personne de référence sur la dépense énergétique est ambigu. Si les plus jeunes accroissent leur consommation lorsqu'ils avancent en âge (appartements), les seniors semblent tantôt réduire cette consommation (appartements, 61 à 65 ans), tantôt l'augmenter (maisons, même tranche d'âge), les plus de 65 ans étant parfois comparables à la modalité de référence (appartements) et parfois s'en écarter vers le haut (maisons à chauffage central électrique) ou vers le bas (maisons à chauffage central au fioul, pour une spécification).

On relève ensuite que l'augmentation de la taille du ménage se traduit par une augmentation de la dépense énergétique. C'est le nombre d'unités de consommation (UC) qui est ici utilisé comme variable, car le résultat est plus significatif qu'avec le nombre de personnes. Lorsqu'une UC supplémentaire apparaît dans le ménage entre 1984 et 1988, la dépense énergétique augmente de 55 à 60 F, soit un peu plus de 1%. Même si la différence d'unité de compte ne permet pas une exacte comparaison avec les résultats des maisons, il apparaît que les dépenses énergétiques des appartements sont moins sensibles à l'évolution de la taille des ménages que celles des maisons (rappelons qu'on obtenait + 8% pour une personne de plus dans le cas du chauffage central au fioul).

L'effet de l'évolution du revenu sur la consommation d'énergie est plus faible que dans le cas des maisons : le paramètre est significatif au seuil de 6% pour l'ensemble des appartements, mais il ne l'est pas pour ceux à chauffage central au fioul ; on obtient une décote significative de – 480 F pour les ménages du premier intervalle inter-quartile d'évolution du revenu entre 1984 et 1988 (ensemble des appartements).

Ces résultats confirment, et même renforcent, ceux obtenus pour les maisons : l'élasticité de la dépense énergétique au revenu est très proche de zéro, au point de ne pas en être significativement différente dans beaucoup de cas.

Les effets de l'évolution de la température entre 1984 et 1988 ont le signe attendu, mais ils sont non significatifs dans beaucoup de cas, ou bien à la limite de la significativité dans quelques autres. C'est ainsi qu'une augmentation de 1°C, introduite sous forme linéaire, conduit à une économie de dépense énergétique de 150 F (soit 3% de la dépense) dans le cas

du chauffage central au fioul (non significatif au seuil de 10%) et de 100 F pour l'ensemble des appartements (significatif au seuil de 8%).

Avec des écritures plus détaillées (quartiles, interactions), on obtient trois résultats qui précisent le précédent. Premièrement, les quartiles de l'évolution de la température entre 1984 et 1988 conduisent à la même hiérarchie que dans le cas des maisons : l'économie d'énergie est d'autant plus importante que l'évolution de la température a été plus favorable (mais les paramètres des 2^{ème} et 3^{ème} intervalles inter-quartile ne sont pas significativement différents de zéro) et, pour le dernier intervalle inter-quartile, elle est d'autant plus importante que l'immeuble est ancien. Ces effets, quoiqu'ils soient atténués par rapport à ceux des maisons vont dans le même sens. Deuxièmement, une localisation au rez-de-chaussée d'un immeuble collectif entraîne une moindre économie lorsque la température augmente, ce qui est logique puisque ces logements ne sont pas chauffés par le bas. Troisièmement, les chauffages centraux au fioul ou électrique conduisent à une économie d'énergie par rapport à la référence (qui est constituée principalement de chauffage par des appareils indépendants, des cuisinières chauffantes ou des cheminées) et cette économie est à peu près la même pour ces deux modes de chauffage (- 180 F, soit - 3,6%). Ce résultat confirme celui des maisons : les appareils de chauffage autres que les deux types de chauffage central permettent des économies d'énergie moindres lorsque la température hivernale s'élève.

L'évolution de la pluviométrie entre les deux dates présente un signe négatif, qui est significatif dans le cas des appartements chauffés au fioul (spécification linéaire et quartiles) et dans celui de l'ensemble des appartements pour le quatrième intervalle interquartile (seuil de 10%). Ces résultats sont semblables à ceux des maisons : il y a un lien négatif entre évolution de la pluviométrie et évolution de la dépense énergétique, mais cette relation est faible, comparée à l'effet de la température.

4. Conclusions

Les estimations qui viennent d'être présentées sur les déterminants à court terme de la dépense énergétique des ménages présentent le grand avantage d'avoir été réalisées sur des panels de ménages identiques occupant le même logement, interrogés à deux dates, 1984 et 1988. Malgré l'ancienneté de ces deux enquêtes logement, ces estimations en données de panel permettent un bon contrôle de la condition « toutes choses égales par ailleurs », condition difficile à satisfaire dans des estimations en coupe transversale. Pour cela, nous ne nous sommes intéressés qu'aux estimateurs *within*, ou intra-individuels, en renvoyant à d'autres parties de ce rapport l'étude de la variabilité entre individus (qui sont ici des ménages).

C'est ainsi que nous avons relié l'évolution entre 1983/84 et 1987/88 de la consommation énergétique totale (exprimée en francs constants 1988) à l'évolution de variables susceptibles de l'expliquer, caractérisant le logement (surface, mode de chauffage), le ménage (taille, revenu) et le climat (température, pluviométrie). Ces estimations ne permettent pas l'étude de variables qui ont connu la même évolution (exemple : les élasticités prix de chacune des sources d'énergie) ni les comportements de long terme (modification de paramètres qui restent fixes ici : changement du mode de chauffage, gros travaux, etc.).

Les résultats montrent, tout d'abord, que la dépense énergétique est très peu sensible à la taille des logements ou, dit autrement, qu'elle est inélastique à la surface habitable. Elle dépend un peu de la réalisation d'économies d'énergie entre 1984 et 1988, mais très faiblement : souvent les paramètres obtenus ne sont pas significativement différents de zéro. L'abandon en 1988 d'appareils indépendants permettant un chauffage d'appoint auquel on

avait recours en 1984 permet des économies non négligeables dans le cas des maisons, mais pas dans celui des appartements.

En ce qui concerne les caractéristiques des ménages, l'effet de l'âge de la personne de référence sur la dépense énergétique est ambigu. Si les plus jeunes accroissent leur consommation lorsqu'ils avancent en âge (appartements), les seniors semblent tantôt réduire cette consommation (appartements, 61 à 65 ans), tantôt l'augmenter (maisons, même tranche d'âge). En revanche, l'augmentation de la taille du ménage (nombre de personnes ou d'unités de consommation) produit des effets plus nets : elle se traduit par une augmentation de la dépense énergétique. Le revenu total des ménages est une variable d'intérêt dans l'explication de la consommation énergétique. Les résultats montrent que l'élasticité de la dépense énergétique au revenu est très proche de zéro, au point de ne pas en être significativement différente dans beaucoup de cas. On obtient, comme valeur maximale, un accroissement de 1% de la dépense énergétique lorsque le revenu augmente de 10% (maisons à chauffage central électrique).

Les effets des deux variables climatiques, température et pluviométrie, ont pu être analysés finement grâce à l'interpolation des données de Météo France que nous avons réalisée. Nous avons profité de variations importantes entre les deux périodes hivernales correspondant aux dates des enquêtes de 1984 et 1988, puisque la température des cinq mois retenus (de novembre à mars) a augmenté de 3,7 °C entre 1983/84 et 1987/88.

La température a des effets importants sur la dépense énergétique des maisons à chauffage central électrique : lorsque son évolution est plus favorable de 1°C que l'évolution moyenne, la dépense énergétique a diminué de plus de 400 F (– 5,4%) par rapport à l'évolution moyenne de la dépense énergétique. Le résultat est un peu inférieur pour les maisons à chauffage central au fioul : – 350 F par degré Celsius. En revanche, pour les appartements les résultats sont à la limite de la significativité (tout en présentant le bon signe) : ils bénéficient beaucoup moins que les maisons d'hiver doux.

Des estimations de paramètres de variables discrètes (par quartiles) montrent que, par rapport au premier intervalle inter-quartile d'évolution de la température, qui est celui des logements qui ont le moins bénéficié de l'amélioration de 1987/88 par rapport à 1983/84, les deuxième et troisième intervalles inter-quartile ont réalisé des économies supérieures, plus importantes pour les maisons que pour les appartements. Dans le cas du quatrième intervalle inter-quartile, où le gain en 1987/88 a été le plus important, ce sont les maisons les plus anciennes qui ont le plus réduit leur facture énergétique. Pour les logements individuels et collectifs, ce sont les immeubles les plus anciens qui bénéficient au mieux de la douceur de l'hiver et qui donc, inversement, pâtissent à l'excès le plus d'hivers rigoureux.

D'autres effets de la température ont pu être dégagés, comme la difficulté de chauffer les appartements au rez-de-chaussée ou la dépense accrue lorsque la baisse des températures en hiver va avec des modes de chauffages peu performants (principalement : chauffage par des appareils indépendants, des cuisinières chauffantes ou des cheminées) par rapport au chauffage central au fioul ou électrique.

La pluviométrie a des effets plus limités sur la dépense en énergie que la température dans un sens qui, lorsqu'il est significatif, est négatif : la consommation diminue légèrement quand la pluviométrie augmente.

Au total, la température en hiver est une des variables *within* (intra-individuel) la plus importante pour expliquer l'évolution de la dépense énergétique entre 1984 et 1988.

Références du chapitre 1

- Cheshire P., S. Sheppard (1998), Estimating the demand for housing, land, and neighbourhood characteristics, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 60 (3): 357-382.
- Joly D, Brossard T., Cavailhès J., Hilal M., Tourneux F.P., Tritz C., Wavresky P., (2009) A Quantitative Approach to the Visual Evaluation of Landscape, *Annals of the Association of American Geographers*, 99 (2): 292-308.
- Sevestre P. (2002), *Econométrie des données de panel* - Paris, Dunod.
- Taylor, Theoretical foundations and empirical developments in hedonic modeling, in : Baranzini A., Ramirez J., Schaerer C., Thalmann P. (eds) « *Hedonic methods in housing markets* », Springer, pp. 15-38.

Chapitre 2

La vulnérabilité au froid

« Sur le territoire national, au moins 2 millions de ménages habitent des logements peu ou mal chauffés et près de 10% de la population française sont concernés par une situation de précarité énergétique. Depuis quelques années, ce chiffre est en progression constante » (V. Létard, 2009). Par cette lettre de mission du 11 septembre 2009, la secrétaire d'Etat auprès de J.L. Borloo, MEEDDEM, demande à P. Pelletier de lui faire des propositions visant à réduire la précarité énergétique. Cette mission fait suite au Plan Bâtiment du Grenelle de l'environnement. Elle atteste de l'intérêt des pouvoirs publics pour cette question.

A la suite de cette demande, un groupe de travail a été mis en place le 1^{er} octobre 2009 et il a rendu un rapport le 15 décembre de la même année. La question a donc été analysée dans l'urgence. Dans ces conditions, un réexamen n'est pas inutile. Pour cela, les enquêtes Logement de l'Insee sont une base de données irremplaçable pour analyser le problème sous divers angles : elles permettent de connaître précisément la dépense énergétique pour savoir si elle apparaît excessive au regard du revenu des ménages (l'enquête de 2006 a été exploitée en ce sens par le groupe de travail Pelletier) ; elles permettent aussi de connaître le sentiment des ménages : ont-ils froid durant l'hiver ? Et, si oui, quelles en sont les causes ?

C'est cette dernière approche que nous privilégions dans ce chapitre, en parlant de *vulnérabilité énergétique* ou de *vulnérabilité au froid* des personnes. Pour cela, nous situons cette notion par rapport à celle de *précarité énergétique* des ménages, puis nous analysons des données de statistique descriptive pour savoir qui a eu froid, dans quel logement et où (sous quel climat, etc.) ; enfin nous présentons les résultats d'un modèle économétrique de régression logistique analysant les déterminants de la réponse à l'enquête : « Oui, j'ai eu froid dans mon logement ».

1. Précarité énergétique et vulnérabilité au froid

Si la précarité énergétique est l'objet d'une attention croissante des pouvoirs publics, pour autant, comme le reconnaît le rapport Pelletier (2009), « la précarité énergétique n'a pas encore de définition précise en France ». Le rapport considère que « la précarité résulte de la combinaison de trois facteurs principaux : des ménages vulnérables de par la faiblesse de leur revenus, la mauvaise qualité thermique des logements occupés, le coût de l'énergie » (Pelletier, 2009, p. 5). Il est expliqué plus loin que « les conséquences sont l'augmentation des risques d'humidité, la production et la conservation des polluants dans le logement, les risques d'intoxication liés aux bricolages ou au mauvais entretien des installations, l'utilisation permanente de chauffage d'appoint (...). Pour le logement, l'humidité favorise le développement de moisissures et dégrade les supports, les huisseries » (idem, p. 6). Afin de permettre une quantification, « à l'instar de l'approche britannique, le seuil de 10% des revenus nécessaires à la satisfaction de ces besoins (ou Taux d'effort énergétique) a été retenu comme base opératoire de quantification » (idem, p. 7).

Le rapport Pelletier retient donc des éléments objectifs, ou objectivables, pour rendre opérationnelle et quantifiable la notion de précarité énergétique : taux d'effort énergétique (défini par le seuil de 10% du revenu), humidité et moisissures, défaillances ou insuffisance du chauffage, etc. Cette approche « objective » est nécessaire pour répondre à la demande de la secrétaire d'Etat et proposer des mesures d'aide aux ménages énergétiquement précaires : une politique publique doit se baser sur des critères objectifs. C'est ainsi que Pelletier (2009) fait « 9 propositions pour un plan de lutte contre la précarité énergétique » (cf. Pelletier, 2009, p. 15), dont il chiffre le coût à 4 milliards d'euros (idem, p. 29).

Nous ne sommes pas ici dans cette logique opérationnelle. Car la méthode objective, pour nécessaire qu'elle soit, n'est pas sans inconvénient. Les éléments objectifs comme les moisissures, le taux d'utilisation d'appareil de chauffage d'appoint, etc. sont difficiles à observer. Si bien qu'il reste principalement le taux d'effort énergétique comme mesure objective de la précarité en ce domaine : il est calculable à partir de factures et de la connaissance du revenu. Pourtant, malgré son intérêt indiscutable, ce taux n'est pas à l'abri de critiques. D'une part, nous avons vu, par l'analyse de la dépense énergétique en données de panel à partir des enquêtes Logement de 1984 et 1988 (chapitre 1), que les ménages qui se chauffent au fioul ne remplissent pas nécessairement leur cuve chaque année. Il peut en résulter de brusques sauts inter-annuels du taux d'effort énergétique, selon qu'il y a eu ou non remplissage au cours de l'année précédente. D'autre part, comme tout critère basé sur un seuil, la détermination de celui-ci est discutable ; de plus, il peut entraîner des effets pervers s'il est pris pour base pour attribuer des aides publiques. Pourquoi 10% ? Le fait que ce soit le seuil retenu par les britanniques est-il suffisant pour que ce chiffre soit pertinent en France ?

D'un autre côté, les économistes insistent de plus en plus sur l'importance d'aspects subjectifs pour analyser les phénomènes sociaux, alors que de tels indicateurs étaient jusqu'à récemment surtout utilisés par les sociologues ou les psychologues. Le rapport Stiglitz et al. (2009) prend acte de ces évolutions. Il recommande (recommandation n° 10) que « les mesures du bien-être, tant objectif que subjectif, fournissent des informations essentielles sur la qualité de la vie. Les instituts de statistiques devraient intégrer à leurs enquêtes des questions visant à connaître l'évaluation que chacun fait de sa vie, de ses expériences et priorités » (p. 18). Le paragraphe 34 poursuit : « le bien-être subjectif comprend différents aspects (évaluation cognitive de la vie, bonheur, satisfaction, émotions positives comme la joie ou la fierté, émotions négatives comme la souffrance et l'inquiétude) : chacun de ces aspects devrait faire l'objet d'une mesure distincte afin de dégager une appréciation globale de la vie des personnes. Les indicateurs quantitatifs de ces aspects subjectifs offrent la possibilité d'apporter non seulement une bonne mesure de la qualité de la vie en elle-même mais également une meilleure compréhension de ses déterminants, en allant au-delà des revenus et des conditions matérielles des personnes » (idem, p. 18, souligné par nous).

L'Insee n'a pas attendu la publication de ce rapport pour s'intéresser aux aspects subjectifs du bien-être. Pour le domaine qui nous intéresse ici, les enquêtes Logement de cet institut posent depuis 1996 la question : « froid dans le logement pendant au moins 24h au cours des 12 derniers mois ? » (Réponse par « oui », « non » ou sans objet quand aucune personne du ménage n'a emménagé depuis 12 mois). Cette question permet une « appréciation », non pas sous la forme d'un taux d'effort énergétique qui fournit une mesure objective (les « revenus et conditions matérielles des personnes » de Stiglitz et al.), mais sous la forme d'un ressenti, qui participe du bien-être subjectif. Afin de ne pas confondre ces deux dimensions, objective et subjective, nous réservons ici le terme *précarité énergétique* à la première, comme le fait le rapport Pelletier (2009), et nous parlons de *vulnérabilité énergétique* pour désigner la seconde. La vulnérabilité s'applique à « qui peut être facilement atteint, se défend mal » (Petit Robert).

C'est cette vulnérabilité énergétique que nous analysons ici. Au-delà de la « bonne mesure de la qualité de la vie en elle-même » (Stiglitz et al., 2009) que permet la réponse à la question « froid dans le logement pendant au moins 24h au cours des 12 derniers mois ? », nous tentons également d'avoir « une meilleure compréhension de ses déterminants » par la mise en œuvre d'un modèle économétrique logistique, suivant ainsi les recommandations du rapport Stiglitz et al. (2009). En allant au-delà des déterminants matériels et liés au revenu, cette approche est complémentaire de l'approche objective. Nous amorçons également une comparaison des deux dimensions, précarité et vulnérabilité énergétique.

Notons que les enquêtes Logement de l'Insee s'intéressent également à l'origine du froid : insuffisance ou panne de l'installation de chauffage (1996), raisons financières, mauvaise isolation ou autres (intempéries, etc.) (Questions posées en 2002 et 2006). Nous n'avons pas exploité ici ces questions car il n'est probablement pas simple de renseigner leurs différentes modalités : une installation insuffisante est parfois liée à un revenu faible, de même que le coût du chauffage, qui peut d'ailleurs être le résultat d'une installation insuffisante, etc.

2. Le froid ressenti : qui ? Où ? Pourquoi ?

Nous retenons ici les enquêtes Logement de 1996, 2002 et 2006 où la question du froid ressenti est posée, pour les logements ordinaires utilisés comme résidences principales et situés en France continentale (i.e. Corse et DOM exclus). En regroupant ces trois enquêtes, on obtient 97 724 observations. Parmi celles-ci, 11,7% ne sont pas concernées par la question sur le froid ressenti au cours des 12 derniers mois car aucun membre du ménage n'était présent dans ce logement depuis au moins 12 mois. Parmi les 86 280 enquêtes restantes, 11 776 ont eu froid durant l'hiver précédant la date de l'enquête, soit 13,6%. Ce taux est à peu de choses près identique à celui calculé pour les « 3 400 000 ménages (13% des ménages) [qui] sont aujourd'hui en précarité énergétique avec un taux d'effort énergétique supérieur à 10% » (Pelletier, 2009). Cela ne signifie pas, pour autant, qu'il s'agisse de deux populations identiques, comme nous le verrons.

Pour présenter des éléments descriptifs sur la vulnérabilité au froid, nous allons tout d'abord examiner les aspects relevant des ménages (âge, revenu, composition, etc.), puis du statut d'occupation, ensuite ceux qui se rapportent au logement (date de construction du bâtiment, qualité du logement, etc.) et enfin l'effet de la localisation dans l'espace de ce ménage (en particulier : rôle du climat).

Dans la mesure où ces éléments descriptifs de la sensation de froid ont, à notre connaissance, été peu exploités jusqu'ici, nous leur donnons une certaine importance dans ce chapitre : l'analyse synthétique réalisée dans la section suivante, grâce à un modèle économétrique, n'épuise pas, en effet, la connaissance de la question.

2.1 Quels sont les ménages qui ont eu froid ?

2.1.1 *Le rôle du revenu et de la dépense énergétique*

Le tableau 8 indique la répartition en pourcentage des ménages ayant eu ou non froid selon leur revenu. Les ménages qui ont eu froid au cours de l'hiver précédant l'enquête Logement sont surreprésentés chez les bas revenus. C'est ainsi que, par rapport aux 10% des ménages qui appartiennent au premier intervalle inter-décile (revenu inférieur à 9375 € = D1), 16% des

ménages ayant eu froid appartiennent à ce groupe, alors que ne s'y trouve que 8% de ceux n'ayant pas eu froid, soit une proportion deux fois plus faible. Inversement, peu nombreux (6,1%) sont les ménages ayant souffert du froid qui se trouvent dans la tranche supérieure des revenus (supérieurs à 55 670 € = D9), alors que 11,1% des ménages n'ayant pas eu froid appartiennent à cet intervalle. La proportion se renverse aux environs de la médiane (soit Q2).

ménages ayant eu froid (%) :	0 à 1er décile	1er décile à 1er quartile	1er quartile à médiane	médiane à 3ème quartile	3ème quartile à 9ème	supérieur à 9ème décile	total
non	8,0	14,0	24,5	26,0	16,4	11,1	100,0
oui	16,0	20,1	28,0	20,9	9,6	6,1	100,0
sans objet	17,6	16,5	25,1	25,8	11,5	6,9	100,0
part des ménages	10,0	15,0	25,0	25,0	15,0	10,0	100,0

Tableau 8. Froid ressenti selon le revenu du ménage

Le sentiment de froid est donc lié au revenu. Mais ce lien n'est pas strict : parmi les ménages dont le revenu excède D9, il s'en trouve 7,3% qui ont eu froid (hors les « sans objet »). C'est moins que les 12,1% qui marquent l'ensemble (idem), mais ce n'est pas négligeable.

Le froid ressenti selon le taux d'effort énergétique des ménages permet de comparer la dimension objective et subjective de la question. Le tableau 9 renseigne les résultats.

ménages ayant eu froid (%) :	0 à 1er décile	1er décile à 1er quartile	1er quartile à médiane	médiane à 3ème quartile	3ème quartile à 9ème décile	supérieur à 9ème décile	total ligne
non	9,2	14,1	25,7	26,1	15,4	9,5	100,0
oui	8,3	15,5	21,6	23,6	16,9	14,2	100,0
sans objet	25,8	18,7	21,3	17,1	9,4	7,8	100,0
part des ménages	10,0	15,0	25,0	25,0	15,0	10,0	100,0

Tableau 9. Froid ressenti selon le taux d'effort énergétique

La valeur médiane du taux d'effort énergétique est de 3,9%. Cette part descend à 1,2% pour le premier décile des ménages classés selon ce taux d'effort et elle monte à 10,9% pour le dernier décile. Rappelons que la précarité énergétique est définie par le rapport Pelletier (2009) par un taux d'effort énergétique égal ou supérieur à 10%, soit un ensemble qui va un peu au-delà de ce dernier intervalle inter-décile. Les ménages qui ont eu froid sont surreprésentés à partir du 4^{ème} quartile du taux d'effort énergétique et, surtout, au-delà du 9^{ème} décile où se trouvent 14,2% de ceux qui ont eu froid. Les ménages qui ont eu froid et ceux qui n'ont pas éprouvé cette sensation sont en proportion assez voisine dans tous les groupes en deçà de D9. Ce sont surtout les ménages pour qui cette question est sans objet (parce qu'ils ont emménagé depuis moins d'un an) qui sont surreprésentés en dessous du 1^{er} quartile et, surtout, du 1^{er} décile.

Il y a donc un lien entre la vulnérabilité énergétique et la précarité énergétique. Cependant, ce lien n'est pas très fort : plus de 80% des ménages ayant ressenti le froid au cours des 12 mois précédant les enquêtes Logement, qui sont les ménages vulnérables au froid, ne sont pas énergétiquement précaires. Inversement, 40% des ménages en précarité énergétique ne sont pas vulnérables au froid, au sens où ils n'ont pas éprouvé la sensation de froid. Le rapport Pelletier reconnaît cette faiblesse du lien entre les deux approches : « la privation doit en

particulier être mieux connue et suivie : la même enquête de l’Insee [il s’agit de l’enquête Logement de 2006] identifie de l’ordre de 300 000 ménages dont le taux d’effort énergétique est inférieur à 10% (...) mais qui déclarent néanmoins avoir souffert du froid pour des raisons financières » (Pelletier, 2009, p. 9).

2.1.2 Le rôle de la composition du ménage

Le tableau 10 indique, tout d’abord, comment les personnes qui ont eu froid se répartissent en fonction de l’âge de la personne de référence du ménage. Les tranches ont été définies de manière à avoir les mêmes proportions que dans les tableaux 1 et 2 : inférieur à D1, D1 à Q1, Q1 à Q2, Q2 à Q3, Q3 à D9 et supérieur à D9 (les lettres D indiquent les déciles et Q les quartiles).

ménages ayant eu froid (%) :	Moins de 29 ans	29 à 36 ans	36 à 48 ans	48 à 63 ans	63 à 75 ans	75 ans et plus	total ligne
non	5,6	11,7	25,4	27,3	17,6	12,5	100,0
oui	10,3	18,4	30,0	23,2	10,7	7,4	100,0
sans objet	37,8	22,2	21,2	12,2	4,2	2,4	100,0
part des ménages	10,0	15,0	25,0	25,0	15,0	10,0	100,0

Tableau 10. Froid ressenti selon l’âge de la personne de référence du ménage

Ce sont surtout les jeunes qui éprouvent une sensation de froid : les moins de 29 ans ayant eu froid représentent 10,3% des ménages ayant eu froid, alors qu’ils ne sont que 5,6% de ceux qui n’ont pas eu froid. Les 63 – 75 ans, et surtout les 75 ans et plus, ressentent nettement moins le froid que leurs cadets.

Cette répartition se retrouve pour presque toutes les nuisances (bruit, pollution, etc.) : dans la plupart des études sur le ressenti des personnes, les moins de 30 ans se plaignent presque toujours davantage, et d’un plus grand nombre de nuisances, que les autres classes d’âge, alors que les plus de 65 ans sont les moins insatisfaits. Il y a probablement là un effet du choix d’une variable déclarée pour caractériser la vulnérabilité énergétique : elle dépend de la subjectivité des enquêtés.

L’interprétation des réponses selon la nationalité de la personne de référence (tableau 11) doit tenir compte de cette subjectivité. Mais elle est éclairante sur l’importance du ressenti : les personnes originaires d’Afrique noire qui ont eu froid dans leur logement sont particulièrement nombreuses. Comment savoir si une personne âgée de nationalité française aurait eu froid ou non dans le même logement, chauffé de la même manière ? La mesure de la température est impossible et, si c’était le cas, cette donnée objective vaudrait-elle mieux que la déclaration de la personne enquêtée ?

Quoi qu’il en soit, la hiérarchie des ménages face au froid ressenti est claire : les français y sont le moins exposés, suivis des nationaux d’Europe centrale, puis d’Europe méridionale, des pays du Sud de la Méditerranée et, enfin, d’Afrique noire.

ménages ayant eu froid (%) :	Afrique noire	Europe centrale	Europe du Sud	Français	Sud de la Méditerranée	Divers	total ligne
non	0,6	0,7	1,8	94,3	2,0	0,5	100,0
oui	3,7	0,8	1,8	83,7	8,7	1,6	100,0
sans objet	1,4	1,0	1,2	91,9	3,5	1,2	100,0
part des ménages	1,1	0,8	1,7	92,7	2,9	0,7	100,0

Tableau 11. Froid ressenti selon la nationalité de la personne de référence

La répartition de la vulnérabilité au froid selon le type de ménage, indiquée par le tableau 12, est également éclairante. Les personnes seules ne ressentent pas particulièrement le froid. Mais dès lors qu'il s'agit d'une famille mono-parentale avec enfants, le ménage est particulièrement exposé : la proportion de femmes avec enfants ayant eu froid est deux fois plus forte que leur part dans les ménages. Par contre, lorsque les deux membres du couple sont actifs et lorsqu'ils sont tous deux inactifs l'exposition au froid est bien moindre. Peut-être est-ce parce que, dans le premier cas, le revenu du ménage est supérieur à la moyenne (ou parce que le logement n'est pas occupé durant toute la journée) et, dans le second cas, parce qu'il s'agit de retraités qui appartiennent à des tranches d'âge où on ne se plaint pas du froid.

ménages ayant eu froid (%) :	Femme seule	Homme seul	Femme + enfant(s)	Homme + enfant(s)	Homme actif + femme	Homme actif + femme	Homme inactif + femme	Homme inactif + femme	Familles complexes	Total
non	16,7	9,7	6,3	1,1	33,1	11,1	2,9	17,1	2,0	100,0
oui	17,9	9,1	15,9	1,5	28,9	14,2	2,1	8,1	2,3	100,0
sans objet	17,7	17,1	8,7	1,1	34,5	12,1	1,4	4,6	2,8	100,0
part des ménages	16,9	10,5	7,7	1,2	32,8	11,7	2,7	14,6	2,1	100,0

Tableau 12. Froid ressenti selon la composition du ménage

Le tableau 6 indique la répartition des personnes ayant déclaré avoir eu froid selon l'occupation de la personne de référence du ménage. Le froid n'est pratiquement pas ressenti différemment de l'ensemble lorsque la personne de référence occupe un emploi. La situation est nettement différente pour le reste. Les retraités, chez qui la sensation de froid est moindre (18,8% des personnes ayant eu froid alors que les retraités représentent 28,2% des ménages) s'opposent aux autres catégories, plus sensibles au froid : chômeurs (très nettement), étudiants (en ne prenant pas en compte ceux qui ont emménagé depuis moins de 12 mois), femmes au foyer et autres inactifs.

ménages ayant eu froid (%) :	Occupe un emploi	chômeur	étudiant, stagiaire	retraité	femme au foyer	autre inactif	total ligne
non	57,0	4,7	1,1	32,6	1,4	3,2	100,0
oui	59,3	12,8	1,8	18,8	2,7	4,6	100,0
sans objet	68,3	8,7	11,4	7,5	1,7	2,3	100,0
part des ménages	58,5	6,1	2,3	28,2	1,6	3,3	100,0

Tableau 13. Froid ressenti selon l'occupation de la personne de référence

Le tableau 14 indique le lien entre le surpeuplement ou le sous-peuplement d'un logement et la sensation de froid. Quand le logement est surpeuplé que le froid est plus fréquemment

ressenti, surtout si le surpeuplement est accentué, alors qu'il l'est moins dans les logements sous-peuplés.

ménages ayant eu froid (%) :	peuple-ment normal	sous-peuple-ment modéré	sous-peuple-ment prononcé	sous-peuple-ment très accentué	sur-peuple-ment modéré	sur-peuple-ment accentué	total
non	20,1	25,8	22,6	23,7	6,9	1,0	100,0
oui	29,7	25,2	14,0	11,2	15,1	4,9	100,0
sans objet	31,5	26,6	13,1	9,2	19,2	1,4	100,0
part des ménages	22,6	25,7	20,4	20,5	9,3	1,5	100,0

Tableau 14. Froid ressenti selon le niveau de peuplement du logement

2.2 Le froid selon le statut d'occupation du logement

L'opposition entre propriétaires et locataires est particulièrement forte, comme le montre le tableau 15. Alors qu'ils constituent 41,1% des ménages, les locataires représentent les deux tiers des ménages ayant eu froid et, inversement, les propriétaires sont moins du tiers des ménages qui ont eu froid, alors qu'ils sont 55% des ménages. Ce contraste peut tenir à plusieurs facteurs, qui se cumulent dans cette statistique descriptive : les ménages propriétaires ont des revenus supérieurs aux locataires, ils sont plus âgés, plus souvent biactifs, etc.

ménages ayant eu froid (%) :	Locataires	Propriétaires	divers	total ligne
non	32,5	63,2	4,3	100,0
oui	66,1	30,2	3,7	100,0
sans objet	71,9	24,2	3,9	100,0
part des ménages	41,1	54,7	4,2	100,0

Tableau 15. Froid ressenti selon le statut d'occupation du logement

En poursuivant l'analyse des effets du statut d'occupation, il faut distinguer les propriétaires des locataires. A ce titre, nous avons retenu deux segments, les propriétaires de maisons individuelles et les locataires en collectif. Parmi les premiers, examinons, à travers le tableau 9, le lien entre le statut d'accédant à la propriété et la sensation de froid.

ménages ayant eu froid (%) :	non accédants	accédants	total
non	87,3	12,7	100,0
oui	85,1	18,5	100,0
sans objet	23,6	76,4	100,0
part des ménages	84,1	15,9	100,0

Tableau 16. Froid ressenti par les propriétaires en individuel accédant à la propriété

Les accédants à la propriété, qui sont 15,9% des propriétaires en individuel, représentent 18,5% des ménages ayant eu froid, soit une surreprésentation de 50% lorsqu'on a éliminé les

« sans objet ». Dans ce sous-ensemble, 9,1% des accédants ont eu froid, contre 6% des non accédants. Les premiers emménageant généralement dans des maisons plus récentes et de meilleure qualité que les seconds, il faut en déduire que les accédants réduisent leur chauffage du fait des traites qu'ils ont à payer.

Du côté des locataires en collectif, nous avons analysé le froid ressenti selon qu'il s'agit d'un logement HLM ou non (tableau 10).

ménages ayant eu froid (%) :	Logement HLM	Logement non HLM	total
non	31,0	69,0	100,0
oui	24,6	75,4	100,0
sans objet	17,3	82,7	100,0
part des ménages	26,8	73,2	100,0

Tableau 17. Froid ressenti par les locataires dans les HLM et les autres logements locatifs

Les ménages logés en HLM, qui représentent 26,8% de l'effectif considéré, sont 24,6% à avoir eu froid, alors que 31% d'entre eux n'ont pas eu froid. Ils sont donc sous-représentés. Ces ménages ont des revenus plus faibles que l'ensemble des locataires en collectif, ce qui devrait accroître la propension à avoir froid, mais ils payent des loyers inférieurs. Il est donc difficile de savoir si la moindre fréquence du froid ressenti tient à la balance entre ces deux effets contraires ou si elle est due à un mode de chauffage plus favorable, du fait du locataire ou de l'organisme HLM.

La situation des locataires en situation difficile ou en retard de loyer a également été analysée (tableaux 18 et 19).

ménages ayant eu froid (%) :	pas de difficulté à payer	difficulté à payer	sans objet	total
non	82,6	17,4	0,1	100,0
oui	67,0	32,9	0,1	100,0
sans objet	86,0	13,5	0,5	100,0
part des ménages	80,1	19,7	0,2	100,0

Tableau 18. Froid ressenti par les locataires en collectif ayant des difficultés à payer leur loyer

Comme attendu, il y a un lien fort entre le froid ressenti et les difficultés économiques des locataires en collectif. Alors qu'ils représentent seulement un cinquième de cette dernière catégorie, ceux qui ont des difficultés à payer leur loyer constituent le tiers des ménages qui ont eu froid. La surreprésentation est plus nette encore pour ceux qui sont en retard de loyer au moment de l'enquête : 7,1% des locataires en collectif sont dans cette situation et ils sont presque le double, 13,8%, des ménages qui ont eu froid.

ménages ayant eu froid (%) :	pas de retard de loyer	retard de loyer	sans objet	total
non	8,3	6,8	84,9	100,0
oui	13,5	13,8	72,8	100,0
sans objet	7,6	3,3	89,1	100,0
part des ménages	9.0	7.1	83.9	100.0

Tableau 19. Froid ressenti par les locataires en collectif en retard de loyer (enquêtes Logement 1996 et 2002)

Ce lien très fort entre la vulnérabilité énergétique et les difficultés économiques montre, une nouvelle fois, que la vulnérabilité est liée à la précarité énergétique. Ceci pourrait compliquer la mise en œuvre des politiques sociales : les aides susceptibles d'être accordées au titre de la précarité énergétique ciblent en grande partie les mêmes ménages que les aides au surendettement ou aux retards de loyer.

2.3 Dans quels logements a-t-on froid ?

2.3.1 La date de construction de l'immeuble

Le tableau 20 et la figure 1 indiquent le lien entre le froid ressenti et la date de construction de l'immeuble. Dans toute cette section, nous avons distingué les propriétaires de maisons individuelles et les locataires d'appartements dans des immeubles collectifs. Les maisons individuelles en location et les appartements en propriété n'ont pas été analysés ici car leurs effectifs sont nettement plus faibles.

locataires en collectif ayant eu froid (%)	Avant 1914	1915-1948	1949-1961	1962-1967	1968-1974	1975-1981	1982-1989	1990-1998	Après 1998	Total
non	10,5	10,2	14,7	11,2	19,4	11,1	7,5	10,8	4,8	100,0
oui	12,2	14,0	16,2	12,8	21,4	9,9	5,4	6,6	2,6	100,0
sans objet	12,6	12,2	11,5	8,0	15,5	7,7	6,9	16,5	9,2	100,0
part des	11,3	11,4	14,3	10,8	19,0	10,1	7,0	10,9	5,3	100,0
propriétaires en individuel ayant eu froid (%) :	Avant 1914	1915-1948	1949-1961	1962-1967	1968-1974	1975-1981	1982-1989	1990-1998	Après 1998	Total
non	18,3	12,7	8,1	4,6	11,1	14,4	13,2	10,3	7,4	100,0
oui	23,8	15,3	9,1	4,5	10,4	10,5	10,7	8,9	6,8	100,0
sans objet	11,8	11,4	6,1	3,0	5,0	7,4	7,3	15,6	32,4	100,0
part des	18,4	12,8	8,0	4,6	10,8	13,8	12,8	10,5	8,5	100,0

Tableau 20. Froid ressenti selon la date de construction de l'immeuble

Les résultats montrent que, pour les propriétaires de maisons individuelles, les ménages ont plus particulièrement froid dans les immeubles anciens. Alors que 18,4% des ménages logent dans des immeubles d'avant 1914, ce sont 23,8% des personnes ayant eu froid qui habitent

dans de tels immeubles. La surreprésentation est un peu moins nette pour les constructions faites entre 1915 et 1948, elle devient faible pour les immeubles d'après 1949 jusqu'en 1961. La proportion des ménages ayant eu froid est équivalente à leur part dans la population concernée lorsque la construction de l'immeuble a eu lieu entre 1962 et 1974. Pour les constructions d'après 1974, et à la suite du premier choc pétrolier, la part des ménages propriétaires de maisons individuelles ayant eu froid est inférieure à leur part dans la population correspondante. Dans les constructions faites après 1999, pour lesquelles la part des « sans objet » est importante, il n'y a que 4,9% des ménages concernés qui ont eu froid.

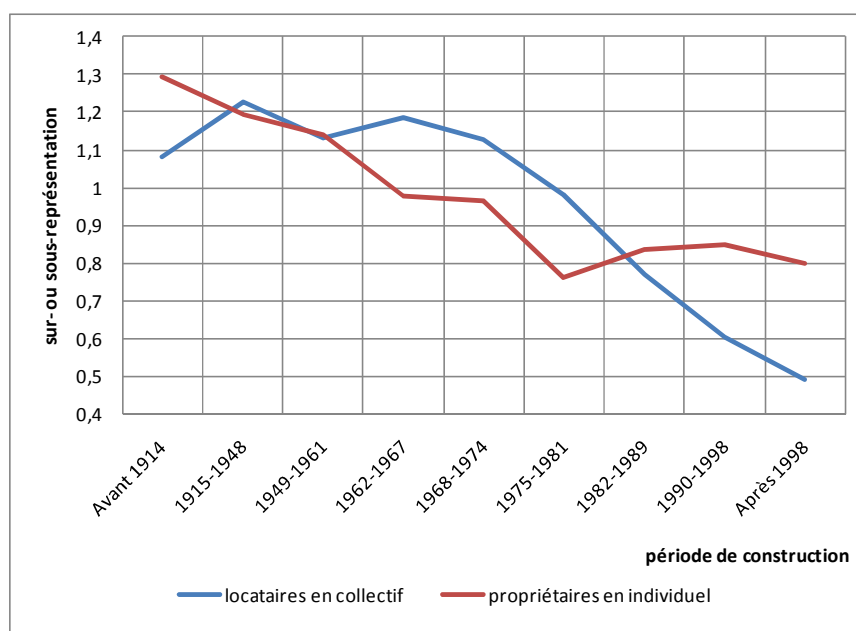


Figure 1. Sur- et sous-représentations du froid ressenti selon la date de construction de l'immeuble

Pour les locataires d'appartements, on observe une hiérarchie comparable, mais avec quelques différences notables. Tout d'abord, la surreprésentation des ménages ayant eu froid dans des immeubles d'avant 1914 est moins marquée que pour les propriétaires de maisons individuelles. La raison tient à ce que ces immeubles du XIX^{ème} siècle ou du début du XX^{ème} siècle sont souvent de très bonne qualité (immeubles haussmanniens à Paris, etc.). Il faut ensuite noter que la période de construction 1962-1974 ne se traduit pas par les mêmes effets pour les locataires en collectif et pour les propriétaires en individuel. Cette période est souvent caractérisée comme celle de la construction en masse de logements de basse qualité (exemple : les grands ensembles de banlieue). Il en résulte une surreprésentation des locataires ayant froid dans ces immeubles collectifs, qui ne s'observait pas dans le cas des maisons individuelles en propriété. Enfin, la sous-représentation des locataires ayant froid dans les immeubles collectifs construits après 1990 et, surtout, après 1999 est nettement plus marquée que dans le cas des propriétaires de maisons individuelles.

Au total, bien que la répartition des ménages ressentant le froid est comparable entre les propriétaires de maisons individuelles et les locataires d'appartements, les différences sont importantes lorsqu'on examine la situation dans le détail. Ces différences renvoient à une histoire de la construction en France dont les séquences diffèrent pour ces deux segments du parc immobilier.

2.3.2 La taille du logement

Le tableau 21 indique comment se répartit le froid ressenti selon la surface habitable des logements. Comme précédemment, nous avons distingué les locataires en collectif et les propriétaires en individuel, en ventilant les observations selon des tranches déjà utilisées : inférieur à D1, D1 à Q1, Q1 à Q2, Q2 à Q3, Q3 à D9 et supérieur à D9.

locataires en collectif ayant eu froid (%) :	0 à 1er décile	1er décile à 1er quartile	1er quartile à médiane	médiane à 3ème quartile	3ème quartile à 9ème décile	supérieur à 9ème décile	total ligne
non	6,9	14,2	19,9	29,3	17,0	12,8	100,0
oui	9,0	15,2	19,0	28,3	16,4	12,2	100,0
sans objet	15,9	20,1	20,3	23,4	12,0	8,3	100,0
part des ménages	10,0	15,0	25,0	25,0	15,0	10,0	100,0
propriétaires en individuel ayant eu froid (%) :	0 à 1er décile	1er décile à 1er quartile	1er quartile à médiane	médiane à 3ème quartile	3ème quartile à 9ème décile	supérieur à 9ème décile	total ligne
non	9,8	15,2	25,0	22,4	17,7	9,9	100,0
oui	13,3	15,1	24,0	19,3	16,1	12,4	100,0
sans objet	8,0	11,7	23,5	26,6	18,8	11,4	100,0
part des ménages	10,0	15,0	25,0	25,0	15,0	10,0	100,0

Tableau 21. Froid ressenti selon la surface habitable

Le froid est plus nettement ressenti dans les plus petits logements (le premier décile est de 30 m² pour les locataires d'appartements et de 42 pour les propriétaires en individuel) ainsi que, pour les propriétaires en individuel, dans les plus grands (D9 est fixé à 140² m²). Les autres tranches de taille ne font pas apparaître de différences importantes entre les ménages qui ont eu ou non froid.

2.3.3 Le mode de chauffage

Le tableau 22 indique la répartition des propriétaires en individuel et des locataires en collectif selon qu'ils ont eu froid ou non en fonction du mode de chauffage principal qu'ils utilisent. Le chauffage central individuel au mazout et le chauffage électrique individuel équivalent à un chauffage central réduisent les risques d'éprouver la sensation de froid par rapport aux autres modes de chauffage. Le premier mode a un effet particulièrement sensible pour les locataires d'appartements et le second pour les propriétaires de maisons individuelles. Lorsque le chauffage principal repose sur des appareils indépendants, le froid est plus souvent ressenti, en particulier parmi les propriétaires de maisons individuelles.

Le tableau 23 renseigne l'effet de modes de chauffage d'appoint (appareils indépendants, cheminées) sur le ressenti du froid pour les deux mêmes groupes que précédemment et pour les années 2002 et 2006. La proportion de propriétaires en individuel qui ont froid eu utilisant rarement ou très rarement des appareils indépendants de chauffage est un peu plus faible que leur part dans la population correspondante, alors que le résultat est difficile à interpréter pour les locataires en collectif car l'effet est de sens contraire pour les utilisations rares et très rares. L'usage de cheminées en appoint permet de réduire la sensation de froid chez les propriétaires en individuel (les ménages en collectif locatif sont trop peu nombreux pour que les résultats soient interprétables).

locataires en collectif ayant eu froid (%) :	électrique individuel	central mazout individuel	appareil indépendant	divers	pas de chauffage	total
non	20,0	26,5	4,7	48,4	0,3	100,0
oui	20,4	20,6	6,7	51,9	0,5	100,0
sans objet	31,1	22,8	5,0	40,8	0,3	100,0
part des ménages	22,4	24,5	5,2	47,5	0,4	100,0
propriétaires en individuel ayant eu froid (%) :	électrique individuel	central mazout individuel	appareil indépendant	divers	pas de chauffage	total ligne
non	25,7	62,2	9,2	2,4	0,5	100,0
oui	21,9	59,3	15,0	2,8	1,0	100,0
sans objet	32,5	57,9	5,8	2,6	1,0	100,0
part des ménages	25,7	61,9	9,4	2,5	0,5	100,0

Tableau 22. Froid ressenti selon le mode de chauffage principal

usage appareils indépendants (2002, 2006)					usage de cheminées (2002, 2006)		
locataires en collectif ayant eu froid (%) :	base	rare	très rare	total	oui	non	total
non	32,0	36,4	31,7	100,0	0,3	99,7	100,0
oui	31,3	40,7	28,1	100,0	0,3	99,7	100,0
sans objet	39,5	30,1	30,4	100,0	0,3	99,7	100,0
part des ménages	32,7	37,2	30,1	100,0	0,3	99,7	100,0
propriétaires en individuel ayant eu froid (%) :	base	rare	très rare	total	oui	non	total
non	34,2	38,3	27,5	100,0	32,7	67,3	100,0
oui	39,6	35,7	24,7	100,0	30,9	69,1	100,0
sans objet	31,1	39,6	29,3	100,0	24,3	75,7	100,0
part des ménages	34,5	38,1	27,4	100,0	32,2	67,8	100,0

Tableau 23. Froid ressenti selon l'usage de modes de chauffage d'appoint

2.3.4 L'état de l'immeuble

L'isolation thermique des logements est difficile à caractériser par des variables, bien que des améliorations aient été apportées récemment (question sur le double vitrage en 2002 et 2006, sur l'isolation du toit en 2006), et que d'autres soient à venir (enquête de 2012). L'existence ou l'absence de fissures dans les murs, le plafond ou le plancher, l'état des fenêtres, leur double vitrage, l'appréciation générale sur la vétusté du logement fournissent des indications partielles, mais importantes, de cette qualité. Nous utilisons également ici des variables qui sont liées à la qualité thermique, comme l'état de la façade de l'immeuble, l'insonorisation, ou qui en sont des conséquences, comme l'existence de traces d'humidité.

Le tableau 24 indique la fréquence du froid ressenti selon l'état général des fenêtres et la présence ou l'absence de double vitrage (enquêtes 2002 et 2006). Ces deux variables influencent fortement la probabilité d'avoir froid. C'est ainsi que 17,7% des locataires en collectif ont des fenêtres en état médiocre et qu'ils représentent 33,1% de ceux qui ont eu froid. Les propriétaires en individuel qui ont des fenêtres dans le même état sont 4,2% de cette population et 12% d'entre eux ont eu froid, soit une proportion encore plus élevée.

Le double vitrage a également un effet de grande ampleur sur la probabilité d'avoir froid. Cette variable est renseignée dans les enquêtes 2002 et 2006. Les locataires sans double vitrage occupent 35% des appartements locatifs et ils représentent 44% des ménages ayant eu froid, alors que les 65% bénéficiant d'un double vitrage ne sont que 56% des ménages qui ont eu froid. Les propriétaires de maisons individuelles non doubles vitrées, soit 35% des propriétaires en individuel, représentent 44% de ceux qui ont eu froid dans cette population.

locataires en collectif ayant eu froid (%) :	double vitrage			état fenêtres			
	Non	Oui	total	bon	moyen	médiocre	total
non	33,0	67,0	100,0	65,0	21,1	13,9	100,0
oui	43,9	56,1	100,0	43,9	23,1	33,1	100,0
sans objet	30,9	69,1	100,0	67,8	20,7	11,5	100,0
part des ménages	35,1	64,9	100,0	60,9	21,5	17,7	100,0
propriétaires en individuel ayant eu froid (%) :	double vitrage			état fenêtres			
	Non	Oui	total	bon	moyen	médiocre	total
non	28,5	71,6	100,0	80,3	16,0	3,7	100,0
oui	38,2	61,8	100,0	65,3	22,9	12,0	100,0
sans objet	19,3	80,7	100,0	82,2	12,5	5,1	100,0
part des ménages	28,7	71,3	100,0	79,3	16,3	4,2	100,0

Tableau 24. Froid ressenti et isolation du logement

Le revêtement de la façade de l'immeuble peut exercer un effet direct sur la protection thermique (en particulier du fait de dispositifs d'isolation lorsque les façades sont neuves ou remises à neuf) et il est un indicateur indirect de la qualité de l'isolement du logement. Le tableau 25 indique comment se répartissent les personnes ayant eu froid selon cette caractéristique.

L'état du revêtement est très lié au froid : lorsqu'il est « comme neuf » les 19% de locataires en collectif concernés ne représentent que 10,3% des personnes ayant eu froid, soit une sous représentation de presque moitié et, les 31% de propriétaires en individuel ayant une façade comme neuve ne représentent que 21% des personnes de ce groupe ayant eu froid. A l'inverse, en laissant de côté le faible nombre de revêtements en mauvais état, les 11% de locataires en collectif pour lesquels il est médiocre sont 19% des personnes ayant eu froid ; les proportions sont, respectivement, 7 et 15% pour les propriétaires en individuel.

locataires en collectif ayant eu froid (%) :	Comme neuf	bon	moyen	médiocre	mauvais	total
non	19,6	38,6	30,3	10,3	1,2	100,0
oui	10,3	30,1	36,7	18,9	3,9	100,0
sans objet	25,3	37,7	28,8	7,1	1,1	100,0
part des ménages	18,8	36,7	31,3	11,4	1,8	100,0

propriétaires en individuel ayant eu froid (%) :	Comme neuf	bon	moyen	médiocre	mauvais	total ligne
non	30,8	38,3	24,1	6,4	0,4	100,0
oui	20,9	32,1	30,2	14,9	2,0	100,0
sans objet	50,7	24,2	17,7	6,7	0,7	100,0
part des ménages	31,1	37,3	24,2	6,9	0,6	100,0

Tableau 25. Froid ressenti et état de l'immeuble: revêtement de la façade

Le tableau 26 et la figure 2 permettent d'examiner la relation entre le froid ressenti et diverses caractéristiques du logement : les infiltrations d'eau, l'humidité et, pour 1996, l'inadaptation ou l'insuffisance du logement, la présence de fissures dans les murs, plafonds ou planchers, les problèmes de portes ou de fenêtres et, plus globalement, la vétusté du logement.

locataires en collectif ayant eu froid (%) :	Infiltration d'eau :			Fissures (1996) :			chauffage insuffisant, inadapté (1996)		
	Non	Oui	total	Non	Oui	total	Non	Oui	total
non	90,6	9,4	100,0	97,0	3,0	100,0	88,2	11,8	100,0
oui	84,2	15,8	100,0	87,3	12,7	100,0	47,4	52,6	100,0
sans objet	92,2	6,8	100,0	96,3	3,7	100,0	82,9	17,1	100,0
part des ménages	88,9	11,6	100,0	96,5	3,6	100,0	80,7	19,3	100,0
	Problèmes de portes/fenêtres (1996)			humidité :			logement vétuste (1996) :		
	Non	Oui	total	Non	Oui	total	Non	Oui	total
non	85,0	15,0	100,0	77,7	22,3	100,0	96,8	1,2	100,0
oui	69,0	31,0	100,0	52,2	47,8	100,0	91,9	8,1	100,0
sans objet	85,9	14,1	100,0	81,4	18,7	100,0	98,0	2,0	100,0
part des ménages	81,9	18,5	100,0	73,2	26,8	100,0	98,4	1,6	100,0

propriétaires en individuel ayant eu froid (%) :	Infiltration d'eau :			Fissures (1996) :			chauffage insuffisant, inadapté (1996)		
	Non	Oui	total	Non	Oui	total	Non	Oui	total
non	93,2	6,8	100,0	97,0	3,0	100,0	95,6	4,4	100,0
oui	85,3	14,8	100,0	87,2	12,8	100,0	70,2	29,9	100,0
sans objet	91,0	9,0	100,0	96,3	3,7	100,0	91,3	8,7	100,0
part des ménages	92,6	7,4	100,0	96,4	3,7	100,0	94,2	5,8	100,0
	Problèmes de portes/fenêtres (1996)			humidité :			logement vétuste (1996) :		
	Non	Oui	total	Non	Oui	total	Non	Oui	total
non	96,1	4,0	100,0	86,9	13,1	100,0	98,8	1,2	100,0
oui	83,5	16,5	100,0	71,9	28,1	100,0	91,9	8,2	100,0
sans objet	93,5	6,5	100,0	88,6	11,4	100,0	98,0	2,0	100,0
part des ménages	95,4	4,6	100,0	86,1	13,9	100,0	98,4	1,6	100,0

Tableau 26. Froid ressenti et état du logement : problèmes divers

L'humidité, qui est le problème le plus fréquent (Lalande, 2010), est une des causes du froid ressenti par les ménages, et une des conséquences d'une température insuffisante. Quel que soit le sens de la causalité, la surreprésentation des personnes ayant froid lorsque le logement est humide est dans un rapport de plus de 1 à 2 pour les propriétaires en individuel et presque autant pour les locataires en collectif : presque un ménage sur deux ayant ressenti le froid hivernal vit dans des logements qui présentent cette caractéristique, qui pèsent 27% des locataires en collectif. Les infiltrations d'eau, moins fréquentes, sont liées au froid avec une faible surreprésentation pour les locataires en collectif, mais qui reste forte pour les propriétaires de maisons individuelles.

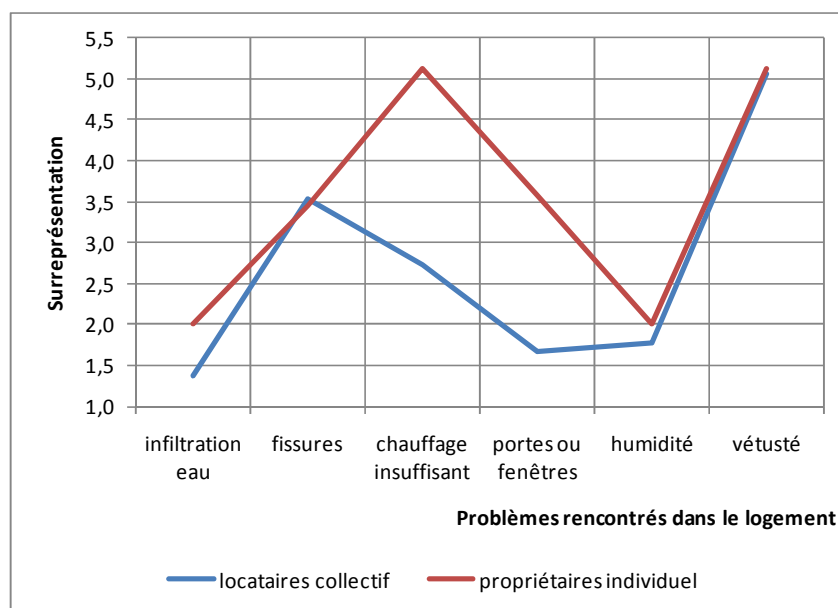


Figure 2. Surreprésentation des ménages ayant froid selon les problèmes rencontrés dans le logement

Les autres caractéristiques présentées dans ce tableau n'ont été observées que dans l'enquête de 1996 ; elles sont fortement liées au froid ressenti dans les logements. Sans surprise, c'est lorsque le logement est vétuste et lorsque le chauffage est considéré comme insuffisant ou inadapté (qui sont en proportion supérieure à la vétusté) que les personnes, principalement les locataires en collectif, se plaignant du froid sont les plus surreprésentées. Portes, fenêtres ou sols en mauvais état sont des problèmes fréquents pour les locataires en collectif (plus d'un logement sur six), qui entraînent aussi une sensation de froid fréquente (près du tiers des personnes ayant froid logent dans de tels appartements). L'occurrence du problème est moindre chez les propriétaires, mais l'effet sur le froid est plus important : la surreprésentation est alors considérable.

2.3.5 La situation du logement dans l'immeuble collectif

Le tableau 27 permet d'examiner l'effet sur la probabilité d'avoir froid de résider au rez-de-chaussée ou au dernier étage d'un immeuble collectif, ainsi que le rôle de l'exposition de la pièce principale. Ce tableau est établi pour les locataires en collectif.

Une localisation en rez-de-chaussée ou au dernier étage d'un immeuble collectif entraîne un risque légèrement accru d'avoir froid, mais la différence est faible par rapport aux étages intermédiaires. C'est sans surprise qu'on observe que les locataires d'appartements ont moins souvent froid lorsque leur exposition principale est sud et le sont davantage lorsqu'elle est

vers le nord (l'exposition a moins de sens pour les maisons, dont les pièces donnent généralement sur plusieurs directions).

	rez-de-chaussée			dernier étage		
locataires en collectif ayant eu froid (%) :	Non	Oui	total	Non	Oui	total
non	85,3	14,7	100,0	75,1	25,0	100,0
oui	82,9	17,1	100,0	73,4	26,6	100,0
sans objet	81,9	18,2	100,0	71,9	28,1	100,0
part des ménages	84,1	15,9	100,0	74,1	25,9	100,0
	exposition					
locataires en collectif ayant eu froid (%) :	est	nord	ouest	sud	total	
non	19,1	16,7	17,8	46,4	100,0	
oui	20,3	20,0	18,4	41,3	100,0	
sans objet	19,6	18,5	15,8	45,7	100,0	
part des ménages	19,4	17,9	17,5	45,1	100,0	

Tableau 27. Froid ressenti par les locataires en collectif selon la situation dans l'immeuble

2.4 Où a-t-on froid ?

Dans quelles zones climatiques le froid est-il particulièrement ressenti ? Le tableau 28 et la figure 3 montrent que ce n'est pas sous les climats de montagne, ni dans le climat semi-continental, où les hivers sont pourtant particulièrement rigoureux. Dans ces deux zones climatiques, les ménages ayant eu froid durant les 12 mois précédant l'enquête sont assez nettement sous-représentés par rapport à leur part dans les ménages. Les deux zones climatiques où les ménages ayant ressenti le froid sont surreprésentés sont celle à climat océanique dégradé, qui comprend le grand Bassin parisien et ... la zone à climat méditerranéen franc, qui connaît les hivers les plus doux de France. Sous les climats océanique franc ou altéré, des façades maritimes de l'Ouest et de leurs arrière-pays, le froid n'est ressenti que par une part de la population inférieure à sa part dans les ménages français.

En répartissant les logements par tranches de température croissante, on trouve confirmation des résultats par zones climatiques, comme le montre le tableau 29. Dans le premier intervalle inter-quartile, où la température des mois de novembre à mars est inférieure à 5,22 °C, les ménages qui ont froid sont moins nombreux que leur part dans la population : 8,8% ont ressenti le froid dans le premier intervalle inter-déciles (température inférieure à 4,12 °C) et ils sont 12% lorsque la température des cinq mois hivernaux est comprise entre 4,12 et 5,22 °C, alors qu'on trouve 15% de la population dans cette tranche. Dans le dernier intervalle inter-décile, où la température en hiver est supérieure à 8,34 °C, la part des ménages ayant eu froid ou non est égale à leur part dans la population : 10%. Les ménages ayant eu froid sont surreprésentés entre le 1^{er} et le 3^{ème} quartile.

froid et zones climatiques	Bassin Sud Ouest	Montagne	Méditerranéen altéré	Méditerranéen franc	Océanique altéré	Océanique dégradé	Océanique franc	Semi-continental		
ménages ayant eu froid (%) :	Bassin Sud Ouest	Montagne	Méditerranéen altéré	Méditerranéen franc	Océanique altéré	Océanique dégradé	Océanique franc	Semi-continental	donnée absente	Total
non	5,7	4,1	2,5	11,4	16,4	33,7	14,3	8,1	3,9	100,0
oui	5,2	3,4	2,5	12,2	14,1	37,9	11,3	6,8	6,6	100,0
sans objet	7,1	3,7	2,3	10,6	18,1	32,9	14,3	6,6	4,5	100,0
part des	5,8	4,0	2,5	11,4	16,3	34,1	13,9	7,7	4,3	100,0

Tableau 28. Froid ressenti selon les climats

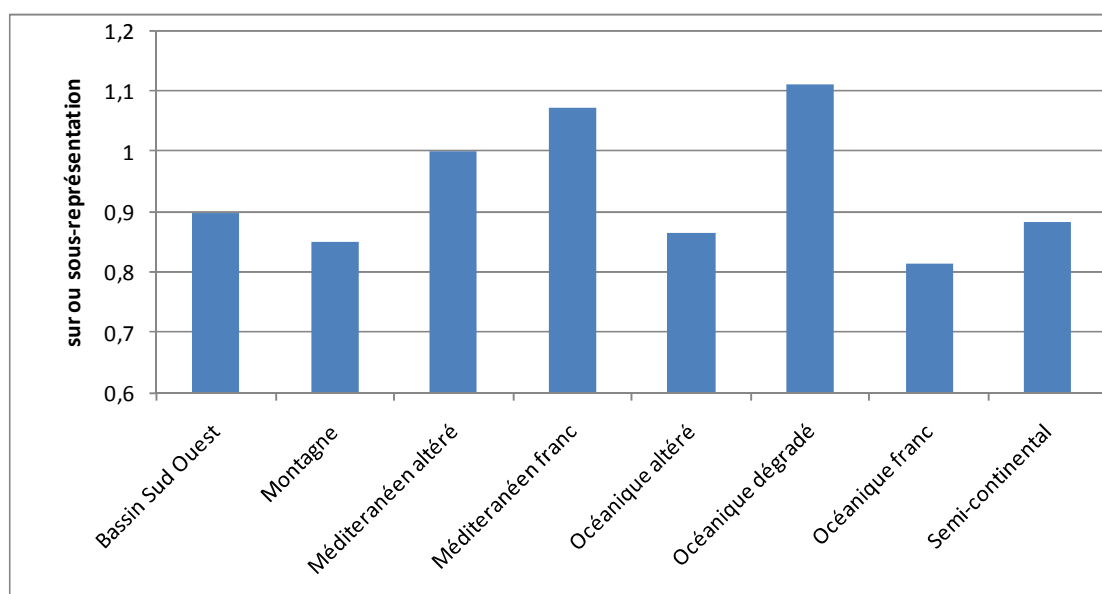


Figure 3. Sous ou surreprésentation du froid ressenti selon les climats

ménages ayant eu froid (%) :	0 à 1er décile	1er décile à 1er quartile	1er quartile à médiane	médiane à 3ème quartile	3ème quartile à 9ème décile	supérieur à 9ème décile	total ligne
non	10,5	15,6	24,9	24,3	14,8	10,0	100,0
oui	8,8	12,0	26,6	29,2	13,4	10,1	100,0
sans objet	9,3	13,7	24,4	26,7	16,3	9,7	100,0
part des ménages	10,0	15,0	25,0	25,0	15,0	10,0	100,0

Tableau 29. Froid ressenti selon la température moyenne novembre à mars

Il faut donc conclure que le froid est moins ressenti là où les hivers sont particulièrement rigoureux, soit que les ménages se défendent particulièrement bien contre cette nuisance (chauffage performant, bonne isolation, etc.), soit qu'ils considèrent que c'est une fatalité dont ils prennent leur parti. C'est surtout sous les climats intermédiaires, où la température de novembre à mars n'est ni très clémente ni très rigoureuse, comme le grand Bassin parisien, que le froid est particulièrement ressenti.

Le zonage en aires urbaines de l'Insee (délimitation de 1999) permet d'observer une autre modalité de localisation géographique des ménages ayant eu froid. Le tableau 30 montre les résultats, qu'il est préférable d'examiner pour les propriétaires de maisons individuelles car les locataires en collectif sont peu nombreux en dehors des pôles urbains. La proportion des premiers qui ont eu froid est légèrement plus forte dans le périurbain que dans les pôles urbains, et l'espace à dominante rurale n'influence pas la probabilité de ressentir le froid. Pour les seconds, sous la réserve qui vient d'être faite, la situation est inverse : légère surreprésentation dans les pôles urbains. Au total, cette variable de zonage a un effet assez faible sur la variable d'intérêt.

locataires en collectif ayant eu froid (%) :	pôles urbains	périurbain	rural	total
non	92,1	6,1	1,9	100,0
oui	94,0	4,6	1,4	100,0
sans objet	91,7	6,6	1,8	100,0
part des ménages	92,4	5,9	1,7	100,0
propriétaires en individuel ayant eu froid (%) :	pôles urbains	périurbain	rural	total
non	48,7	34,0	17,3	100,0
oui	47,6	35,5	17,0	100,0
sans objet	47,2	39,6	13,3	100,0
part des ménages	48,6	34,4	17,1	100,0

Tableau 30. Froid ressenti et localisation dans le zonage en aires urbaines

3. Les déterminants du froid

3.1 Méthode

Nous analysons ici les raisons susceptibles d'expliquer la réponse positive à la question : « froid dans le logement pendant au moins 24h au cours des 12 derniers mois ? », en retenant les réponses « oui » ou « non » et en éliminant les observations pour lesquelles cette question est sans objet (aucune personne du ménage n'était présente dans le logement il y a 12 mois). Pour cela, nous réalisons une régression logistique binaire où la réponse « oui » ou « non » est expliquée par un ensemble de variables.

Ces variables explicatives sont discrètes. Il s'agit de variables dichotomiques lorsque c'est naturel (exemple : il y a eu ou non des infiltrations d'eau dans le logement), de variables polytomiques lorsque c'est également dicté par les données (exemple : la qualité du revêtement de l'immeuble est, dans les enquêtes logement : « comme neuf », « bon », « moyenne », « médiocre » ou « mauvaise »). Nous avons également transformé les variables continues en variables polytomiques par discrétisation. Cette transformation, quoiqu'elle fasse perdre une partie de l'information et qu'elle rende plus compliquée l'introduction d'interactions, présente deux avantages : celui de permettre de saisir des relations non

monotones (a fortiori : non linéaires) et celui d'éviter de donner un poids trop élevé à des modalités extrêmes.

Les raisons susceptibles d'expliquer le froid ressenti par les ménages dans leur logement sont multiples : elles peuvent tenir au ménage lui-même (situation économique, démographique, sociale), au logement (isolement, installation de chauffage, etc.) ou à la localisation géographique (on pense en premier lieu au climat). Certains de ces éléments sont connus dans les enquêtes logement de l'Insee et d'autres, comme les variables climatiques ou d'autres facteurs de localisation géographique, ont été appariés par nos soins à ces enquêtes.

Nous avons retenu les variables explicatives renseignées dans les trois enquêtes logement de 1996, 2002 et 2006. Cela se traduit par l'élimination de certaines variables qui pourraient être intéressantes, comme l'existence de fissures (enquête 1996), le double vitrage (enquêtes 2002 et 2006), etc. Des régressions complémentaires ont été faites en exploitant certaines de ces informations. De plus, à l'étape actuelle, des variables *proxies* rendent compte de l'isolation thermique du logement : par exemple, l'insonorisation, ou isolation phonique, qui est souvent liée à l'isolation thermique et qui est renseignée pour les trois enquêtes retenues. Il en est de même de la qualité du revêtement de la façade de l'immeuble.

Face au grand nombre de variables susceptibles d'expliquer la sensation de froid, nous avons adopté une méthode pas à pas (stepwise), en laissant le modèle déterminer l'entrée des variables explicatives selon un ordre descendant. La règle d'arrêt est que seules les variables pour lesquelles l'ensemble des modalités est significatif au seuil de 5%, au sens d'un test de Khi-2 de Wald, sont retenues. Avec cette méthode, il est possible que des variables d'intérêt n'aient pas été retenues car elles étaient corrélées à des variables plus influentes sur le plan statistique, mais peut-être moins importantes pour l'analyse économique. Afin de limiter ce risque, nous avons fait, à côté de l'estimation d'une équation principale où toutes les variables disponibles étaient candidates, des estimations accessoires de trois équations en prenant isolément les caractéristiques des ménages, des logements et de la localisation. Nous ferons état de ces résultats lorsqu'ils complètent ceux de l'équation principale.

Il est possible d'adopter une méthode de sélection des variables qui soit moins « aveugle » en choisissant les variables de la régression à partir du raisonnement économique (« la sensation de froid DOIT être liée au revenu), de raisons technologiques (« le mode de chauffage EST lié à la sensation de froid ») ou de variables d'intérêt (« IL FAUT voir si le climat est ou non significatif). Cependant, en l'absence de modèle structurel ou de résultats validés par ailleurs par la littérature (il n'y a, à notre connaissance, aucun article scientifique sur cette question), de tels choix du modélisateur seraient arbitraires. C'est pourquoi nous nous en tenons à la procédure de sélection pas à pas.

Comme pour certaines analyses de statistiques descriptives de la section 2, il était exclu d'estimer un modèle économétrique sur l'ensemble des propriétaires et des locataires de maisons individuelles et d'appartements situés dans des immeubles collectifs : nous nous serions exposés presque à coup sûr à un biais d'agrégation. C'est pourquoi quatre estimations différentes ont été réalisées, dont deux sont présentées en détail ici : le cas des locataires en collectif (effectif de 24 389 observations) et celui des propriétaires en individuel (41 125 observations). Les deux autres situations, qui concernent les locataires de maisons individuelles et les propriétaires d'appartements, seront évoquées plus brièvement car elles s'apparentent aux deux premières et elles concernent un nombre moindre de ménages. Les observations sont pondérées par le coefficient d'extrapolation donné par l'Insee, en adoptant un système de poids dont la moyenne est égale à l'unité.

Les résultats présentés ci-après sont les *odds ratios*, ou *rapports de cote* pour les modalités significativement différentes de celle de la référence. Sur le plan statistique, « la référence »

est constituée des modalités de référence de chacune des variables de l'équation. Pour une variable dichotomique ou polytomique donnée, les modalités de référence des autres variables sont identiques, ce qui nous conduit à parler de l'écart à la seule modalité de référence de cette variable.

Pour simplifier les tableaux, ceux-ci n'indiquent que les modalités de chaque variable significativement différentes de la référence. Bien sûr, les modalités non significatives d'une variable polytomique, non reprises dans ces tableaux, étaient présentes dans les équations estimées. Les résultats complets (ensemble des modalités, analyse du maximum de vraisemblance) sont présentés en annexe.

Dans quelques cas, nous avons introduit des interactions entre les variables climatiques, qui sont des variables d'intérêt importantes dans cette étude, et d'autres variables (âge de la personne de référence, date de construction de l'immeuble, mode de chauffage). Nous avons autorisé la sélection de ces variables d'interactions même lorsque les deux éléments qui interagissent ne sont pas présents dans l'équation, afin de faire apparaître certains effets qui disparaîtraient si les deux variables élémentaires et leur interaction devaient obligatoirement être dans la sélection.

3.2 Les locataires d'appartements

3.2.1 *La sélection des variables*

Les variables candidates pour expliquer la sensation de froid concernent :

- Le ménage : revenu, taux d'effort énergétique, nombre de personnes, type de ménage, occupation de la personne de référence, diplôme, chômage, nationalité.
- Le statut d'occupation du logement, indice de peuplement, difficultés à payer le loyer.
- Le logement : surface habitable, mode de chauffage, type d'immeuble, localisation au rez-de-chaussée ou au dernier étage, insonorisation, existence d'infiltrations d'eau, de traces d'humidité, état du revêtement de la façade, exposition de la pièce principale ; des équations sur des sous-échantillons permettent d'introduire, pour certaines années, le double vitrage et l'état des fenêtres (2002 et 2006), l'existence de fissures ouvertes dans les murs, les planchers ou les murs, la vétusté du logement, le mauvais état des fenêtres, portes ou sol. D'autres variables, comme la réalisation de travaux permettant des économies d'énergie, la hauteur des plafonds, etc. auraient pu être également testées.
- La localisation géographique : la température moyenne des mois de novembre à mars, qui peut être introduite en interactions avec l'âge de la personne de référence ou avec la date de construction de l'immeuble, la pluviométrie des mêmes mois, les types climatiques (Joly et al., 2010), l'insolation en janvier, la situation dans le zonage en aires urbaines de l'Insee (délimitation de 1999), l'altitude de la mairie, la population de la commune. Les variables climatiques ont été obtenues par une méthode d'interpolation décrite au premier chapitre de ce rapport.

La procédure stepwise conduit à éliminer de l'équation les variables suivantes :

- revenu du ménage,
- nombre de personnes,
- chômage,
- indice de peuplement,
- surface habitable,

- type d'immeuble,
- population de la commune.

Au vu des tableaux de statistiques descriptives de la section 2, il n'est pas étonnant que le revenu du ménage et la surface habitable du logement aient été éliminés, mais cela mérite d'être à nouveau souligné. Dans une équation où ne se trouvent que les caractéristiques du logement, la surface habitable est sélectionnée, avec deux modalités significativement différentes de la référence (qui est constituée des logements de 45 à 63 m²) : les logements de 25 à 31 m² et de 31 à 45 m². Dans l'équation avec les seules variables relatives au ménage, le revenu n'est toujours pas sélectionné. Ces régressions complémentaires confirment donc le faible pouvoir explicatif de la taille du logement et du revenu des ménages.

Les variables qui contribuent le plus à l'explication du froid ressenti sont, dans l'ordre où elles ont été sélectionnées par la procédure stepwise :

- 1 Problèmes d'humidité,
- 2 L'insonorisation,
- 3 La difficulté du locataire à payer le loyer,
- 4 L'état du revêtement de la façade,
- 5 Le statut d'occupation,
- 6 Le type de ménage,
- 7 Le taux d'effort énergétique,
- 8 La température en interactions avec l'âge de la personne de référence,
- 9 La nationalité de la personne de référence,
- 10 L'exposition de la pièce principale
- 11 La température en interactions avec la date de construction de l'immeuble,
- 12 L'existence d'infiltrations d'eau,
- 13 La zone climatique,
- 14 La pluviométrie,
- 15 La localisation du logement au rez-de-chaussée de l'immeuble,
- 16 L'altitude de la mairie de la commune
- 17 La localisation du logement au dernier étage de l'immeuble,
- 18 La population de la commune,
- 19 Le nombre d'heures d'insolation en hiver,
- 20 Le type de commune (ville centre, banlieue, rural),
- 21 Le diplôme de la personne de référence du ménage,
- 22 Le mode de chauffage,
- 23 L'occupation du conjoint.

Les quatre variables qui se trouvent en haut de la liste concernent des caractéristiques du logement qui permettent d'approcher la qualité de l'isolation thermique, en premier lieu l'existence de traces d'humidité. La difficulté à payer le loyer se trouve également parmi les variables de tête, suivie un peu après, du taux d'effort énergétique (7^{ème} place). Le mode de chauffage n'intervient qu'en 22^{ème} position. Les variables climatiques sont toutes retenues par la procédure stepwise, mais elles arrivent assez bas dans la liste : en 11^{ème}, 13^{ème}, 14^{ème} et 19^{ème} position.

On peut penser que certaines des variables retenues qui sont liées à la situation économique du ménage (statut d'occupation type de ménage, diplôme de la personne de référence, nationalité, etc.) éliminent le revenu de l'ensemble des variables explicatives, alors que celui-ci contribuerait à expliquer la sensation de froid s'il était introduit sans ces variables qui lui sont liées. Si on ne retient que l'âge de la personne de référence, le nombre de personnes du ménage et le revenu comme caractéristiques du ménage, ce dernier est effectivement

sélectionné, comme dernière variable significative, avec deux modalités significatives : les 5% de ménages aux plus bas revenu qui ressentent le froid plus que la référence (rapport de cote 1,33) et l'intervalle Q3-D9 pour lequel il est moins ressenti(0,67). Les autres modalités discrètes de la variable revenu sont non significatives. Le revenu disparaît rapidement des variables sélectionnées par la procédure stepwise dès lors qu'on introduit davantage de caractéristiques du ménage. Son élimination n'est donc pas un effet de la méthode statistique qui serait aveugle par rapport à une variable économique importante. En forçant cette variable à être présente, on obtient un lien significatif entre la sensation de froid et le revenu, mais ce lien est faible et il ne concerne qu'une petite fraction des ménages.

Le tableau 31 indique les *odds ratios*, ou *rapports de cote* de la régression logistique avec la valeur estimée du point et l'intervalle de confiance de Wald à 95%. Seules les modalités significativement différentes de la modalité de référence au seuil de 95% sont renseignées dans ce tableau (voir les résultats complets de l'analyse du maximum de vraisemblance en annexe). Le pseudo R^2 est égal à 0,17.

3.2.2 Les variables relatives au logement

Le chauffage central individuel au fioul est l'installation la plus performante pour éviter d'avoir froid au cours de l'hiver, avec un rapport de cote de 0,76 par rapport à la référence, constituée du chauffage central électrique individuel. Le chauffage central collectif est une situation propice au froid. Les autres modalités de chauffage ne se différencient pas entre elles ni par rapport au chauffage central électrique individuel.

L'humidité visible dans le logement est la variable qui est la plus fortement liée au froid ressenti, avec une valeur estimée de l'odd ratio de 1,95 et des intervalles de confiance étroits. Les infiltrations d'eau (11,1% de l'échantillon) accroissent également de 27% le risque d'avoir froid. L'insonorisation, protection sonore souvent associée à une protection thermique, a un effet significatif, avec des intervalles de confiance étroits. Par rapport à une situation moyenne, une bonne insonorisation réduit de 31% la probabilité d'être exposé au froid, alors qu'une insonorisation médiocre l'accroît de moitié (les trois modalités se partagent à peu près à parts égales). Une autre variable qui approche la qualité thermique de l'immeuble est la qualité de sa façade. Par rapport à un état moyen, un revêtement « comme neuf » réduit très fortement la probabilité d'avoir froid ; elle est de 26% inférieure à la référence dans les immeubles à « bon » revêtement, alors que les ménages ont plus souvent froid lorsque le revêtement est « médiocre » (point estimé : 1,2) et surtout lorsqu'il est « mauvais » (1,6).

Notons également que les ménages habitant le dernier étage de leur immeuble sont plus exposés au froid (probabilité de 14% supérieure à la référence), et surtout ceux qui habitent le rez-de-chaussée (probabilité supérieure de 26%). Par rapport à une pièce principale orientée au sud, un logement où elle est exposée au nord accroît de 19% la probabilité d'avoir froid.

En examinant l'enquête Logement de 1986 seule, on fait apparaître de nouvelles variables concernant le logement : l'état des portes et fenêtres (1,5), les fissures (1,4) et la vétusté du logement (1,3). Une estimation faite sur les échantillons des enquêtes de 2002 et 2006 montre que l'état des fenêtres est, après les problèmes d'humidité, la seconde variable retenue dans la sélection séquentielle (point estimé pour celles dont l'état est bon : 0,7), puis l'insonorisation (0,7 également), le revêtement de la façade et le double vitrage (1,4 lorsqu'il n'y en a pas).

		odds ratios				
					valeur estimée	intervalle de confiance de Wald à 95 %
					Variables climatiques	
		valeur estimée	intervalle de confiance de Wald à 95 %	température et date de construction de l'immeuble	référence : 4,4 à 5,0°C, construction 1915-1967	
Variables logement				< 3,8°C, < 1914	0,669	0,488 0,917
Mode de chauffage	chauffage central électrique			5,0 à 6,4°C, 1915-1967	0,627	0,498 0,79
chauffage central individuel	0,758	0,681	0,844	5,0 à 6,4°C, > 1989	0,652	0,479 0,887
chauffage central collectif	1,15	1,032	1,281	6,4 à 7,9°C, < 1914	0,647	0,461 0,907
Traces d'humidité	référence : non			6,4 à 7,9°C, 1915-1967	0,584	0,447 0,764
oui	1,95	1,81	2,1	6,4 à 7,9°C, 1968-1989	0,615	0,471 0,803
Exposition du logement	référence : sud			6,4 à 7,9°C, post 1989	0,371	0,248 0,556
nord	1,193	1,071	1,329	> 7,9°C, < 1914	0,434	0,298 0,634
inconnue	0,806	0,729	0,892	> 7,9°C, 1915-1967	0,299	0,217 0,413
Insonorisation	référence : moyenne			> 7,9°C, 1968-1989	0,33	0,239 0,454
bonne	0,688	0,63	0,753	> 7,9°C, post 1989	0,202	0,118 0,346
médiocre	1,492	1,383	1,61	température et âge de la PR	référence : < 5,0°C, 45 à 54 ans	
infiltrations d'eau	référence : non			> 5,0°C, < 35 ans	1,314	1,114 1,549
oui	1,267	1,145	1,402	< 5,0°C, < 35 ans	1,332	1,165 1,523
état revêtement de la façade :	référence : moyen			< 5,0°C, > 64 ans	0,798	0,674 0,946
comme neuf	0,655	0,587	0,732	pluviométrie	référence : 240 à 290 mm	
bon	0,74	0,683	0,8	< 227 mm	0,76	0,661 0,875
médiocre	1,206	1,094	1,331	290 à 380 mm	0,875	0,786 0,974
mauvais	1,59	1,268	1,993	> 480 mm	0,793	0,672 0,936
localisation au rez-de-chaussée	référence : non			type climatique	référence : océanique dégradé	
oui	1,256	1,145	1,378	méditerranée altéré	1,533	1,15 2,043
localisation au dernier étage	référence : non			méditerranéen franc	1,901	1,529 2,363
oui	1,143	1,057	1,237	Insolation en janvier	référence : 70 à 80 h	
				60 à 70 h	0,877	0,772 0,995
Variables ménage				Statut d'occupation du logement	référence : secteur libre	
Type de ménage	référence : homme + femme actifs			HLM conventionné	1,36	1,213 1,524
femme seule	1,506	1,202	1,887	HLM non conventionné	1,484	1,242 1,773
femme + enfants	1,765	1,397	2,23	social divers	1,297	1,103 1,524
homme inactif + femme active	1,296	1	1,68	sous-location, divers	1,335	1,078 1,653
homme + enfants	1,653	1,174	2,328	Taux d'effort énergétique	référence : Q1 à médiane	
nationalité de la personne de réf.	référence : français			< C5	0,783	0,665 0,922
sud de la Méditerranée	1,559	1,362	1,785	Q2 à Q3	1,203	1,094 1,324
Occupation du conjoint	référence : occupe un emploi			Q3 à D9	1,236	1,104 1,383
étudiant	0,019	<0,001	0,903	D9 à C95	1,725	1,465 2,031
pas de conjoint	0,729	0,581	0,916	> C95	1,827	1,555 2,147
Difficulté à payer le loyer	référence : non			Diplôme de la personne de réf.	référence : bac	
oui	1,466	1,352	1,589	aucun	1,152	1,021 1,3
				1er cycle universitaire	1,185	1,021 1,374
Variables espace				population de la commune	référence : Q1 à Q2	
situation dans le ZAUER	référence : pôles urbains			Q2 à Q3	1,196	1,084 1,321
couronne périurbaine	1,305	1,016	1,677	> Q3	1,347	1,19 1,526
pôles d'emploi ruraux	1,181	1,081	1,289	Altitude de la mairie	référence : 50 à 100 m	
				O m	1,258	1,109 1,427

Tableau 31. Résultats : Odds ratios, locataires en appartements

3.2.3 Les variables relatives au ménage

En ce qui concerne les caractéristiques des ménages, lorsqu'on introduit l'âge de la personne de référence sans interaction avec la température, on obtient une relation fortement décroissante entre l'âge de la personne de référence (PR) et la probabilité d'avoir froid dans son logement (figure 4). Les moins de 35 ans ont une probabilité d'environ 10 à 20% supérieure à la modalité de référence (constituée par les PR de 40 à 44 ans). Cette probabilité décroît ensuite assez régulièrement jusqu'à 60 – 64 ans. Les PR entre 70 et 84 ans ont une probabilité de ressentir le froid environ 25% inférieure aux 40 – 44 ans, et cette probabilité est divisée par deux pour les plus de 85 ans.

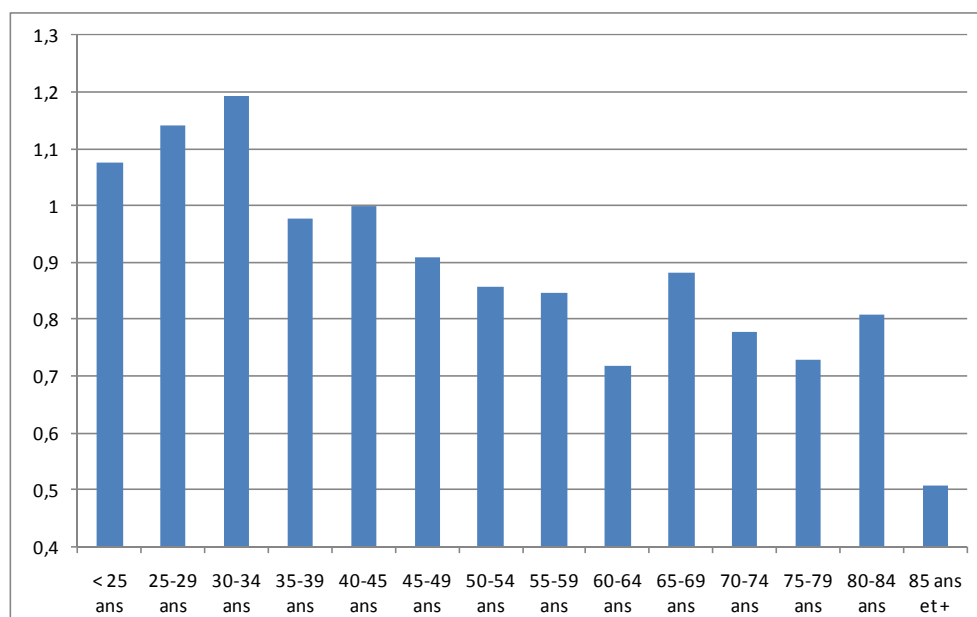


Figure 4. Effet de l'âge de la personne de référence sur la probabilité d'avoir froid

Le type de ménage intervient également : lorsque la PR est une femme, la probabilité qu'elle ait froid est de 50% supérieure à celle d'un couple biactif, et cette probabilité monte à 76% lorsque cette femme élève des enfants. Les hommes seuls avec enfants sont presque dans la même situation (valeur estimée du odd ratio de 1,65). Lorsque la PR a la nationalité d'un pays du sud de la Méditerranée, la probabilité d'avoir froid s'accroît fortement (+ 56%).

Si le revenu n'est pas retenu comme variable explicative par la méthode stepwise, d'autres variables relevant de la situation économique du ménage sont significatives. Il s'agit, tout d'abord, du taux d'effort énergétique. La modalité de référence est constituée des ménages qui consacrent entre 1,8 et 3,2% de leur revenu à la dépense énergétique (Q1 à Q2). Les 5% de ménages pour qui ce taux d'effort est inférieur à 0,8% (C5) ont une probabilité d'avoir froid de 22% inférieure à cette modalité de référence. Le taux augmente ensuite régulièrement, comme le montre la figure 5, pour être de 83% supérieure à la référence pour les 5% qui consacrent plus de 13,7% de leur revenu à la dépense énergétique. La rupture se produit au 9^{ème} décile, puisque en deçà de la probabilité d'avoir froid est de 23,6% ou moins inférieure à la référence, alors qu'elle monte à 72,5%, soit le triple, lorsqu'on franchit D9. Le taux d'effort énergétique de D9 est de 9,5% : le critère de 10% du revenu consacré à la facture énergétique par le rapport Pelletier (2009) apparaît pertinent au vu de ces résultats.

La difficulté à payer son loyer renforce l'effet du taux d'effort énergétique, bien que les deux variables soient faiblement liées (coefficient de corrélation de Pearson de 0,02). Les ménages qui éprouvent de telles difficultés ont une probabilité de 47% supérieure aux autres d'avoir froid.

Le statut d'occupation intervient également dans l'explication du froid ressenti : tous les secteurs sociaux, à l'exception des logements régis par la loi de 1948, exposent à un risque d'avoir froid nettement supérieur au secteur locatif libre (+36% pour le secteur HLM conventionné). Compte tenu des variables économiques et sociales contrôlées (type de ménage, difficulté à payer le loyer, nationalité) ou testées (revenu) et du contrôle du taux d'effort énergétique, il semble probable que cet effet du statut d'occupation ne résulte pas de variables omises qui lui seraient corrélées.

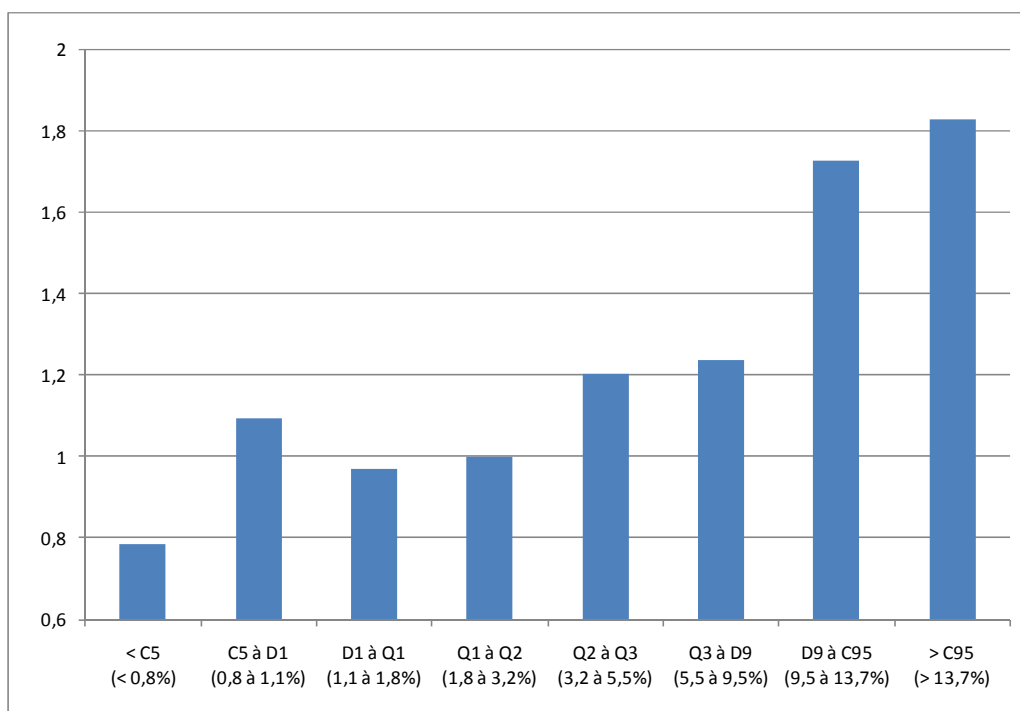


Figure 5. Effet du taux d'effort énergétique sur la probabilité d'avoir froid

3.2.4 Les variables climatiques

La température des mois de novembre à mars joue un rôle significatif pour expliquer quand les ménages ont une sensation de froid. La probabilité d'avoir froid dans son logement est légèrement plus forte dans les régions les plus froides, mais elle ne devient significative que lorsque la température moyenne des mois d'hiver est supérieure à 5 °C, auquel cas elle est, selon la douceur hivernale, de 28 à 67 % inférieure à la référence (figure 6).

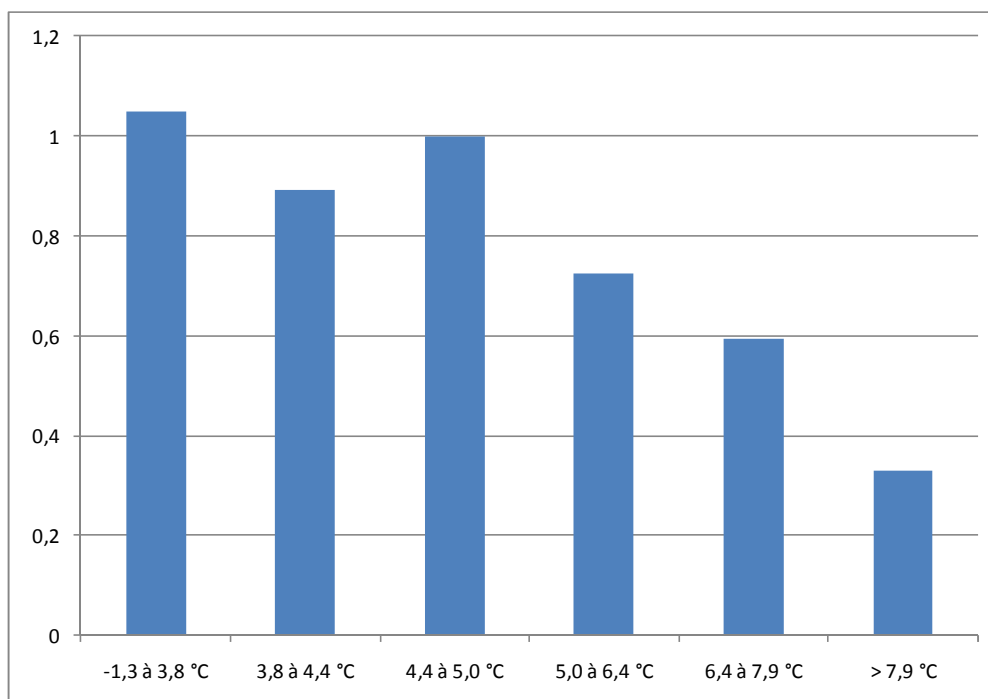


Figure 6. Effet de la température moyenne (novembre-mars) sur la probabilité d'avoir froid

Il faut, cependant, tenir compte d'un effet additionnel qui est la région climatique d'appartenance. En région de climat méditerranéen altéré et franc (cf. la définition des climats dans Joly et al., 2010), où les hivers sont les plus cléments, le froid est plus fréquemment ressenti que dans les autres régions (respectivement : + 55 et + 95%).

Nous avons également distingué l'effet de la température sur le sentiment de froid selon la date de construction de l'immeuble. Nous avons pris pour référence les immeubles construits entre 1915 et 1967 dans les régions où la température moyenne des mois d'hiver est comprise entre 4,4 et 5 °C. La figure 7 indique les résultats.

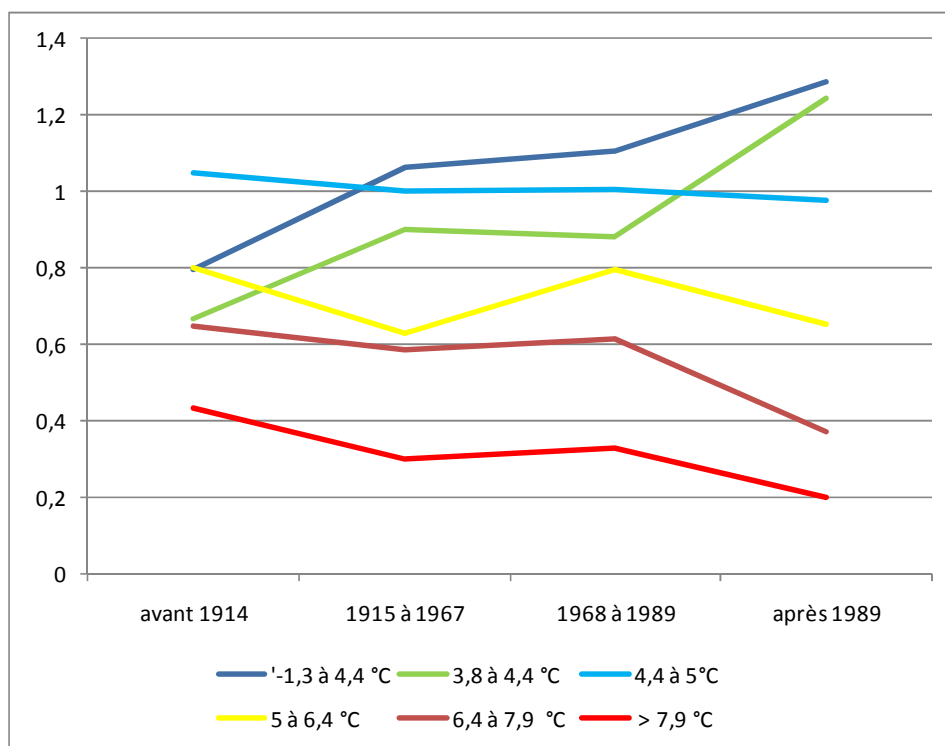


Figure 7. Probabilité d'avoir froid selon la température et la date de construction de l'immeuble

Les hivers les plus rigoureux (jusqu'à 4,4°C de température moyenne) sont bien supportés dans les immeubles les plus anciens, construits avant 1914, où la sensation de froid est 20% moins probable que dans les immeubles de référence. Mais ces hivers froids se traduisent par une sensation de froid plus fréquente que la référence dans les immeubles plus récents. Cependant, ces différences ne sont pas assez amples pour être significatives. Là où les hivers sont les plus doux (plus de 7,9°C de moyenne), la sensation de froid est évidemment plus rare que pour la référence, mais elle est relativement plus fréquente dans les immeubles les plus anciens que dans les constructions récentes. Il semble donc que les immeubles anciens sont particulièrement bien protégés contre les hivers les plus rigoureux, alors que les immeubles récents le sont moins. Inversement, lorsque les hivers sont cléments, c'est dans les vieux immeubles que les ménages risquent de souffrir du froid un peu plus fréquemment que dans les immeubles récents.

Cette situation contrastée explique que, lorsque la période de construction de l'immeuble est introduite sans interaction avec la température, elle n'est pas retenue dans la sélection effectuée par la méthode stepwise.

Par ailleurs, comme précédemment, l'effet de la température hivernale sur le froid ressenti, selon la date de construction de l'immeuble, doit être interprété avec une autre variable

climatique : l'appartenance aux régions climatiques définies par Joly et al. (2010). Le climat océanique dégradé (qui inclut le grand bassin parisien) étant la référence, le froid est plus souvent ressenti sous le climat méditerranéen franc (probabilité de 60% supérieure à la référence) ou altéré (46%), sous les climats de montagne (34%) et océanique franc (28%).

La pluviométrie, comme la température, exerce un rôle non linéaire sur le froid ressenti : les ménages ont moins souvent froid lorsqu'elle est très faible en hiver (valeur estimée du point : 0,76 pour moins de 227 mm) ou très élevée (0,8 pour plus de 480 mm) que pour la valeur de référence (240 à 290 mm).

3.2.5 Précarité énergétique et sensation de froid

A plusieurs reprises nous avons observé des relations entre la sensation de froid, déclarée dans les enquêtes logement, et la précarité énergétique telle qu'elle est définie par le seuil de 10% du revenu consacré aux dépenses énergétiques. Afin de poursuivre cette comparaison, nous avons réalisé une régression logistique dont la variable expliquée est la précarité énergétique, ainsi définie, avec la procédure stepwise et les mêmes variables explicatives que la régression expliquant le froid. Le tableau 32 indique les variables retenues et le rang dans la sélection pour les deux régressions.

	rang dans la sélection	
	avoir froid	précarité
Problèmes d'humidité	1	8
Insonorisation	2	/
Difficulté du locataire à payer le loyer	3	14
Etat du revêtement de la façade	4	/
Statut d'occupation	5	9
Type de ménage	6	18
Taux d'effort énergétique	7	/
Température * âge de la personne de référence	8	/
Nationalité de la personne de référence	9	11
Exposition de la pièce principale	10	15
Température * date de construction de	11	4
Existence d'infiltrations d'eau	12	/
Zone climatique	13	6
Pluviométrie	14	10
Localisation au rez-de-chaussée de l'immeuble	15	5
Altitude de la mairie de la commune	16	/
Localisation au dernier étage de l'immeuble	17	/
Population de la commune	18	/
Nombre d'heures d'insolation en hiver	19	/
Type de commune (ville centre, banlieue, rural)	20	21
Diplôme de la personne de référence du	21	12
Mode de chauffage	22	13
Occupation du conjoint	23	/
Revenu du ménage	/	1
surface habitable	/	2
nombre de personnes du ménage	/	3
indice de peuplement	/	7
type d'immeuble	/	19
âge de la PR	/	16
nombre de jours à température < -5°C	/	17
occupation de la PR	/	20

Tableau 32. Comparaison des sélections stepwise

Sur les 8 premières variables retenues pour expliquer le froid, quatre seulement sont retenues dans l'équation expliquant la précarité énergétique, aux 8^{ème}, 9^{ème}, 14^{ème} et 18^{ème} rangs. Inversement, les 3 variables retenues en premier dans la régression sur la précarité, le revenu du ménages, la surface habitable du logement et le nombre de personnes du ménage, ne sont pas retenues dans la procédure stepwise sur le froid. Il y a donc une très mauvaise correspondance entre les deux variables expliquées.

Parmi les caractéristiques du logement, retenons, tout d'abord, que les habitants de petits logements sont moins souvent en situation de précarité énergétique que ceux de logements plus vastes : le rapport est de 1 à 4 entre les appartements de moins de 25 m² et la référence (45 à 63 m²) et de 2 à 1 entre ceux de plus de 100 m² et cette même référence. L'effet de la taille du logement est donc considérable dans l'explication de la précarité énergétique, alors qu'il est non significatif dans celle du froid.

En ce qui concerne le mode de chauffage, nous avons vu que le chauffage central individuel au fioul permettait de moins ressentir le froid que le chauffage individuel électrique, mais celui-là entraîne des situations de précarité énergétique plus fréquentes que celui-ci (valeur estimée du rapport de cote : 1,3). A l'inverse, le chauffage central collectif se traduit par un odd ratio de 1,15 pour le froid ressenti et de 0,15 pour la précarité énergétique. D'autres variables jouent également des rôles inversés dans les deux estimations. C'est ainsi que les appartements en HLM conventionné ont 36% de chances de plus d'engendrer une sensation de froid que la référence (secteur libre d'après 1948), mais 33% de moins de provoquer la précarité énergétique.

Finalement, il y a peu de variables relatives au logement qui jouent dans le même sens dans les deux équations ; retenons l'humidité et la localisation au rez-de-chaussée

En ce qui concerne les variables caractérisant le ménage, on retrouve la même opposition entre les deux variables expliquées. Les ménages dont la personne de référence est âgée ressentent moins le froid que ceux de 40 à 44 ans (référence), mais elles risquent davantage d'être énergétiquement précaires. La figure 8 illustre cette opposition. Les maghrébins, qui ressentent plus souvent le froid que les français (1,6) sont moins fréquemment énergétiquement précaires (0,63).

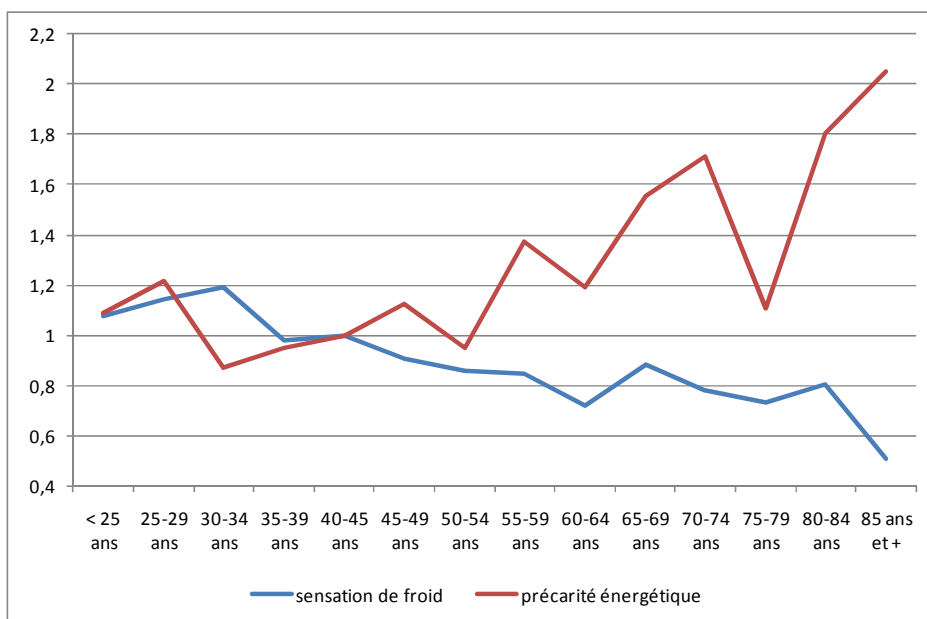


Figure 8. Sensation de froid et précarité énergétique selon l'âge

La température joue un rôle attendu sur la précarité énergétique, qui est illustré par la figure 9. Les immeubles construits avant 1914 sont les plus exposés au risque de précarité énergétique, jusqu'à trois fois plus que la référence lorsque l'hiver est particulièrement rude. Les trois autres périodes de construction ne se distinguent guère les unes des autres. La température influence fortement le risque de précarité énergétique. Ce dernier est grosso modo deux fois plus faible dans les régions aux hivers les plus doux (plus de 7,9 °C de moyenne) sauf pour les immeubles les plus anciens. Là où les hivers sont les plus froids, la précarité énergétique est plus fréquente que pour la modalité de référence : +85% environ dans les immeubles construits entre 1915 et 1989, + 165% pour ceux construits après cette date et + 200% pour les plus anciens.

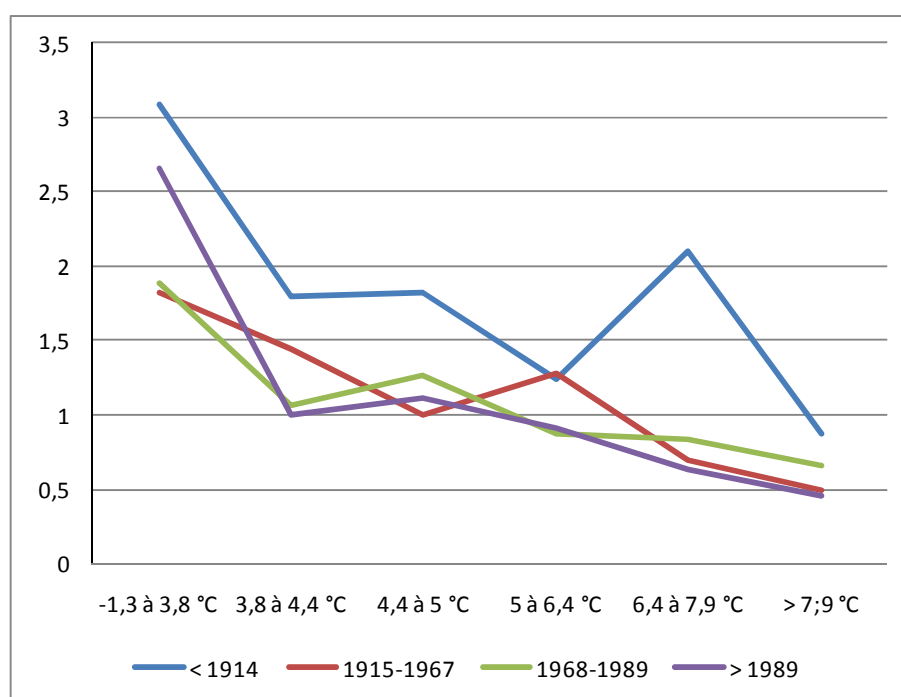


Figure 9. Précarité énergétique selon la date de construction de l'immeuble et la température hivernale

Au total, l'examen par des régressions multiples des facteurs influençant le froid et la précarité énergétique montre que ces deux variables ne dépendent pas des mêmes déterminants.

3.3 Les propriétaires en maisons individuelles

3.3.1 La sélection des variables

Pour les ménages propriétaires du logement individuel qu'ils occupent, les variables candidates pour expliquer le froid ressenti sont légèrement différentes de celles des locataires en individuel. Le statut d'occupation du logement et les difficultés à payer le loyer, le type d'immeuble, la localisation au rez-de-chaussée ou au dernier étage ont été supprimés et d'autres variables ont été introduites : le fait d'être accédant à la propriété ou d'avoir des prêts à rembourser, la distance (en temps) entre le logement et le lieu de travail.

La sélection stepwise a conduit à éliminer les variables suivantes :

- revenu du ménage,

- nombre de personnes,
- chômage,

Les variables retenues sont, pour l'essentiel, les mêmes que pour les locataires en collectif. Cependant, contrairement à cette dernière population, l'indice de peuplement, la surface habitable, l'altitude de la mairie et la position dans le zonage en aires urbaines ont été retenus dans cette sélection. Parmi les nouvelles variables, les accédants à la propriété, l'existence de prêts, la distance des migrations alternantes domicile – travail ont également été retenus.

La sélection séquentielle conduit à retenir les variables suivantes (nous indiquons entre parenthèses le classement obtenu dans le cas des locataires en collectif) :

- 1 L'insonorisation (2),
- 2 L'état du revêtement de la façade (4),
- 3 Les problèmes d'humidité (1)
- 4 Le type de ménage (6),
- 5 Le statut d'accédant à la propriété (locataires : difficulté à payer le loyer : 3),
- 6 Le taux d'effort énergétique (7),
- 7 L'existence d'infiltrations d'eau (12),
- 8 Le mode de chauffage (22),
- 9 La pluviométrie (14),
- 10 L'existence de prêts (/),
- 11 Le diplôme (21),
- 12 L'insolation en janvier (19),
- 13 L'occupation de la personne de référence du ménage (/),
- 14 La surface habitable (/),
- 15 L'indice de peuplement (/),
- 16 L'occupation du conjoint (23),
- 17 La zone climatique (13),
- 18 La température (/),
- 19 L'année de construction de l'immeuble (locataires : en interaction avec la température : 11),
- 20 Le type d'espace selon le zonage en aires urbaines (/),
- 21 La température en interactions avec l'âge de la personne de référence du ménage (8),
- 22 La nationalité de la personne de référence (9),
- 23 Le temps des migrations alternantes domicile – travail (/),
- 24 L'altitude de la mairie (16),
- 25 Le type de commune (20).

La hiérarchie des variables expliquant le froid est assez voisine pour les propriétaires en individuel et pour les locataires en collectif. En particulier, les 6 premières variables sont identiques. Seules quelques variables ont des rangs qui diffèrent fortement, comme le mode de chauffage (8^{ème} rang ici, contre 22^{ème} pour les locataires en collectif) ou la nationalité de la personne de référence (respectivement : 22^{ème} et 9^{ème} rang).

Le pseudo R² est de 0,12 soit une valeur inférieure à celle obtenue pour les locataires d'appartements.

3.3.2 Les variables relatives au logement

Les résultats sont donnés par le tableau 33. Parmi les modes de chauffage, en négligeant l'absence de chauffage (0,36% de l'échantillon), les cuisinières chauffantes et les appareils indépendants occasionnent une probabilité de ressentir le froid supérieure au chauffage central

électrique individuel, qui est la modalité de référence ; les autres modes, en particulier le chauffage central électrique au fioul, ne se différencient pas significativement de la référence.

L'humidité du logement est liée au froid ressenti (+ 78%), mais moins que pour les locataires d'appartements (+95%). A l'inverse, une mauvaise insonorisation et des infiltrations d'eau ont des effets plus accentués sur le froid ressenti par les propriétaires de maisons individuelles que par les locataires d'appartements (infiltrations d'eau : + 56% ici au lieu de + 27% pour les locataires en collectif) et il en est de même de façades avec un revêtement médiocre (+ 49% ici contre + 21%) ou mauvais (+143% au lieu de + 59%). Il apparaît donc que, pour plusieurs variables qui permettent d'apprécier la qualité de l'isolation thermique des logements, la mauvaise qualité de celle-ci rendent les propriétaires de maisons plus sensibles au froid que les locataires d'appartements.

	odds ratios							
	valeur estimée	intervalle de confiance de Wald à 95 %			valeur estimée	intervalle de confiance de Wald à 95 %		
Variables logement				Variables climatiques				
Mode de chauffage	chauffage central électrique			température	référence : 4,2 à 5,5°C			
pas de chauffage	3,497	2,289	5,344	-2,1 à 3,4 °C	1,377	1,143	1,659	
cuisinière chauffante	1,343	1,068	1,689	5,5 à 6,7 °C	0,729	0,56	0,949	
appareils indépendants	1,563	1,328	1,839	6,7 à 7,8°C	0,602	0,453	0,801	
autres	1,519	1,132	2,038	> 7,8 °C	0,586	0,425	0,808	
Année de construction	référence : 1975-1981			température et âge de la PR	référence : < 5,0°C, 45 à 54 ans			
avant 1871	1,385	1,148	1,67	< 5,0°C, > 64 ans	0,622	0,49	0,79	
1915-1967	1,179	1,011	1,375	pluviométrie	référence : 278 à 444 mm			
1968-1974	1,255	1,047	1,503		< 240 mm	1,224	1,03	1,455
Surface habitable	référence : 89-100 m²				240 à 278 mm	1,462	1,277	1,673
	165-200 m²	1,675	1,352	2,076	344 à 445 mm	0,812	0,716	0,921
	> 200 m²	1,614	1,308	1,992	type climatique	référence : océanique dégradé		
Traces d'humidité	référence : non			méditerranée altéré	1,347	1,004	1,806	
oui	1,781	1,613	1,966	océanique franc	1,47	1,244	1,737	
Insonorisation	référence : moyenne			Insolation en janvier	référence : 70 à 80 h			
bonne	0,725	0,657	0,799	60 à 70 h	0,734	0,632	0,852	
médiocre	1,872	1,623	2,159	Variables ménage				
infiltrations d'eau	référence : non			Indice de peuplement	référence : normal			
oui	1,563	1,378	1,773	sous-peuplement prononcé	0,765	0,655	0,894	
état revêtement de la façade	référence : moyen			sous-peuplement très accentué	0,728	0,617	0,859	
	comme neuf	0,679	0,598	0,771	sur-peuplement accentué	2,663	1,424	4,98
	bon	0,769	0,693	0,853	Taux d'effort énergétique	référence : Q1 à médiane		
médiocre	1,485	1,303	1,691	C5 à D1		0,724	0,564	0,931
mauvais	2,429	1,754	3,364	Q2 à Q3		1,266	1,117	1,434
Variables espace			Q3 à D9	1,644		1,431	1,89	
situation dans le ZAUER	référence : pôles urbains			D9 à C95		1,751	1,448	2,116
commune multipolarisée	0,661	0,506	0,863	> C95	2,162	1,806	2,588	
pôles d'emploi ruraux	0,518	0,281	0,956	Diplôme de la personne de réf.	référence : bac			
Reste de l'espace rural	0,767	0,593	0,992	2ème-3ème cycle universitaire	1,51	1,27	1,796	
Dsistance de migrations alternantes	référence : 0 minute			Type de ménage	référence : homme + femme actifs			
11,6 à 20,3 mn	1,496	1,15	1,946	femme + enfants	1,77	1,286	2,437	
29,5 à 38,9 mn	1,47	1,116	1,936	nationalité de la personne de réf.	référence : français			
Altitude de la mairie	référence : 50 à 100 m			sud de la Méditerranée	2,03	1,317	3,13	
	1,196	1,034	1,383	Occupation de la personne de réf.	référence : occupe un emploi			
				eétudiant	6,136	1,909	19,717	
				Occupation du conjoint	référence : occupe un emploi			
				chômeur	1,47	1,182	1,827	
				Accédants à la propriété	référence : non			
				oui	1,458	1,265	1,681	
				Prêts en cours	référence : non			
				oui	1,38	1,222	1,558	

Tableau 33. Odds ratios, propriétaires en maisons individuelles

La surface habitable joue un rôle significatif, mais uniquement pour les très grandes maisons : plus de 165 m². L'année de construction est sélectionnée comme variable autonome, alors qu'elle intervenait en interactions avec la température dans le cas des

locataires d'appartements. Par rapport aux maisons construites entre 1975 et 1981, la plupart des plus anciennes exposent davantage leurs propriétaires occupants au risque de ressentir le froid : + 39% pour les maisons les plus anciennes (construites avant 1971), + 18% pour celles construites entre 1915 et 1967 et + 26% lorsqu'elles ont été construites entre 1968 et 1974. L'exception concerne les maisons construites entre 1871 et 1914, qui ne se différencient pas de la référence (tout comme les maisons les plus récentes).

3.3.3 Les variables relatives au ménage

L'âge de la PR n'explique la probabilité d'avoir froid que pour les personnes de plus de 80 ans, et cet effet est un peu moins prononcé que chez les locataires d'appartements. Il est vrai que les jeunes ménages sont plus rares parmi les propriétaires que parmi les locataires : ils ne sont pas là pour se plaindre. Parmi les autres caractéristiques des ménages, les femmes avec enfant(s), peu fréquentes il est vrai (6,4% de l'échantillon) ont une probabilité plus grande (+ 77%) d'avoir froid que les couples biactifs, qui sont la modalité de référence. Notons également que les titulaires d'un diplôme de 2^{ème} ou 3^{ème} cycle universitaire ressentent plus souvent le froid que les bacheliers (valeur estimée du point de 1,51). Les personnes de référence étudiantes, ou originaires du sud de la Méditerranée sont rares dans l'échantillon, ce qui conduit à ne pas accorder trop d'importance au paramètre estimé.

Parmi les variables économiques expliquant le froid ressenti, le taux d'effort énergétique joue dans le même sens que pour les locataires d'appartements, mais on n'observe pas les mêmes ruptures, comme le montre la figure 10. En laissant de côté les 5% pour qui ce taux d'effort est le plus faible, il progresse assez régulièrement, avec des points estimés allant de 0,72 (de C5 à D1) à 2,2 (supérieur à C95).

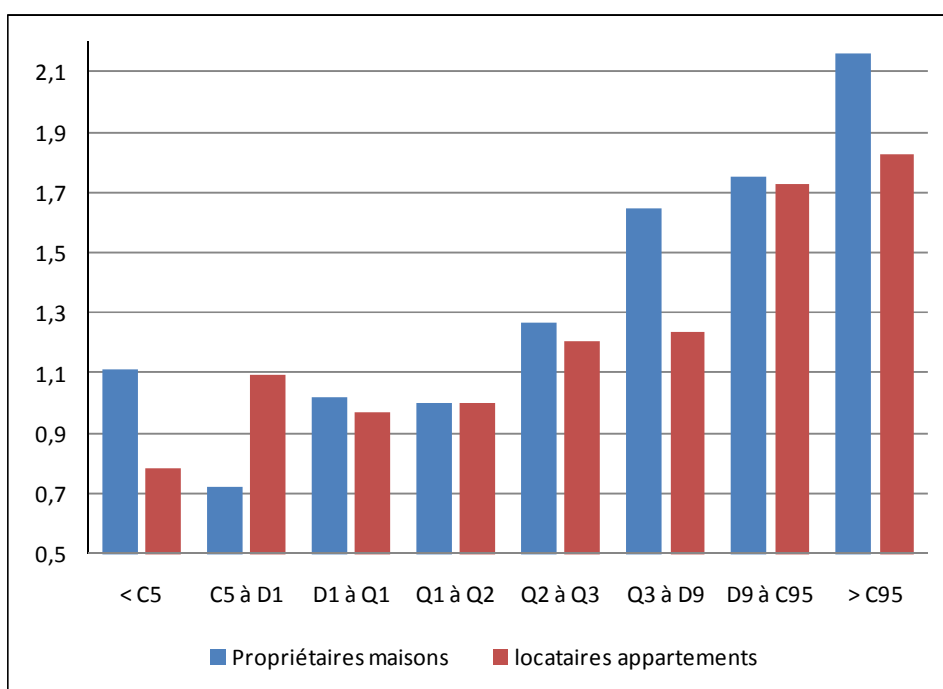


Figure 10. Effet du taux d'effort énergétique sur la probabilité d'avoir froid

Les appartements sous-peuplés sont moins exposés au froid que ceux dont le peuplement est normal, alors qu'un fort surpeuplement accentue la fréquence du froid ressenti (valeur estimée : 2,67).

Alors que les locataires d'appartements ayant des difficultés à payer leur loyer avaient plus souvent froid que les autres (+46%), ce sont ici tous les ménages accédants ou ayant des prêts

en cours qui ressentent plus fréquemment le froid (+ 46% et + 38% respectivement), qu'ils aient ou non des difficultés à honorer leurs remboursements.

3.3.4 Les variables climatiques

L'effet de la température sur le froid ressenti joue dans le même sens pour les propriétaires de maisons et les locataires d'appartements, mais avec des différences sensibles pour les températures extrêmes. La sensation de froid est plus fréquente pour les propriétaires de maisons que pour les locataires d'appartements lorsque les hivers sont très froids (+ 38% contre + 4%), et elle l'est également plus dans le cas d'hivers doux (respectivement : – 41% et – 67%). Pour les températures intermédiaires, les odds ratios estimés sont assez voisins. La figure 11 illustre ces résultats.

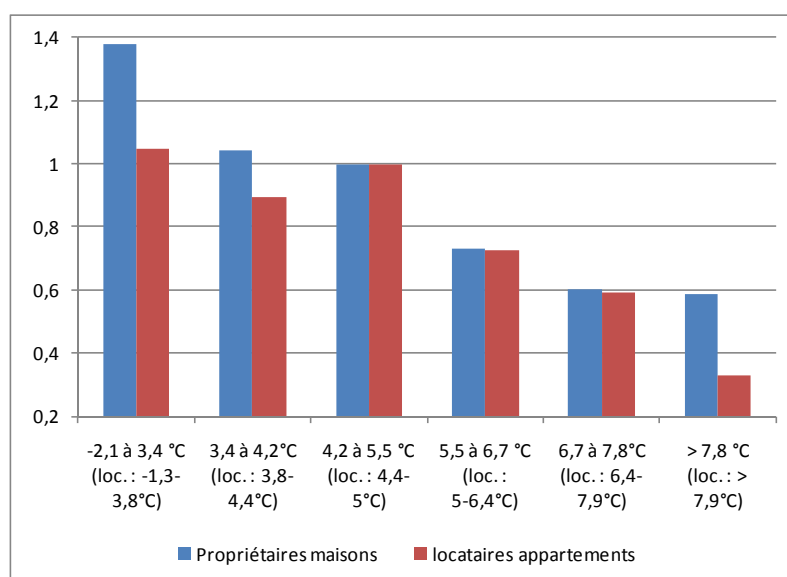


Figure 11. Effet de la température sur le froid ressenti

La pluviométrie joue un rôle plus important pour les propriétaires de maisons que pour les locataires d'appartements, comme le montre la figure 12.

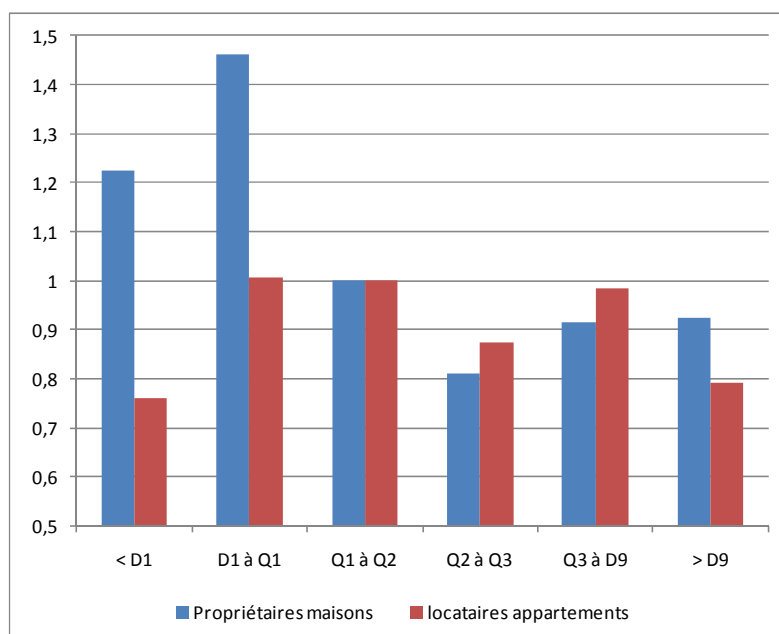


Figure 12. Effet de la pluviométrie sur le froid ressenti

Dans les régions où il pleut peu (moins de 278 mm en moyenne au cours des mois de novembre à mars), le froid est beaucoup plus souvent ressenti par les propriétaires de maisons que dans la référence (278-444 mm). L'effet était de sens inverse pour les locataires d'appartements. Cet effet de la pluviométrie se cumule probablement à celui de l'insolation en janvier : lorsqu'elle est plus faible que la référence le froid est moins ressenti.

Notons enfin que des variables spatiales candidates à l'explication du froid ressenti ont été retenues par la procédure stepwise : la sensation de froid est plus fréquente au bord de la mer (altitude nulle) et elle l'est moins dans les communes multi polarisées, les pôles d'emploi ruraux et le reste de l'espace à dominante rurale que dans les pôles urbains. La distance de migrations alternantes est également retenue : les ménages qui navettent assez loin (11 à 20 minutes de trajet et 30 à 39 mn) ressentent le froid nettement plus souvent que ceux des pôles urbains (respectivement : + 50 et + 47%).

3.3.5 Précarité énergétique et sensation de froid

Comme dans le cas des locataires d'appartements, une régression a été faite pour analyser les déterminants de la précarité énergétique (plus de 10% du revenu consacré à la dépense énergétique) et les comparer à ceux du froid ressenti.

Le tableau 34 montre que, sur les 7 premières variables retenues pour expliquer le froid, trois seulement sont retenues dans l'équation expliquant la précarité énergétique, au 4^{ème} (type de ménage), 13^{ème} et 21^{ème} rangs. Inversement, sur les 3 variables retenues en premier dans la régression sur la précarité, le revenu du ménage, la température en interaction avec le mode de chauffage et la surface habitable du logement seule la troisième est retenue, au 14^{ème} rang, dans la procédure stepwise sur le froid. Comme dans le cas des locataires d'appartements, il y a une très mauvaise correspondance entre les deux variables expliquées.

Parmi les caractéristiques du logement, retenons que, comme pour les locataires d'appartements, les ménages habitant de petites maisons sont moins souvent en situation de précarité énergétique que ceux des maisons plus vastes : le rapport est de 1 à 2 entre celles de moins de 63 m² et la référence (89 à 100 m²) et de 2 à 1 entre celles de 165 à 200 m² et cette même référence, et même de 4 à 1 lorsque les maisons ont plus de 200 m². L'effet de la taille des maisons est donc considérable dans l'explication de la précarité énergétique, alors qu'il est moins significatif dans celle du froid (l'odd ratio estimé est de 1,67 pour les maisons de 165 à 200 m² et de 1,61 pour celles de plus de 200 m²).

En ce qui concerne le mode de chauffage, nous avons vu que le froid était plus souvent ressenti dans les maisons chauffées par des cuisinières ou des appareils indépendants, alors que ces modes de chauffage réduisent la précarité énergétique (les odds ratios sont, respectivement, de 0,34 et 0,64). Le chauffage central individuel au fioul, qui ne se différencie pas du chauffage individuel électrique dans l'équation sur le froid, entraîne un risque de précarité énergétique plus fréquent (valeur estimée du rapport de cote : 1,85). D'autres variables jouent également des rôles inversés dans les deux estimations. L'année de construction de l'immeuble ne se différencie de la référence (1975-1981) que pour les maisons construites après 2000 (rapport de cote : 0,56), alors que les maisons anciennes étaient plus génératrices de froid et que les plus récentes ne se différenciaient pas de la référence.

Il n'y a, comme pour les locataires d'appartements, que peu de variables relatives au logement qui jouent dans le même sens dans les deux équations : l'humidité peut être mentionnée

En ce qui concerne les variables caractérisant le ménage, on retrouve la même opposition entre les deux variables expliquées. A partir de 55 ans les ménages risquent davantage d’être énergétiquement précaires, alors que la sensibilité au froid n'excède celle des ménages de référence qu’au-delà de 80 ans.

	rang dans la sélection	
	avoir froid	précarité
Insonorisation	1	21
Etat du revêtement de la façade	2	/
Problèmes d’humidité	3	13
Type de ménage	4	4
Accédants	5	/
Taux d’effort énergétique	6	/
Existence d’infiltrations d’eau	7	/
Mode de chauffage	8	11
Pluviométrie	9	/
Existence de prêts	10	5
Diplôme de la personne de référence du ménage	11	18
Nombre d’heures d’insolation en hiver	12	20
Occupation de la personne de référence	13	/
Surface habitable	14	3
Peuplement	15	15
Occupation du conjoint	16	9
Zone climatique	17	6
Température	18	7
Année de construction de l'immeuble	19	17
Type d'espace	20	8
Température * âge de la PR	21	/
Nationalité de la personne de référence	22	/
Temps de migrations alternantes	23	16
Altitude de la mairie de la commune	24	/
Type de commune (ville centre, banlieue, rural)	25	/
Revenu du ménage	/	1
Température * mode de chauffage	/	
Nombre de jours < - 5°C	/	10
âge de la personne de référence	/	12
Nombre de personnes	/	14
Population de la commune	/	19

Tableau 34. Comparaison des sélections stepwise

La température joue le rôle attendu sur la précarité énergétique, qui est deux fois plus fréquente que la référence dans les régions aux hivers les plus froids et 40% moins fréquente là où ils sont les plus doux. En revanche, la pluviométrie qui était un déterminant de la sensation de froid n’est pas retenue comme variable expliquant la précarité énergétique par la sélection stepwise.

Finalement, comme pour les locataires d’appartements, la sensation de froid et la situation de précarité énergétique n’obéissent pas aux mêmes déterminants.

3.4 Les propriétaires d'appartements et les locataires de maisons individuelles

Le tableau 35 indique les résultats pour les locataires de maisons individuelles. Le R^2 , égal à 0,18, est à peu près le même que pour les locataires d'appartements mais le nombre de variables retenues et celui de modalités significatives est inférieur.

	valeur estimée	intervalle de confiance de Wald à 95 %			valeur estimée	intervalle de confiance de Wald à 95 %	
Variables logement				Variables ménage			
Traces d'humidité	référence: non			Type de ménage	référence : homme + femme actifs		
oui	1,923	1,686	2,193	femme seule	1,578	1,201	2,073
chauffage central collectif	1,15	1,032	1,281	femme + enfants	1,411	1,111	1,79
Insonorisation	référence: moyenne			homme seul	1,348	1,042	1,743
bonne	0,693	0,592	0,811	homme + enfants	2,286	1,415	3,694
médiocre	1,869	1,598	2,187	Difficulté à payer le loyer	référence : non		
état revêtement de la façade :	référence : moyen			oui	1,493	1,263	1,765
médiocre	1,322	1,118	1,564	âge de la personne de référe	référence : 44 à 44 ans		
Surface habitable	référence : 89-100 m²			45-49 ans	0,77	0,595	0,996
< 44 m²	1,791	1,322	2,427	50-54 ans	0,728	0,552	0,961
100-120 m²	1,041	0,852	1,272	55-59 ans	0,651	0,477	0,887
120-150 m²	1,492	1,177	1,893	65-69 ans	0,557	0,331	0,936
> 150 m²	1,37	1,027	1,827	75-79 nas	0,507	0,291	0,88
Variables climatiques				80-84 ans	0,234	0,116	0,474
température	référence : 4,3 à 5,6°C			> 84 ans	0,401	0,196	0,823
-2,1 à 3,6	0,715	0,546	0,937	Statut d'occupation du logen	référence : secteur libre		
3,6 à 4,3	0,799	0,641	0,995	HLM conventionné	1,478	1,184	1,845
5,6 à 6,8	0,623	0,419	0,925	HLM non conventionné	1,754	1,19	2,585
6,8 à 7,8	0,557	0,362	0,856	loi de 1948	1,822	1,443	2,301
> 7,8	0,37	0,228	0,601	social divers	1,881	1,456	2,43
nombre de jours à < - 5°C	référence : 4,4 à 5,7			sous-location, divers	0,966	0,588	1,589
< 2,2	1,403	1,056	1,863	Revenu du ménage	référence : Q1 à Q2		
> 15,4	1,385	1,021	1,878	D9 à C95	1,622	1,154	2,281
Température et date constr	référence : < 5°C, 1915-1967			> C95	1,595	1,099	2,314
>5°C, < 1914	1,87	1,109	3,151	Taux d'effort énergétique	référence : Q1 à médiane		
> 5°, 1915-1967	2,045	1,247	3,351	<C5	0,63	0,449	0,883
> 5°C, 1968-1989	1,69	1,03	2,773	D1 à Q1	0,786	0,627	0,985
pluviométrie	référence : 278 à 344 mm			Q2 à Q3	1,208	1,005	1,452
240 à 278 mm	1,377	1,115	1,702	Q3 à D9	1,478	1,179	1,851
344 à 432 mm	0,813	0,675	0,979	D9 à C95	1,531	1,102	2,126
type climatique	référence : océanique dégradé			> C95	1,576	1,092	2,276
méditerranée altéré	1,533	1,15	2,043	Variables espace			
méditerranéen franc	1,901	1,529	2,363	Type de commune	référence : 1		
Insolation en janvier	référence : 70 à 80 h			0	1,189	1,015	1,393
60 à 70 h	0,743	0,598	0,923	2	1,229	1,049	1,44

Tableau 35. Résultats : locataires en maisons individuelles

Concernant les caractéristiques du logement, la surface habitable apparaît, comme pour les propriétaires de maisons individuelles, avec non seulement un froid plus fréquemment ressenti dans les grands logements mais aussi dans les plus petits (moins de 44 m²). Le mode de chauffage n'est pas retenu.

La température exerce un effet non linéaire, les températures hivernales moyennes (4,3 à 5,6°C) étant celles qui exposent le plus les ménages au froid (mais il faut tenir compte de ce que, comme pour les locataires d'appartements, les zones climatiques chaudes proches de la Méditerranée présentent un risque accru de ressentir le froid, de même que les températures supérieures à 5°C en interaction avec la date de construction).

Le taux d'effort énergétique a un effet comparable à celui obtenu pour les locataires d'appartements. Plus généralement, pour les modalités significatives des variables retenues, les paramètres sont assez proches de ceux de la régression des locataires d'appartements.

Le tableau 36 indique les résultats pour les propriétaires d'appartements. Le pseudo R^2 n'est que de 0,10, et le nombre de variables significatives et leurs modalités est plus faible encore que pour les locataires de maisons.

	odds ratios		
	valeur estimée	intervalle de confiance de Wald à 95 %	
Variables logement			
Mode de chauffage	chauffage central électrique		
chauffage central urbain	1,618	1,084	2,414
chauffage central collectif	1,943	1,512	2,497
appareils indépendants	1,788	1,228	2,604
Année de construction	référence : 1975-1981		
avant 1871	1,673	1,094	2,56
1990-1999	1,469	0,984	2,194
Insonorisation	référence: moyenne		
bonne	0,711	0,594	0,85
médiocre	1,552	1,292	1,864
infiltrations d'eau	référence : non		
oui	1,418	1,096	1,834
état revêtement de la façade	référence : moyen		
comme neuf	0,697	0,559	0,87
bon	0,795	0,667	0,949
localisation au rez-de-chaussé	référence : non		
oui	1,309	1,055	1,624
localisation au dernier étage	référence : non		
oui	1,504	1,264	1,789
Traces d'humidité	référence: non		
oui	1,851	1,509	2,271
Exposition du logement	référence: sud		
inconnue	0,775	0,63	0,953
Variables climatiques			
pluviométrie	référence : 240 à 290 mm		
290 à 380 mm	0,544	0,435	0,68
Variables ménage			
âge de la personne de réf.	référence : 40-44 ans		
25 à 29 ans	1,898	1,274	2,828
80 à 84 ans	0,514	0,317	0,834
nationalité de la personne de réf.	référence : français		
sud de la Méditerranée	2,762	1,686	4,522
autre européen	2,199	1,132	4,269
Occupation du conjoint	référence : occupe un emploi		
chômeur	1,978	1,253	3,122
pas de conjoint	1,368	1,125	1,664

Tableau 36. Résultats : propriétaires d'appartements

Le chauffage central urbain et le chauffage collectif accroissent fortement l'exposition au froid (valeurs estimées de 1,6 et 1,9). D'autres variables relatives au logement ont des effets significatifs qui vont dans le même sens que pour les deux régressions principales : traces d'humidité (toujours très influente), insonorisation, infiltrations d'eau, état du revêtement de la façade, localisation au rez-de-chaussée ou au dernier étage de l'immeuble.

Pour ce segment de marché, le climat n'intervient presque pas dans l'explication du froid ressenti : seule la pluviométrie, pour une seule modalité, est retenue par la sélection pas-à-pas.

Enfin, même si cela ne concerne que deux modalités, la relation entre l'âge de la personne de référence et la sensation de froid va dans le même sens que précédemment : ce sont des personnes jeunes qui ont fréquemment froid (valeur estimée de 1,9 pour les 25 à 29 ans) et les plus âgées qui ont rarement froid (valeur estimée de 0,5 pour les 80 à 84 ans).

Au total, les régressions faites sur ces deux sous-ensembles des locataires de maisons et des propriétaires d'appartements ne contredisent pas les résultats précédents et, pour les modalités retenues des variables significatives, les résultats vont dans le même sens.

3.5 Conclusions

L'exposition au froid, ou vulnérabilité énergétique (question : « avez-vous eu froid l'hiver dernier ? »), permet une approche du bien-être subjectif qui complète l'analyse objective de la précarité énergétique (l'énergie pèse plus de 10% du budget du ménage). Le lien entre ces deux variables apparaît au niveau de statistiques descriptives, mais il n'est pas très fort (40% des ménages en situation de précarité énergétique ne sont pas vulnérables au froid) et il disparaît dans des régressions multiples, qui montrent que ce ne sont pas les mêmes variables qui « expliquent » les deux situations, objective et subjective. Cette conclusion peut interroger les autorités en charge des politiques sociales ou les organismes sociaux ou caritatifs : la cible est-elle définie par des critères économiques assez simples à objectiver (rapport de la facture énergétique au revenu) ou par le ressenti déclaratif, plus difficile à obtenir ou à mesurer mais qui, si on suit les recommandations de Stiglitz et al. (2010) n'est pas moins important.

La précarité ayant déjà été étudiée, en particulier par l'exploitation de la dernière enquête Logement de l'INSEE (Pelletier et al., 2009), nous nous sommes intéressés dans ce chapitre à la vulnérabilité énergétique, en utilisant également les enquêtes Logement de l'INSEE (1996 à 2002) comme source statistique.

Plusieurs conclusions ressortent nettement de cet examen. Le lien entre le revenu du ménage et l'exposition au froid est ténu dans les statistiques descriptives (la proportion de ménages aisés ayant froid est inférieure à la moyenne mais elle n'est pas négligeable) et il disparaît dans les estimations économétriques. Les locataires qui ont du mal à payer leur loyer, de même que les accédants à la propriété et les autres propriétaires ayant des prêts en cours sont souvent vulnérables au froid, ce qui peut s'interpréter par des économies de chauffage du fait de budgets serrés.

Des variables démographiques (qui peuvent être liées à des variables économiques) jouent des rôles bien plus importants. Au premier rang l'âge de la personne de référence : les jeunes se plaignent fréquemment du froid, les aînés rarement. Les familles monoparentales, surtout avec enfants, ont froid plus souvent que les autres types de familles. Les chômeurs ont, eux aussi, souvent froid, peut-être parce que leur revenu est inférieur à celui des actifs, peut-être parce qu'ils passent plus de temps dans leur logement.

Le statut d'occupation pour les locataires influence également l'exposition au froid, qui est supérieure dans les HLM et le secteur social (alors que la précarité énergétique est inférieure à la moyenne pour ces statuts d'occupation).

En se tournant vers les caractéristiques du logement, sa taille n'est presque pas liée à l'exposition au froid ; tout au plus relève-t-on une surreprésentation du froid ressenti dans certains logements très grands. Le mode de chauffage joue un faible rôle. Dans les maisons, tout ce qui n'est pas chauffage central expose au froid ; dans les appartements, le chauffage central au fioul réduit ce risque d'exposition, mais il accroît la précarité énergétique. L'état général du logement joue un rôle important, qui transparaît dans des variables qui sont directement ou indirectement liées à la qualité de l'isolation thermique : humidité, infiltrations d'eau, présence ou absence de double-vitrage, existence de fissures, d'étanchéité des portes de fenêtres, état du revêtement de la façade, etc. La date de construction de l'immeuble pourrait être une variable synthétique prenant en compte toutes ces caractéristiques : les locataires d'appartements sont 10% de plus que la référence à avoir froid dans des immeubles d'avant 1914 et ils sont deux fois moins nombreux dans les logements les plus récents. Les propriétaires de maisons d'avant 1914 sont 30% plus nombreux à ressentir le froid et ceux de maisons récentes 20% moins nombreux. Cependant, ces effets moyens se modulent différemment selon la rigueur de l'hiver, comme nous allons le voir. Pour les appartements, sa situation dans l'immeuble doit également être prise en compte : rez-de-chaussée, dernier étage, exposition de la pièce principale, caractéristiques qui jouent dans le sens attendu.

Le climat, saisi ici par la température et la pluviométrie de novembre à mars, influence également l'exposition des ménages au froid. L'effet de la température s'exerce dans le sens attendu. Mais en examinant son action combinée avec celle de la date de construction de l'immeuble, on montre que les appartements d'immeubles anciens sont particulièrement bien protégés contre les hivers les plus rigoureux, alors que les immeubles récents le sont moins. Inversement, lorsque les hivers sont cléments, c'est dans les vieux immeubles que les ménages risquent de souffrir du froid un peu plus fréquemment que dans les immeubles récents.

L'étude des relations entre le climat et la vulnérabilité au froid mériterait d'être poursuivie, car d'autres variables interagissent avec la température et la pluviométrie, qui sont nos indicateurs essentiels : les climats méditerranéens (franc ou altéré) exposent plus au froid que les autres à autres variables climatiques égales d'ailleurs, l'insolation en janvier est négativement liée au froid ressenti, etc. Pour cela, il faudrait aller au-delà de la sélection stepwise des variables, que nous avons retenue car elle permettait de trier les variables explicatives selon une méthode objective, mais qui présente l'inconvénient de ne reposer que sur un critère statistique.

4. Analyse factorielle multiple

Nous présentons ici une analyse synthétique des facteurs qui expliquent la sensation de froid dans le logement à partir d'une analyse factorielle multiple.

4.1 Les variables

Une analyse factorielle a été faite sur d'une part les propriétaires de maisons individuelles, d'autre part les locataires d'appartements. Pour caractériser ces 2 populations, nous avons retenu trois groupes de variables. Certaines d'entre elles sont liées (la précarité est liée au revenu, le nombre d'unités de consommation aux nombre de personnes et à la typologie du

ménage...). Celles qui participent à la construction des axes factoriels sont en italiques, les variables traitées en supplémentaires sont en police romaine :

- Les variables concernant le ménage : le *revenu*, la part du l'énergie dans les dépenses, *l'âge de la personne de référence*, la typologie du ménage (« femme seule », « femme + enfants », « homme actif + femme active »...), le *diplôme de la personne de référence*, *l'occupation de la personne de référence* (« occupe un emploi », « chômeur »...), la précarité, le *nombre d'unités de consommation*, le nombre de personnes, le fait d'avoir eu froid au cours des 12 derniers mois.
- Les variables attachées au logement : le *mode de chauffage* (« électrique », « chauffage central individuel »,...), *l'année de construction*, la *surface*, *l'existence de problème d'humidité*, le fait d'être au *rez-de-chaussée*, au *dernier étage*, le *confort* (selon l'eau courante, les WC, les douches), *l'exposition*, *l'état du revêtement*, l'indice de peuplement, le fait d'être en *HLM*.
- Les variables d'environnement, attachés à la commune : la *température en hiver*, le *nombre de jours froids*, la typologie climatique, la *pluviométrie*, le *nombre de jours d'insolation*, *l'altitude de la mairie*, la *population*, le zonage en aires urbaines et aire d'emploi de l'espace rural.

Certaines variables n'ont pas le même rôle pour les propriétaires de maisons et les locataires d'appartements : la localisation dans les modalités du ZAUER sera active dans l'étude consacrée aux propriétaires de logements individuels, contrairement aux locataires d'appartements, qui sont trop concentrés dans les pôles urbains (environ 90%) pour permettre d'intégrer les modalités du ZAUER.

D'autres variables n'ont pas de sens lorsqu'on s'intéresse aux maisons (rez-de-chaussée, dernier étage) et ne sont donc pas intégrées dans l'analyse des propriétaires de maisons individuelles.

Les variables numériques (température...) ont été découpées selon des quantiles du champ d'étude :

- . [minimum ; D1[(soit : 10 % des logements)
- . [D1 ; Q1[(soit : 15 % des logements)
- . [Q1 ; Q2[etc.
- . [Q2 ; Q3[
- . [Q3 ; D9[
- . [D9 ; maximum[

Les variables ainsi construites sont suffixées par leur numéro de classe : par exemple, « pluie1 » correspond aux observations comprises entre le minimum et D1 pour le montant des précipitations. Il y a donc 6 indicatrices de classe pour les variables numériques mises en classe (« pluie1 », « pluie2 », ..., « pluie6 » pour la pluviométrie).

Groupe	Variable de base	Indicatrices utilisées dans l'analyse factorielle	Signification de l'indicatrice
Ménage	Revenu	Rev1, rev2, rev3, rev4, rev5, rev6 *	Classes interquantiles de revenu
	Age de la personne de référence	Age1, age2, age3 age4, age5, age6	idem
	Diplôme de la personne de référence	.Dip_2cyc .dip_1cyc .dip_bac .dip_cap .dip_bepc .dip_	.Diplôme de 2 ^{ème} ou 3 ^{ème} cycle .diplôme de 1 ^{er} cycle .Bac ou niveau bac . cap, bep ou même niveau . bepc . bep ou sans diplôme
	Occupation de la personne de référence	.occup1 .occup2 .occup3 . occup45	.occupe un emploi .chômeur .retraité . femme au foyer ou autre
	Nombre d'unités de consommation	Uc2, uc3, uc4, uc5, uc6 **	Classes interquantiles d'unité de consommation
	Typologie du ménage	.Men_f .men_fe .men_hf .men_hf_ .men_h_f_ .men_h .men_he . men_	.une femme seule . une femme + enfant (s) . une femme + un homme travaillant tous les deux . une femme ne travaillant pas + un homme travaillant . une femme + un homme, aucun des deux ne travaillant .un homme seul . un homme + enfant (s) . autre ménage
Ménage (suite)	Part de l'énergie dans les dépenses	Energie1 à energie6	Classes interquantiles de la part de l'énergie
	précarité	.precair1 . precair0	.est précaire . n'est pas précaire
	Nombre de personnes du ménage	.Pers1 .Pers2 .Pers3 .Pers4 .Pers5 .Pers6 . Pers9	.une personne .deux personnes .trois personnes .quatre personnes .cinq personnes .six personnes . plus de six personnes
	Fait d'avoir eu froid au cours des 12 derniers mois	.froid_oui .froid_non . froid_999	. a eu froid au cours des 12 derniers mois . n'a pas eu froid . sans objet : a emménagé au cours des 12 derniers mois
Logement	Mode de chauffage	.chau_elec . chau_mazo . chau_autr	.chauffage électrique individuel .chauffage central individuel . autre (pas de chauffage, appareil indépendant, cuisinière chauffante...)
	Année de construction de l'immeuble	.ct1 .ct2 .ct3 .ct4 .ct5 .ct6 .ct7	.avant 1914 .entre 1915 et 1948 .entre 1949 et 1961 .entre 1962 et 1967 .entre 1968 et 1974 .entre 1975 et 1981 .entre 1982 et 1989

		.ct8 .ct9	.entre 1990 et 1998 .après 1999
	Surface habitable	Surf1 à surf6	Classes interquantiles de la surface
	Existence de problèmes d'humidité	.humid1 .humid0	.oui .non
	Etre au rez-de-chaussée	.rez_1 .rez_0	.oui .non
	Etre au dernier étage	.der_et1 .der_et0	.oui .non
	Confort	.Conf012346 .conf5 .conf7	.peu confortable .confort moyen (petite salle de bain ou douche) .confortable (grande baignoire)
	Exposition de la pièce principale	.expo____ .exposud .expooue .expoest .exponor	.inconnue .sud .ouest .est .nord
	Etat du revêtement de la façade	.rev_bon .rev_neuf .rev_moy .rev_bof	.bon .comme neuf .moyen .médiocre ou mauvais
	Etre en HLM	.Hlm1 .hlm0	.oui .non
Environnement	Précipitations de novembre à mars	Pluie1 à pluie6	Classes interquantiles des précipitations
	Insolation en janvier	Insol1 à insol6	Classes interquantiles de l'insolation
	Altitude	Altitude2 à altitude6***	Classes interquantiles d'altitude
	Température de novembre à mars	Temp1 à temp6	Classes interquantiles de température
	Nombre de jours froids	Jfroid1 à jfroid6	Classes interquantiles de nombre de jours froids
	Population de la commune	Pop1 à pop6	Classes interquantiles de la population
	ZAUER ****	.Pourb .Monop .Multp .Rural .Airr	.pôle urbain .couronne monopolaire .couronne multipolaire .rural .autre aire
	Typologie climatique	.clim1 .clim2 .clim3 .clim4 .clim5 .clim6 .clim7 .clim8 .clim9	.montagne .semi-continental .océanique dégradé .océanique altéré .océanique franc .méditerranéen altéré .bassin sud-ouest .méditerranéen franc .manquant
Classe	Cluster	Classe1 à classe7	Les 7 classes qui ont été créées par la classification mixte

* Les quantiles servant de limites de classes sont : le premier décile (D1), le premier quartile (Q1), la médiane (Q2), le troisième quartile (Q3), le neuvième décile (D9).

** plus de 10% des ménages sont constitués d'une personne seule, donc aucun ménage n'est strictement inférieur à ce seuil. La variable uc1 est donc nulle pour tous les individus-ménages, donc n'est pas incluse dans l'analyse.

*** remarque similaire pour l'altitude.

**** cette variable sera active dans l'étude des propriétaires de maisons individuelles, illustrative dans le cas des locataires en immeubles.

Tableau 37. Les variables et de leur intitulé dans l'analyse factorielle (en italiques les variables actives, en romaines les variables supplémentaires)

4.2 La méthode de l'Analyse Factorielle Multiple

Pour étudier les trois groupes de variables (le ménage, le logement, l'environnement), il est possible de mener trois analyses des correspondances multiples (ACM) sur chacun d'eux séparément, en les illustrant avec, en éléments supplémentaires, les variables des autres groupes.

L'analyse factorielle multiple (AFM) est une méthode traitant simultanément les variables des trois groupes, en tant que variables actives. Elle permet de mettre en évidence des facteurs communs à des variables de différents groupes, sans privilégier la structure d'un des groupes.

Une ACM de l'ensemble des variables des trois groupes donnerait un poids plus important aux variables du groupe possédant la structure la plus forte (1^{ère} valeur propre supérieure aux suivantes) ou ayant le plus grand nombre de variables. Afin de pallier cet inconvénient, l'AFM pondère chaque variable par l'inverse de la première valeur propre de l'ACM séparée du groupe auquel elle appartient. Donc l'AFM comprend deux étapes : une ACM séparée pour chacun des groupes, puis une ACM pondérée de l'ensemble des variables⁴.

4.3 Résultats : les locataires d'appartements

La figure 1 indique la valeur propre et la contribution des axes à l'explication de l'inertie. Une des premières conclusions est que la structure des données n'est pas très forte, que ce soit pour l'analyse globale ou pour les analyses partielles.

L'analyse globale nous amène à conserver 5 axes (20% de l'inertie conservée), après lesquels un net décrochage se produit. Ensuite la décroissance est assez régulière.

⁴ Brigitte Escofier, Jérôme Pagès : « Analyses factorielles simples et multiples, objectifs, méthodes et interprétations », Dunod 1998. Nous avons utilisé les macro-programmes SAS « AFMMULT » et « PLOTAFM » écrits par Brigitte Gelein et Olivier Sautory et remercions les auteurs : <http://www.ensai.com/userfiles/AFMULT%20et%20PLOTAFM%20aout%202010.pdf>

N°	Valeur propre	Diff.	Pct	Pct cumulé	
1	1.53		5.0	5.0	*****
2	1.37	0.16	4.5	9.5	!*****
3	1.22	0.15	4.0	13.6	!*****
4	1.05	0.17	3.5	17.0	!*****
5	1.01	0.04	3.3	20.4	!*****
6	0.80	0.21	2.6	23.0	!*****
7	0.76	0.03	2.5	25.5	!*****
8	0.73	0.03	2.4	27.9	!*****
9	0.68	0.05	2.2	30.2	!*****
10	0.64	0.04	2.1	32.3	!*****
11	0.62	0.02	2.0	34.3	!*****
12	0.57	0.05	1.9	36.2	!*****
13	0.53	0.04	1.7	37.9	!*****
14	0.51	0.01	1.7	39.6	!*****
15	0.50	0.02	1.6	41.2	!*****
16	0.49	0.01	1.6	42.8	!*****
17	0.48	0.01	1.6	44.4	!*****
18	0.46	0.01	1.5	45.9	!*****
19	0.46	0.00	1.5	47.5	!*****
20	0.45	0.01	1.5	49.0	!*****
21	0.44	0.01	1.5	50.4	!*****
22	0.44	0.00	1.5	51.9	!*****
23	0.44	0.01	1.4	53.3	!*****
24	0.43	0.00	1.4	54.8	!*****
25	0.43	0.00	1.4	56.2	!*****
26	0.43	0.00	1.4	57.6	!*****
27	0.43	0.00	1.4	59.0	!*****
28	0.42	0.00	1.4	60.4	!*****
29	0.42	0.00	1.4	61.8	!*****
30	0.42	0.00	1.4	63.2	!*****
31	0.42	0.00	1.4	64.6	!*****
32	0.41	0.00	1.4	65.9	!*****
33	0.41	0.00	1.4	67.3	!*****
34	0.41	0.01	1.3	68.6	!*****
35	0.40	0.00	1.3	69.9	!*****
36	0.40	0.00	1.3	71.3	!*****
37	0.40	0.00	1.3	72.6	!*****
38	0.39	0.00	1.3	73.9	!*****
39	0.39	0.00	1.3	75.1	!*****
40	0.38	0.01	1.3	76.4	!*****
41	0.37	0.01	1.2	77.6	!*****
42	0.37	0.00	1.2	78.8	!*****
43	0.36	0.01	1.2	80.0	!*****
44	0.34	0.02	1.1	81.1	!*****
45	0.33	0.01	1.1	82.2	!*****
46	0.32	0.01	1.1	83.3	!*****
47	0.31	0.01	1.0	84.3	!*****
48	0.30	0.01	1.0	85.3	!*****
49	0.29	0.01	1.0	86.3	!*****
50	0.29	0.01	0.9	87.2	!*****
51	0.28	0.01	0.9	88.1	!*****
52	0.26	0.01	0.9	89.0	!*****
53	0.25	0.01	0.8	89.8	!*****
54	0.25	0.00	0.8	90.7	!*****
55	0.24	0.01	0.8	91.4	!*****
56	0.23	0.01	0.7	92.2	!*****
57	0.22	0.01	0.7	92.9	!*****
58	0.22	0.00	0.7	93.6	!*****
59	0.21	0.01	0.7	94.3	!*****
60	0.21	0.00	0.7	95.0	!*****
61	0.20	0.01	0.6	95.6	!*****
62	0.17	0.03	0.6	96.2	!*****
63	0.17	0.00	0.6	96.8	!*****
64	0.15	0.01	0.5	97.3	!*****
65	0.15	0.01	0.5	97.8	!*****
66	0.14	0.01	0.5	98.2	!*****
67	0.13	0.01	0.4	98.6	!*****
68	0.12	0.01	0.4	99.0	!*****
69	0.11	0.01	0.4	99.4	!*****
70	0.08	0.03	0.3	99.6	!****
71	0.06	0.02	0.2	99.9	!***
72	0.05	0.02	0.1	100.0	!**

Figure 13. Histogramme des valeurs propres pour les locataires (analyse globale)

Tableau résumé des valeurs propres des analyses partielles

groupe	pct1	pct2	pct3	pct4	pct5	pct6	pct7	pct8	pct9	pct10	pct11	pct12	pct13	
n°1 - qual act	11.0	9.5	6.7	5.7	5.5	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7	4.7	4.5	4.4	
n°2 - qual act	8.4	6.1	5.0	4.5	4.2	4.2	4.1	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	
n°3 - qual act	11.4	9.1	7.6	6.6	5.5	5.3	4.6	3.8	3.6	3.6	3.5	3.2	3.1	
n°4 - qual sup	6.1	5.1	4.2	3.9	3.7	3.6	3.3	3.0	3.0	3.0	2.7	2.6	2.6	
groupe	pct14	pct15	pct16	pct17	pct18	pct19	pct20	pct21	pct22	pct23	pct24	pct25	pct26	pct27
n°1 - qual act	4.3	4.2	3.7	3.5	2.9	2.4	1.5	0.9						
n°2 - qual act	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.3	3.3	3.0	2.8	2.5	2.4	2.0	2.0	1.6
n°3 - qual act	3.1	2.9	2.8	2.6	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	1.6	1.5	1.3	1.2	0.7
n°4 - qual sup		2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3
groupe	pct28	pct29	pct30	pct31	pct32	pct33	pct34	pct35	pct36	pct37	pct38	pct39		
n°1 - qual act														
n°2 - qual act	1.3													
n°3 - qual act	0.5													
n°4 - qual sup	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.1		

L'ACM du groupe n°1 (ménage) compte 21 axes⁵ (le 1er axe fait 11.0% de l'inertie de cette ACM), celle du groupe n°2 (logement) compte 28 axes, celle du groupe n°3 (environnement) compte 28 axes aussi, enfin celui du groupe n°4 (variables supplémentaires, quel que soit le groupe d'appartenance originelle) 39 axes.

Tableau 38. Pourcentages d'inertie (analyses partielles)

Une deuxième conclusion est que les groupes ne sont pas très liés entre eux. Les coefficients Rv (compris entre 0 et 1) sont d'autant plus grands que les groupes ont des directions d'inertie importante en commun.

Coefficients RV de liaison entre groupes

Groupe	1	2	3
	4		
n°1 - qual act	1.00	0.06	
	0.01	0.23	
n°2 - qual act	0.06	1.00	
	0.03	0.07	
n°3 - qual act	0.01	0.03	
	1.00	0.27	
n°4 - qual sup	0.23	0.07	
	0.27	1.00	

Tableau 39. Coefficients Rv

En plus des variables initiales, une classification mixte a été faite sur les axes.

Cette classification est constituée de trois étapes :

. Une classification « centres mobiles » sur les individus (les ménages). Un nombre de classes (noté « C ») est fixé a priori, C noyaux (des individus) sont tirés au sort (on peut mettre des contraintes sur ce tirage au sort concernant par exemple l'éloignement entre eux de ces noyaux initiaux, voire indiquer quels noyaux doivent être choisis). On rapproche tous les autres individus de ces noyaux initiaux, constituant ainsi des classes. Le barycentre de chaque classe définit le noyau de l'étape ultérieure. L'affectation des individus est faite par rapport au noyau le plus proche... Les itérations s'arrêtent lorsqu'il n'y a plus de changement de classe.

Cette classification a été faite sur 100 classes. Car son intérêt était d'avoir un nombre restreint d' « individus » (ici des classes) pour la classification ascendante hiérarchique (CAH) qui suit.

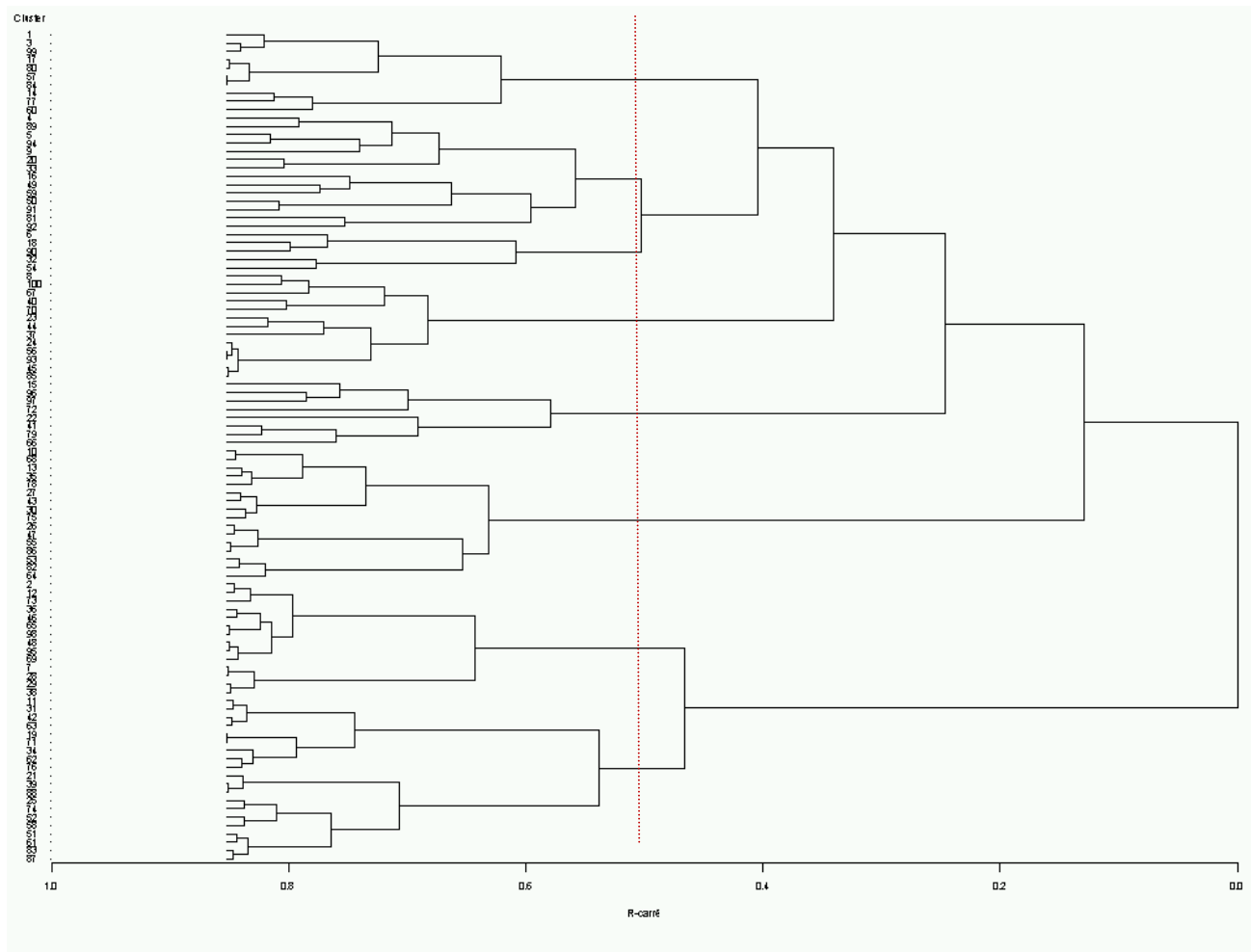
⁵ C'est-à-dire le nombre de modalités indépendantes des 5 variables actives de base : revenu, âge, diplôme, occupation, nombre d'unités de consommation.

. Une CAH sur les 100 classes définies à l'étape précédente. Le critère d'agrégation, le même que celui appliqué précédemment dans la classification « centres mobiles », est celui de minimisation de l'inertie intra (ou critère du saut de Ward, pour la CAH) : à chaque étape de la classification on agrège les deux classes telles que l'inertie intra-classe soit minimale.

L'arbre que la CAH définit permet de décider du nombre de classes à garder.

. Une nouvelle classification « centres mobiles » est faite sur les classes définies précédemment. Cette étape ne peut qu'améliorer (au sens de l'inertie intra) la partition obtenue par la CAH.

Le nombre de classes indiqué par l'allure de l'arbre de classification n'est pas évident, les sauts étant assez réguliers. Sept classes ont été retenues. Cette variable de classe sera projetée sur les axes, en élément supplémentaire donc⁶.

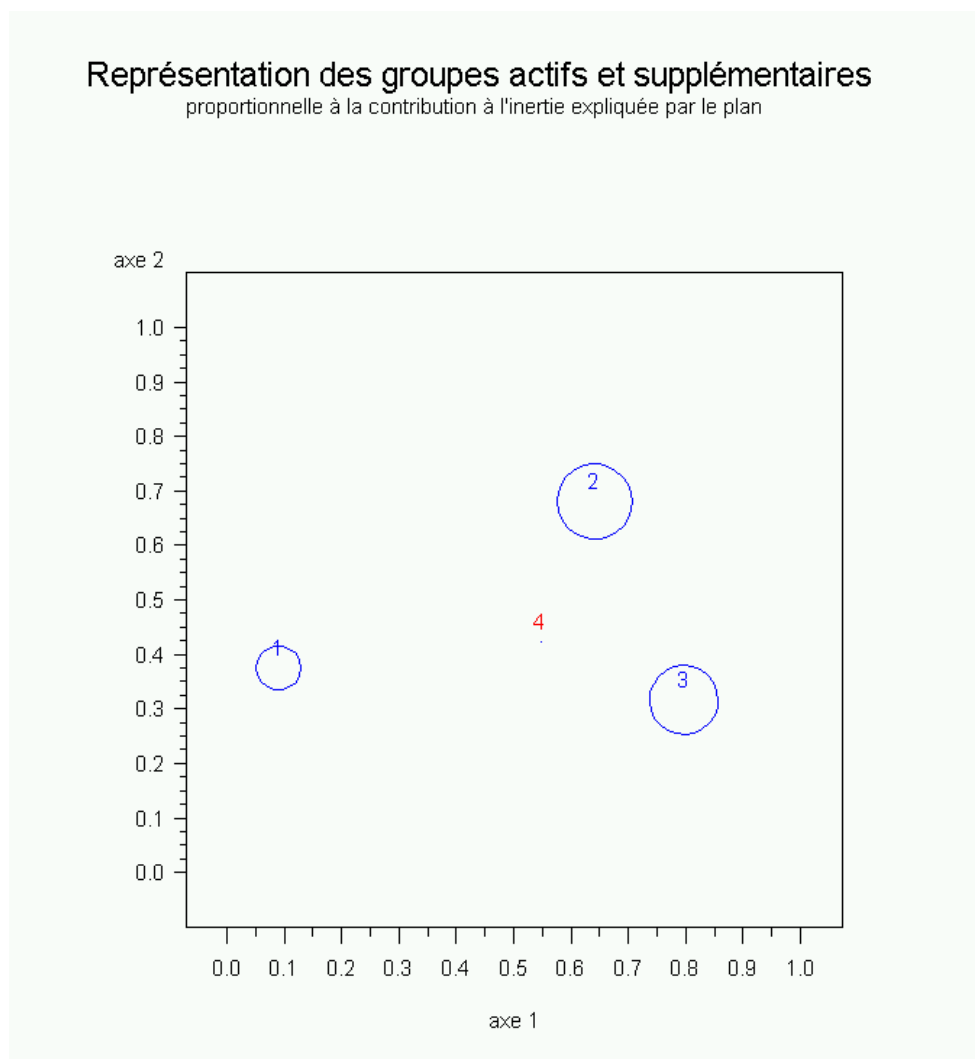


Les 100 classes créées par la classification « centres mobiles » sont sur l'axe des ordonnées (l'ordre est sans importance), l'inertie intra-classe conservée (R^2) se trouve sur l'axe des abscisses. Le regroupement en 7 classes (illustrée par les pointillés rouges) conserve 52.5% de l'inertie intra-classe. Cette inertie sera améliorée par la classification « centres mobiles » (la 3^{ème} étape décrite ci-dessus) qui suit la CAH, puisque l'inertie intra-classe conservée sera de 54.4%. C'est cette dernière étape qui donnera la partition caractérisée ultérieurement.

Figure 14. Arbre de classification

⁶ Les classes projetées sur les axes seront celles déterminées à l'issue de la troisième étape (« centres mobiles »), le nombre de classes étant retenu au vu de l'arbre de classification.

Les trois groupes de variables actives (ménage, logement, environnement) et les variables supplémentaires (en caractères romain dans la section 5.1) ne sont pas aussi bien représentés sur le premier plan :



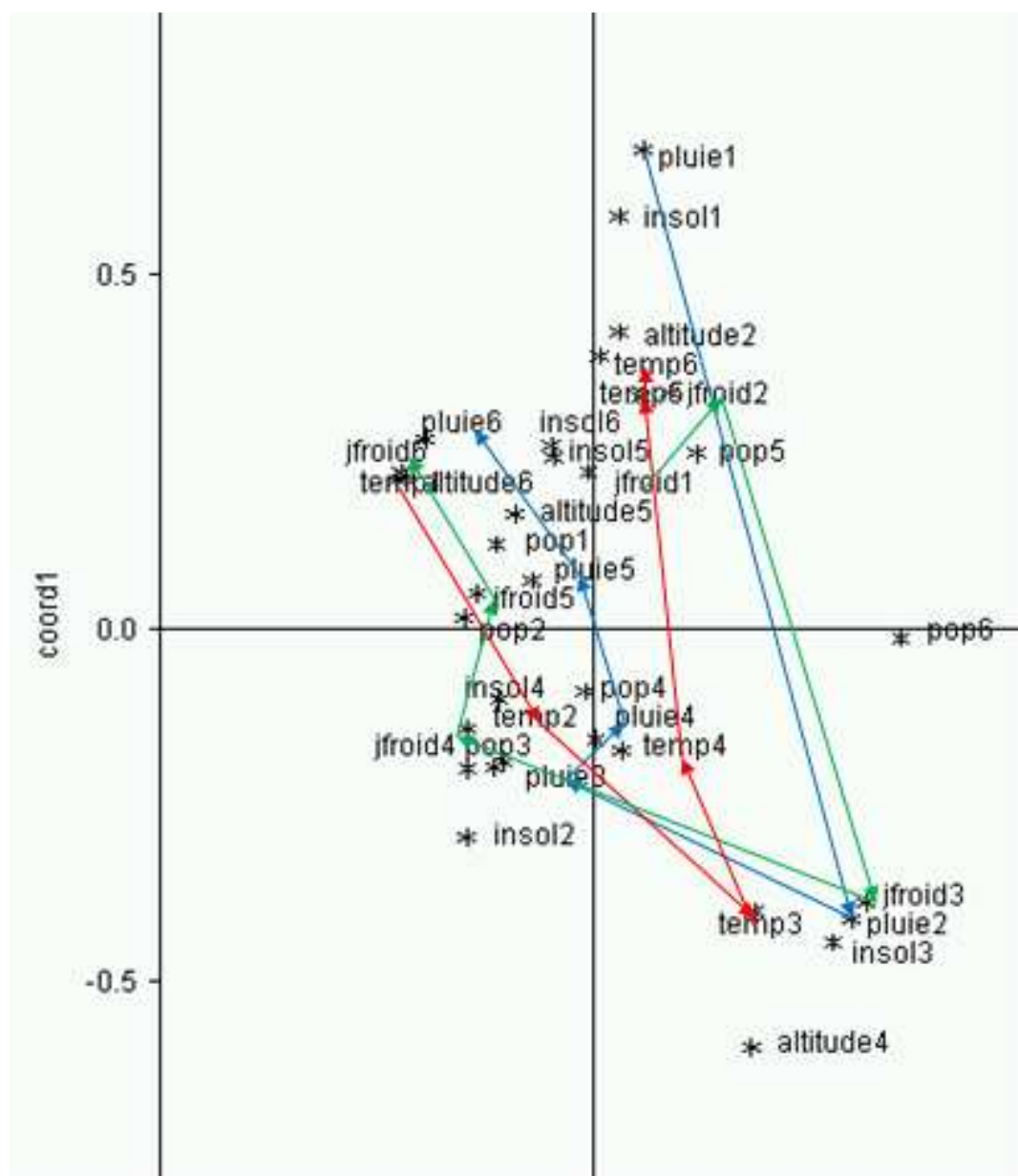
groupe supplémentaire en rouge

Le groupe 1 concerne le ménage, le groupe 2 le logement, le 3 l'environnement et le 4 les variables supplémentaires.
La coordonnée d'un groupe est l'inertie projetée de l'ensemble des variables du groupe pour l'axe. Elle est comprise entre 0 et 1. La somme des coordonnées des groupes actifs sur l'axe égale l'inertie de l'axe égale la valeur propre de l'axe.
Ainsi $0.09+0.64+0.80=1.53$, l'inertie du premier axe (la première valeur propre qui se trouve.Figure1).

Figure 15. Représentation des groupes actifs et supplémentaires

Les groupes 2 (logement) et surtout 3 (environnement) sont bien représentés sur l'axe 1, au contraire du groupe 1 (ménage). Les variables supplémentaires occupent une position intermédiaire. La contribution des variables « ménage » au premier axe n'est que de 5.9%, contre 42.0% pour « logement » et 52.1% pour « environnement. Pour l'axe 2, les contributions sont de 27.3% (« ménage »), 49.6% (« logement ») et 23.1% (« environnement »).

Nous analysons ensuite l'influence de chaque variable, et non plus seulement celle des groupes de variables. La figure 4 présente les résultats, et un zoom, avec 4 graphiques permet de mieux lire la répartition des 4 groupes de variables (figure 5).



En bas du nuage, des climats moyens, en haut des climats extrêmes

Figure 19. Variables relatives à l'environnement

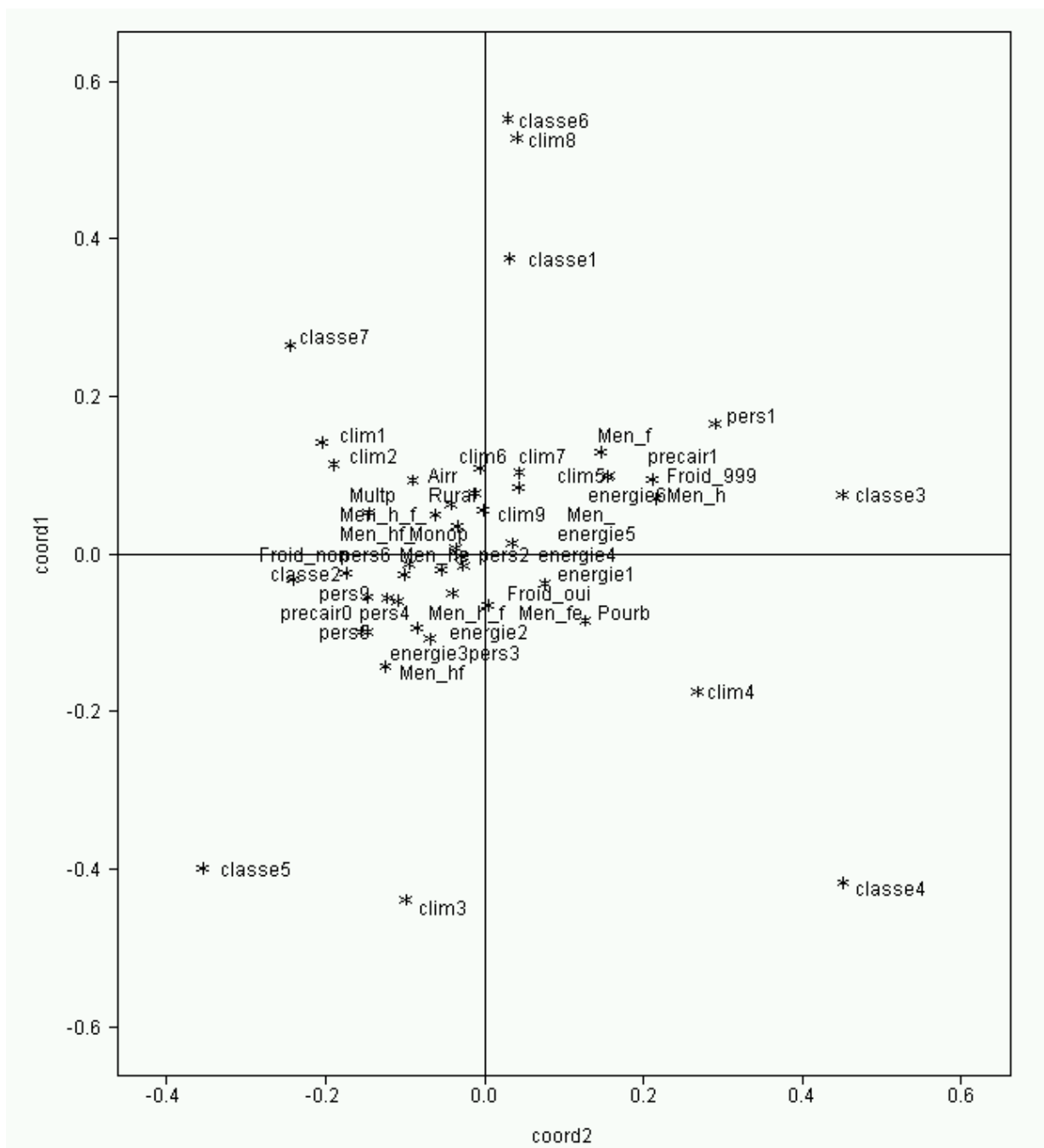


Figure 20. Variables supplémentaires

Pour le logement, les contributions les plus fortes à l'axe 1 (cf tableau 4) sont le confort de la maison avec 22.8% (surtout « Conf5 », « confort moyen » avec 19,9%) et le revêtement de la façade avec 16.9% (notamment « revêtement moyen » avec 12,6%). Pour les variables environnementales, ce sont la pluie, l'insolation, l'altitude et la température, soit presque toutes les variables utilisées.

Pour l'axe 2, l'âge (surtout les plus jeunes), le nombre d'uc (unités de consommation), l'occupation interviennent un peu. Les variables afférentes au logement ont une influence supérieure : la surface (7% pour les petites surfaces), le fait d'être ou non dans une HLM (11%), le mode de chauffage (6,1%), etc. L'influence des variables environnementales est moyenne.

	Axe1	Axe2	Axe3	Axe4	Axe5
Revenu	1,6	4,5	2,1	11,4	1,2
Age	1,6	6,9	4,5	18,7	10,2
uc	1,0	4,5	3,0	9,0	0,5
diplôme	0,2	6,8	1,1	8,5	7,0
occup	1,6	4,6	2,2	20,6	8,2
Total groupe 1 (ménage)	5,9	27,3	12,9	68,2	27,1
ct	0,3	9,7	2,6	2,0	5,2
surface	0,0	14,5	2,0	2,5	0,2
rez_chaussee	0,1	0,0	0,4	0,1	0,2
hlm	0,6	11,0	1,4	1,1	0,1
dernier_etage	0,3	0,1	0,1	0,3	1,0
Chauffage	0,8	6,0	1,5	0,5	4,0
Humid	0,1	0,2	0,4	0,6	0,0
Exposition	0,1	1,0	3,7	1,6	3,0
Confort	22,8	4,0	14,3	0,9	9,3
Revetement	16,9	3,1	26,0	7,9	10,4
Total groupe 2 (logement)	42,0	49,6	52,3	17,5	33,4
Pluie	13,8	4,2	17,4	5,4	14,7
Insol	13,2	3,0	6,0	1,5	5,0
Altitude	7,6	2,2	2,6	1,2	2,4
Temp	8,8	3,1	1,2	2,3	7,1
Jfroid	6,6	5,1	3,6	2,5	5,2
Pop	2,1	5,7	4,0	1,3	5,2
Total groupe 3 (environnement)	52,1	23,1	34,8	14,2	39,5
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tableau 40. Contribution des variables sur les 5 premiers axes

Il y a donc essentiellement, sur le premier plan, une opposition entre des caractéristiques relatives au logement et à l'environnement.

Un confort moyen, un revêtement moyen, très peu de pluie et d'insolation correspondent à de fortes valeurs sur l'axe 1 (les valeurs négatives sur l'axe 1 correspondent à un climat moyen, les valeurs positives à un climat extrême).

Le cadran inférieur droit du graphique regroupe des individus habitant sous un climat moyen (il y a 6 modalités pour les variables « altitude », « insolation », « température » et « pluie » et un grand confort et les modalités 3 et 4 sont les modalités médianes).

Surface et HLM contribuent fortement à la formation de l'axe 2. Dans la partie gauche du graphique, on trouve les individus vivant en HLM (hlm1) et ayant des surfaces moyennes ou grandes (surf4, surf5). On a aussi, dans une moindre mesure, des ménages de grande taille (uc6), des personnes de référence âgées (age6 et surtout age5), peu de pauvres (rev1 est à droite), des personnes de référence peu diplômées (« sans diplôme » est à gauche sous le nom « dip__ », « diplôme 2^{ème} ou 3^{ème} cycle » est à droite sous l'intitulé « « dip_2cyc »), des logements d'âge moyen (ct4 correspond à des logements construits entre 1962 et 1967, ct5 aux logements construits entre 1968 et 1974).

Les modalités supplémentaires les mieux représentées sur le plan 1-2 sont les classes définies par la CAH et la typologie du climat (surtout sur l'axe 1, ce qui est normal puisque les variables d'environnement, qui sont surtout climatiques, contribuent fortement à la formation de cet axe). Sur la partie droite on trouve les ménages unipersonnels (pers1) et à gauche les ménages de grande taille (pers6 et pers9 : 6 personnes, plus de 6 personnes), ce qui est cohérent avec la distribution des unités de consommation (variables actives). Les ménages constitués d'une seule personne (typologie des ménages) sont pour la même raison du côté droit. Le froid est moyennement représenté sur le plan : il y a une opposition entre ceux ne pouvant répondre car ils ont aménagé trop récemment (Froid_999, à droite) et ceux qui répondent non (Froid_non, à gauche). Cette place est logique : parmi les emménagés récents il y a beaucoup de jeunes (étudiants entre autres), souvent célibataires.

Les caractéristiques des classes sont :

. *Classe 1* (6% des observations): forte coordonnée sur l'axe 1, mais moins que la classe 6.

Surtout des caractéristiques climatiques, ce sont des ménages vivant sous un climat sec (81% d'entre eux, au lieu de 10% en moyenne, ont « pluie1 » comme modalité), avec une insolation et une température élevées, peu de jours froids. Ce qui est cohérent avec la description de l'axe 1.

Quelques caractéristiques moins fortes de cette classe : il y a peu de très grands ménages, peu de très petites surfaces (surf1) beaucoup de surfaces élevées (surf5), l'exposition est plus souvent que la moyenne au sud (exposud), moins souvent inconnue (expo__).

. *Classe 2* (14%) : coordonnée négative sur l'axe 2, nulle sur l'axe 1

L'âge de la personne de référence est élevé (plus de 90% d'entre elles ont un âge supérieur à Q3), il y a très peu de ménages de grande taille, 75% des personnes de référence n'ont pas de diplôme ou un CEP (contre 33% en moyenne), ce sont des retraités.

Ils occupent peu de logements très vieux ou récents (ct1 ou ct9) mais plutôt des logements construits entre 1949 et 1981. Les logements sont rarement très petits (surf1 faible). Ils sont rarement chauffés à l'électricité (chau_elec), et ils ont rarement des problèmes d'humidité (13% au lieu de 27%). Ce sont souvent des HLM (hlm1), ce qui est cohérent avec la position de la classe sur l'axe2.

Du point de vue climatique, ces logements sont situés dans des régions avec beaucoup de pluie (pluie4 et pluie5), sauf les valeurs extrêmes (pluie6), il ils connaissent peu d'insulations extrêmes

Les ménages sont surtout des femmes seules (men_f) (ce qui n'est pas apparent sur le plan 1-2) ou des couples inactifs (men_h_f_) ; il y a donc beaucoup de familles unipersonnelles (pers1). Ces ménages ont très souvent répondu à la question du froid (la plupart ont emménagé il y a plus d'un an). Tout cela concorde avec leur statut de retraités.

. *Classe 3* (13%) : forte coordonnée sur l'axe 1, très légèrement positive sur l'axe 2.

Les ménages pauvres sont surreprésentés (33%<D1), de même que les jeunes (44%<D1), les familles peu nombreuses, les personnes de référence diplômées (22% de diplômés du 2^{ème} et 3^{ème} cycle), et sont dans la catégorie de composition du ménage « autre + femme au foyer ». Ce profil correspond, notamment, à des étudiants. Les variables supplémentaires confirment ces observations : on compte 74% de ménages unipersonnels (au lieu de 40% en moyenne), beaucoup de « sans objet » à la question du froid, ce qui signifie que ce sont des aménagés récents, beaucoup de situations précaires (17% contre 9% en moyenne).

Ces ménages habitent dans l'ancien (construction avant 1948) et le récent (après 1990), dans de très petites ou de petites surfaces (surf1 et surf2). Ils se chauffent à l'électricité (60% contre 22% en moyenne), n'habitent que très rarement une HLM (7% contre 47% en moyenne), et leur logement a un confort moyen (une douche ou une petite baignoire mais pas de grande baignoire).

Ils habitent dans des communes où il pleut plutôt beaucoup (pluie4=40% au lieu de 25%) et dans de grandes villes (pop4, pop5).

. *Classe4* (14%) : très positif sur l'axe 2, très négatif sur l'axe 1.

On trouve dans cette classe beaucoup de ménages au revenu élevé (19% de rev6 au lieu de 10%), beaucoup également d'âges moyens (68% entre Q1 et Q3) et de diplômés du 2^{ème} et 3^{ème} cycle (27% au lieu de 14%).

Quelques variables du logement les caractérisent également : beaucoup de petites et très petites surfaces (21%<D1 et 47%<Q1), un peu plus de problèmes d'humidité (36% contre 27% en moyenne), peu de HLM (29% contre 47%).

C'est l'environnement (le climat surtout) qui différencie fortement cette classe : un climat assez sec (pluie2 : 85% au lieu de 16%), une insolation moyenne (insol3 : 79% au lieu de 25%), une altitude assez élevée mais proche de la médiane (altitude4 : 99%), une température moyenne (temp3 : 81%), un nombre de jours froids moyen (jfroid3 : 82%). La population de la commune est importante (pop6=52% au lieu de 10%).

En synthèse, il s'agit donc des ménages diplômés, plutôt riches, d'âges moyens qui habitent dans de grandes villes au climat tempéré.

. *Classe 5* (35%, la plus nombreuse donc) : négatif sur l'axe 2, négatif sur l'axe1.

C'est une classe caractérisée par les trois domaines : environnement, logement et ménage.

Les revenus sont assez élevés (rev5 : 22% au lieu de 15% en moyenne), l'âge médian de la personne de référence (entre Q1 et Q3) regroupe 74% de la population. On compte dans ce groupe beaucoup de familles de grande taille (16%>D9), les personnes de référence ayant un CAP-BEP sont surreprésentées (33% au lieu de 23%), enfin, 82% occupent un emploi (contre 59% en moyenne).

La surface de l'appartement est rarement petite (1%<D1 et 8%<Q1), son confort élevé (confort7=83%) et il s'agit plus souvent qu'en moyenne de HLM.

En ce qui concerne les variables d'environnement, la pluie se situe souvent au niveau médian (77% entre Q1 et Q3), l'insolation est généralement faible (insol2=28% au lieu de 15% en moyenne), mais elle est rarement très faible (insol1=0%). Les températures très élevées sont rares (temp6=2%), le nombre annuel de jours froids est médian (jfroid4=43% au lieu de 27%). Ces logements sont rarement situés dans des communes très peuplées (pop6=1% au lieu de 10%).

Au total, il s'agit de familles assez nombreuses, riches, occupant un emploi, habitant des logements rarement petits (à cause de la taille de la famille), situés dans des communes pas trop peuplées et au climat tempéré.

. *Classe 6* (8%) : la plus forte coordonnée sur l'axe 1, presque nulle sur le 2^{ème}.

Ce n'est pas tellement le confort qui intervient pour caractériser cette classe (qui compte relativement peu de « confort moyen »), mais les variables climatiques et de population. Ces locataires vivent dans un environnement très peu pluvieux (pluie1=48% au lieu de 10%, pluie6=0%), très peu insolé (insol1=93% au lieu de 10%), avec des températures extrêmes

(28% pour temp1, 21% pour temp6, au lieu de 10%). Ils sont dans des villes peuplées (25% pour pop6, 28% pour pop5), à une altitude très faible (53% altitude2 au lieu de 15%).

. Classe 7 (10%) : légèrement positif sur l'axe 1, légèrement négatif sur l'axe 2.

Il s'agit d'une classe qui est également caractérisée par des variables climatiques. Le climat est très pluvieux (pluie6=99.7%), très insolé (insol5=35%, insol6=25%), l'altitude est très élevée (altitude6=40% au lieu de 10%), les températures sont extrêmes, soit très froides (temp1=22%), soit très chaudes (temp6=30%), de même que le nombre de jours froids qui est soit très bas (jfroid1=25%) soit très élevé (jfroid6=33%). Les communes sont peu peuplées (pop1=24%, pop6=0%).

4.4 Résultats : propriétaires de maisons individuelles

L'analyse des caractéristiques des propriétaires repose sur des variables légèrement différentes de celle des locataires (le fait d'être au dernier ou au premier étage, d'être en HLM n'interviennent plus, la variable ZAUER a été intégrée en tant que variable active). De plus, les pourcentages d'inertie dans les 2 sous-champs sont faibles et proche d'un axe à l'autre, des changements d'ordre d'axes ne seraient pas étonnants.

L'allure de l'éboulis des valeurs propres amène à retenir, a priori, 5 ou 6 axes, ce qui amènerait à expliquer entre 18.3 et 20.8% de l'inertie totale. Les analyses partielles semblent privilégier 3 axes pour l'analyse du ménage, 2 axes pour celui du logement, 3 axes pour celui de l'environnement.

Le premier axe de l'analyse globale rend essentiellement compte des caractéristiques du ménage et du logement, alors que le deuxième concerne le logement (plus précisément le revêtement) et le climat (les précipitations surtout).

	N°	Valeur	Diff.	Pct	Pct	
	propre			cumulé		
1	1.40		4.6	4.6	!	*****
2	1.33	0.07	4.3	8.9	!	*****
3	1.13	0.20	3.7	12.6	!	*****
4	0.89	0.24	2.9	15.5	!	*****
5	0.86	0.03	2.8	18.3	!	*****
6	0.76	0.10	2.5	20.8	!	*****
7	0.66	0.10	2.1	22.9	!	*****
8	0.64	0.02	2.1	25.0	!	*****
9	0.61	0.03	2.0	27.0	!	*****
10	0.56	0.05	1.8	28.8	!	*****
11	0.55	0.02	1.8	30.6	!	*****
12	0.50	0.05	1.6	32.3	!	*****
13	0.49	0.01	1.6	33.9	!	*****
14	0.48	0.02	1.6	35.4	!	*****
15	0.47	0.01	1.5	36.9	!	*****
16	0.46	0.01	1.5	38.4	!	*****
17	0.45	0.01	1.5	39.9	!	*****
18	0.45	0.00	1.5	41.4	!	*****
19	0.45	0.00	1.5	42.8	!	*****
20	0.44	0.00	1.4	44.3	!	*****
21	0.44	0.00	1.4	45.7	!	*****
22	0.44	0.00	1.4	47.1	!	*****
23	0.44	0.00	1.4	48.6	!	*****
24	0.43	0.01	1.4	50.0	!	*****
25	0.42	0.01	1.4	51.4	!	*****
26	0.42	0.00	1.4	52.7	!	*****
27	0.41	0.01	1.3	54.1	!	*****
28	0.41	0.00	1.3	55.4	!	*****
29	0.40	0.01	1.3	56.7	!	*****
30	0.39	0.01	1.3	58.0	!	*****
31	0.38	0.01	1.2	59.2	!	*****
32	0.38	0.01	1.2	60.4	!	*****
33	0.37	0.00	1.2	61.7	!	*****
34	0.37	0.00	1.2	62.9	!	*****
35	0.37	0.00	1.2	64.1	!	*****
36	0.36	0.00	1.2	65.2	!	*****
37	0.36	0.00	1.2	66.4	!	*****
38	0.35	0.01	1.2	67.6	!	*****
39	0.35	0.01	1.1	68.7	!	*****
40	0.35	0.00	1.1	69.8	!	*****
41	0.34	0.00	1.1	70.9	!	*****
42	0.34	0.00	1.1	72.0	!	*****
43	0.34	0.00	1.1	73.1	!	*****
44	0.33	0.00	1.1	74.2	!	*****
45	0.33	0.00	1.1	75.3	!	*****
46	0.33	0.00	1.1	76.4	!	*****
47	0.33	0.00	1.1	77.4	!	*****
48	0.32	0.01	1.0	78.5	!	*****
49	0.32	0.00	1.0	79.5	!	*****
50	0.32	0.00	1.0	80.5	!	*****
51	0.31	0.01	1.0	81.5	!	*****
52	0.31	0.00	1.0	82.5	!	*****
53	0.30	0.00	1.0	83.5	!	*****
54	0.30	0.00	1.0	84.5	!	*****
55	0.29	0.01	1.0	85.4	!	*****
56	0.29	0.00	0.9	86.4	!	*****
57	0.28	0.01	0.9	87.3	!	*****
58	0.28	0.00	0.9	88.2	!	*****
59	0.27	0.01	0.9	89.1	!	*****
60	0.27	0.01	0.9	90.0	!	*****
61	0.26	0.01	0.8	90.8	!	*****
62	0.25	0.00	0.8	91.6	!	*****
63	0.25	0.00	0.8	92.5	!	*****
64	0.25	0.00	0.8	93.3	!	*****
65	0.23	0.02	0.8	94.0	!	*****
66	0.23	0.00	0.7	94.8	!	*****
67	0.22	0.00	0.7	95.5	!	*****
68	0.21	0.01	0.7	96.2	!	*****
69	0.19	0.01	0.6	96.8	!	*****
70	0.18	0.01	0.6	97.4	!	*****
71	0.15	0.03	0.5	97.9	!	*****
72	0.13	0.02	0.4	98.3	!	*****
73	0.11	0.02	0.4	98.7	!	*****
74	0.10	0.01	0.3	99.0	!	*****
75	0.09	0.02	0.3	99.3	!	*****
76	0.08	0.01	0.3	99.6	!	*****
77	0.06	0.02	0.2	99.7	!	***
78	0.05	0.01	0.2	99.9	!	***
79	0.03	0.02	0.1	100.0	!	*

Figure 21. Histogramme des valeurs propres pour les propriétaires

groupe		pctcum1	pctcum2	pctcum3	pctcum4	pctcum5	pctcum6	pctcum7	pctcum8	pctcum9	pctcum10	pctcum11
n°1	- qual act	13.5	20.1	26.3	31.8	36.9	41.7	46.4	51.0	55.7	60.2	64.6
n°2	- qual act	9.0	15.7	21.1	26.1	30.9	35.3	39.5	43.6	47.6	51.7	55.7
n°3	- qual act	8.4	15.8	21.6	26.0	30.0	33.9	37.8	41.5	45.2	48.6	52.0
n°4	- qual sup	8.3	13.6	17.8	21.7	25.6	28.9	32.2	35.3	38.4	41.4	44.3
groupe		pctcum12	pctcum13	pctcum14	pctcum15	pctcum16						
n°1	- qual act	69.0	73.4	77.7	81.7	85.5						
n°2	- qual act	59.7	63.7	67.6	71.5	75.4						
n°3	- qual act	55.2	58.2	61.2	64.2	67.0						
n°4	- qual sup	47.1	50.0	52.8	55.6	58.4						
groupe		pctcum17	pctcum18	pctcum19	pctcum20	pctcum21	pctcum22	pctcum23	pctcum24	pctcum25	pctcum26	pctcum27
n°1	- qual act	89.1	92.5	95.2	97.7	99.3	100.0					
n°2	- qual act	79.2	82.8	86.4	89.6	92.5	95.3	97.8	99.7	100.0		
n°3	- qual act	69.9	72.6	75.2	77.7	80.2	82.6	85.0	87.3	89.5	91.6	93.5
n°4	- qual sup	61.2	63.9	66.7	69.4	72.2	74.9	77.5	80.2	82.7	85.2	87.6
groupe		pctcum28	pctcum29	pctcum30	pctcum31	pctcum32	pctcum33	pctcum34	pctcum35			
n°1	- qual act											
n°2	- qual act											
n°3	- qual act	95.3	96.8	98.1	98.8	99.5	100.0					
n°4	- qual sup	90.0	92.3	94.4	96.1	97.5	98.7	99.7	100.0			

L'ACM du groupe n°1 (ménage) compte 22 axes (le 1er axe fait 13.5% de l'inertie de cette ACM), celle du groupe n°2 (logement) compte 25 axes, celle du groupe n°3 (environnement) compte 33 axes, enfin celui du groupe n°4 (variables supplémentaires, quel que soit le groupe d'appartenance originelle) 35 axes.

Tableau 41. Pourcentages d'inertie (analyses partielles)

La liaison entre les groupes est faible, ce qui était le cas des locataires aussi :

Coefficients RV de liaison entre groupes				
Groupe	1	2	3	4
n°1 - qual act	1.00	0.07	0.01	0.30
n°2 - qual act	0.07	1.00	0.02	0.09
n°3 - qual act	0.01	0.02	1.00	0.17
n°4 - qual sup	0.30	0.09	0.17	1.00

Tableau 42. Coefficients Rv

Une classification mixte sur le champ des propriétaires a été effectuée, la CAH donnant cet arbre. Sept classes ont été retenues.

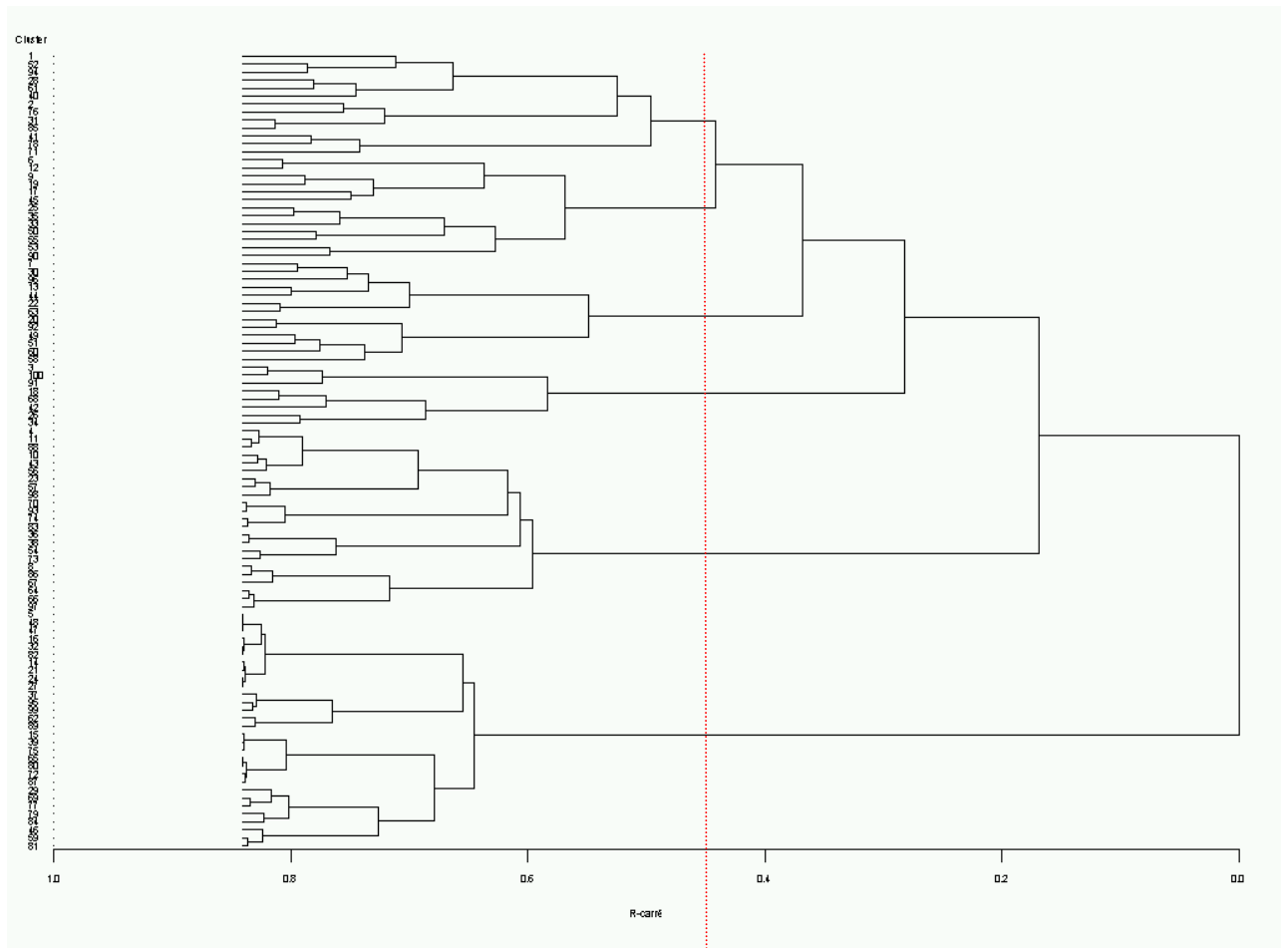
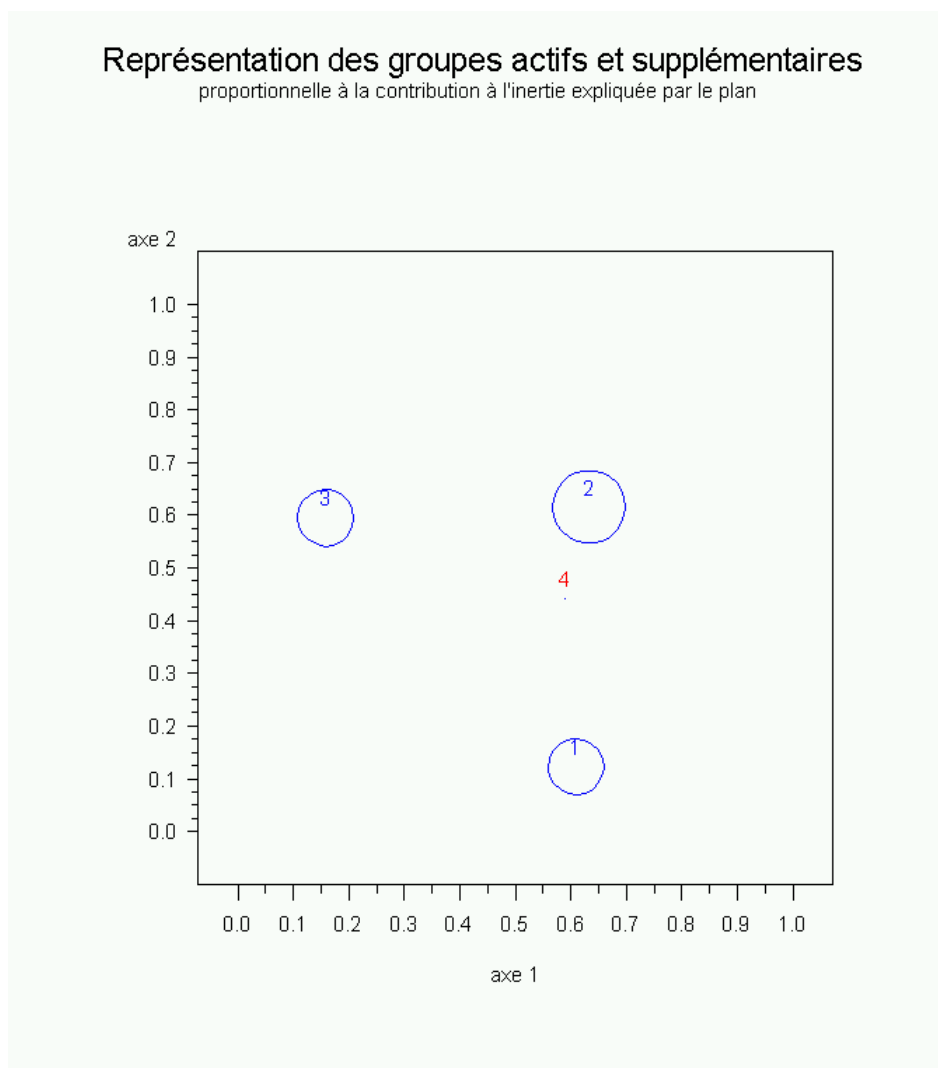


Figure 22. Arbre de classification

Le premier plan factoriel du champ des propriétaires diffère de celui des locataires : rôle plus affirmé du ménage (groupe 1) au détriment de l'environnement. L'axe 1 est déterminé par le ménage (groupe1) et le logement (groupe2). L'axe 2 par le logement et l'environnement (groupe3).



groupe supplémentaire en rouge

Le groupe 1 concerne le ménage, le groupe 2 le logement, le 3 l'environnement et le 4 les variables supplémentaires.

La coordonnée d'un groupe est l'inertie projetée de l'ensemble des variables du groupe pour l'axe. Elle est comprise entre 0 et 1. La somme des coordonnées des groupes actifs sur l'axe égale l'inertie de l'axe égale la valeur propre de l'axe.

Ainsi $0.61+0.63+0.16=1.40$, l'inertie du premier axe (la première valeur propre qui se trouve.Figure1).

Figure 23. Représentation des groupes actifs et supplémentaires

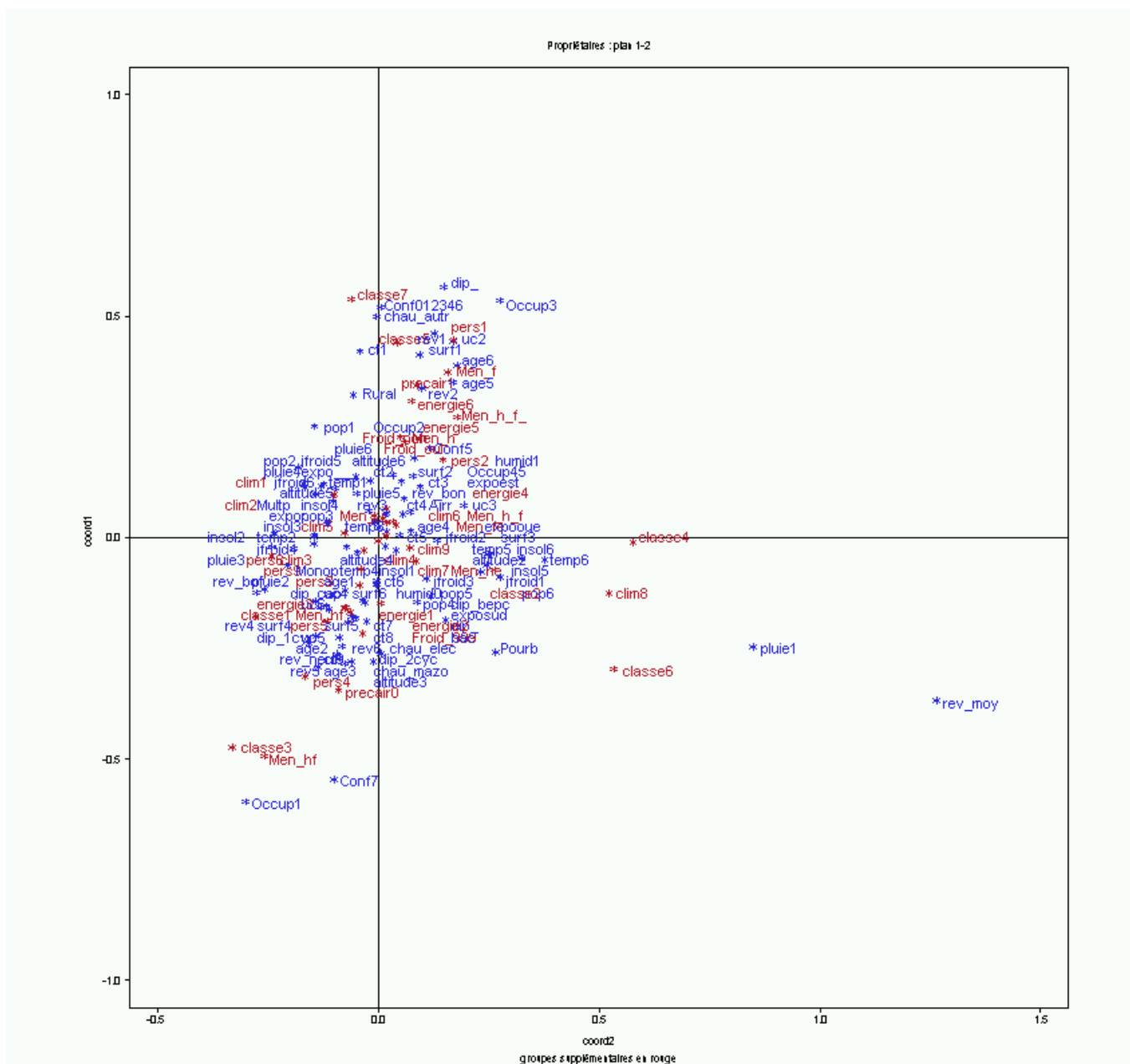
Les groupes 1, ménage, (43.5%) et 2, logement, (45.2%) créent à eux deux le premier axe. Pour l'axe 2, ce sont surtout les variables d'environnement (44.6%) et de ménage (46.2%) qui influent. Les variables supplémentaires sont assez bien représentées sur le premier plan

Une analyse par variable (tableau 6) montre que toutes les variables caractéristiques du ménage jouent un rôle significatif sur l'axe 1 (sur les autres axes ce ne sera plus le cas), ce qui est également le cas des variables du logement, à l'exception de la perception d'humidité, de l'exposition.

L'axe 2 est celui du revêtement et de la pluie (43% et 20%, soit 63% à eux deux), d'autres variables climatiques (température et un peu insolation) complètent son explication. Le revêtement reviendra sur les autres axes (3 et 4), jouant un rôle conjoint avec des variables d'environnement (systématiquement la pluie, ce qui paraît logique. Parfois avec la température et le nombre de jours froids).

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
Revenu	11,3	0,9	0,4	0,3	0,3
Age	9,0	2,7	2,8	1,0	2,6
uc	5,9	2,4	2,5	2,3	2,9
diplôme	8,5	0,8	0,8	0,1	0,2
occupation	8,8	2,4	2,1	1,1	2,4
Total groupe 1 (ménage)	43,5	9,2	8,6	4,8	8,5
Age construction	10,6	1,1	7,9	2,4	5,0
surface	7,4	0,8	1,9	0,2	1,0
Mode de chauffage	8,7	0,0	4,9	6,4	18,8
Présence d'humidité	0,6	0,0	0,2	0,0	0,3
Exposition	1,3	1,2	2,8	2,2	1,6
Confort	11,3	0,5	3,9	6,2	16,2
Etat du revêtement	5,3	42,6	10,3	20,7	0,7
Total groupe 2 (logement)	45,2	46,2	31,9	38,1	43,6
Pluie	2,6	20,3	11,9	20,4	0,5
Insolation	0,2	5,5	6,0	6,3	2,4
Altitude	0,8	1,8	9,9	2,2	12,1
Température	0,4	7,1	7,5	14,9	13,6
Nombre de jours froids	1,0	4,3	9,6	10,3	17,4
Population	2,7	3,2	8,0	2,1	0,9
ZAUER	3,6	2,6	6,8	1,1	1,1
Total groupe 3 (environnement)	11,3	44,6	59,6	57,1	47,9
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tableau 43. Contribution des variables sur les 5 premiers axes.



L'axe horizontal est l'axe 2, le vertical l'axe 1

Figure 24. Plan 1-2 de l'AFM des propriétaires

Puis les zooms par groupe de variables :

A l'opposé se situent les couples travaillant (Men_hf), ayant deux enfants (pers4), un (pers3) ou trois (pers5)⁷ et pas précaires (precair0).

Sur l'axe 2, on voit le lien entre le fait d'avoir un revêtement moyen (rev_moy) et celui d'habiter une région sèche (pluie1). Cet environnement très sec (pluie1) s'oppose en fait à toutes les autres classes de précipitation (pluie2 à pluie 6).

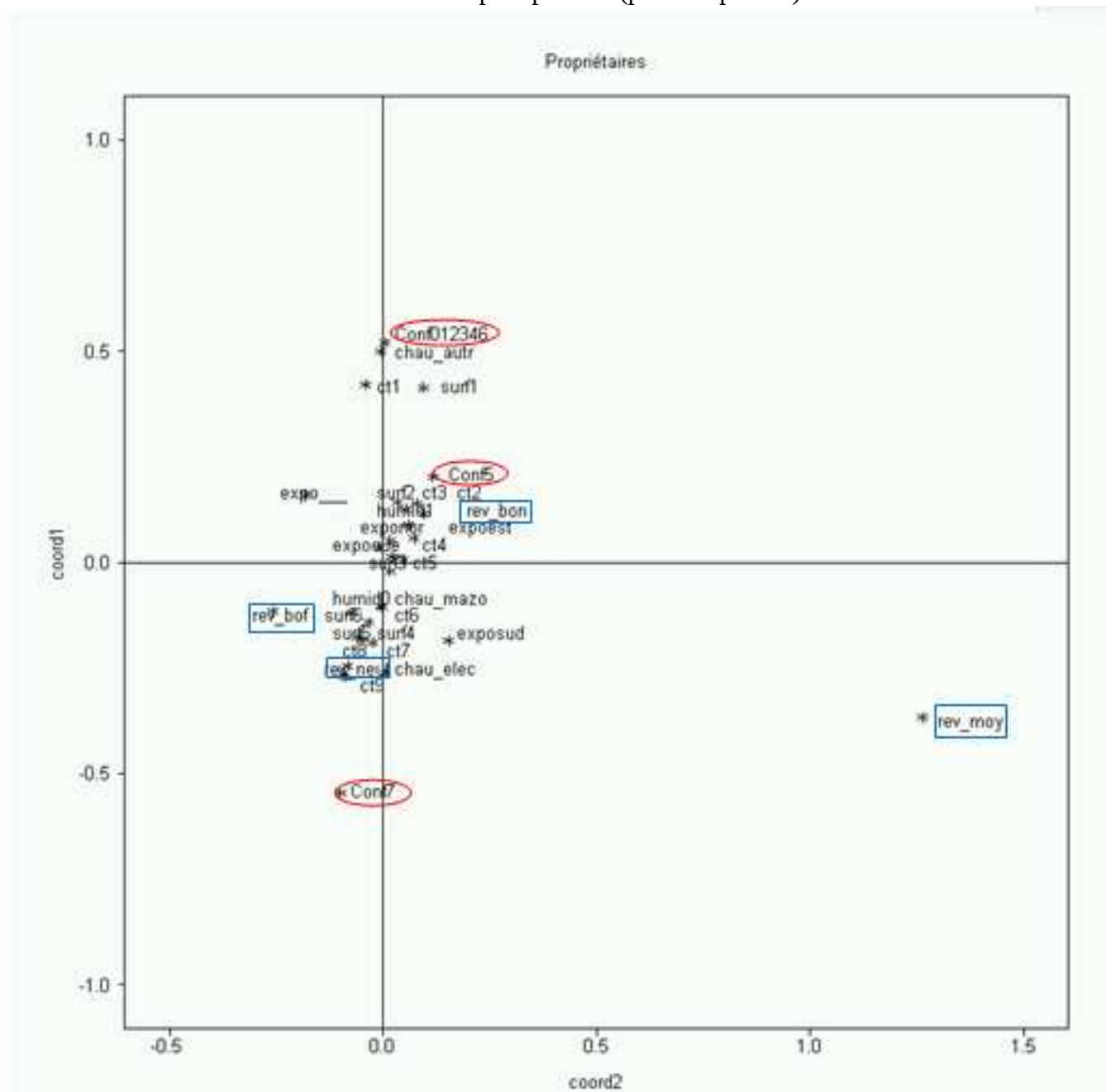


Figure 26. Plan 1-2 : variables relatives au logement

⁷ C'est une approximation : un ménage de 3 personnes peut très bien être, par exemple, un couple de 50 ans et la mère d'un des deux conjoints.

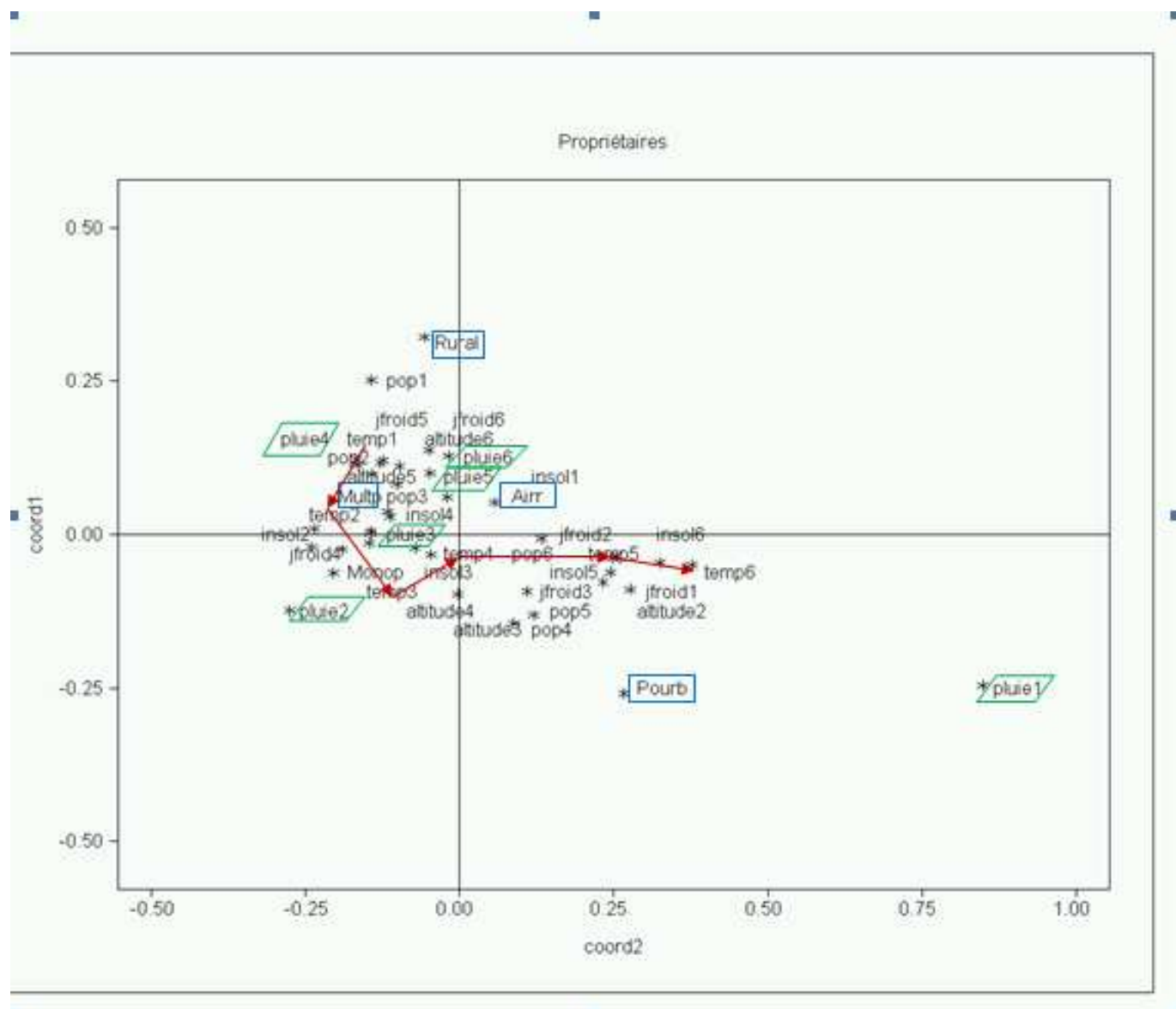


Figure 27. Plan 1-2 : variables relatives à la localisation

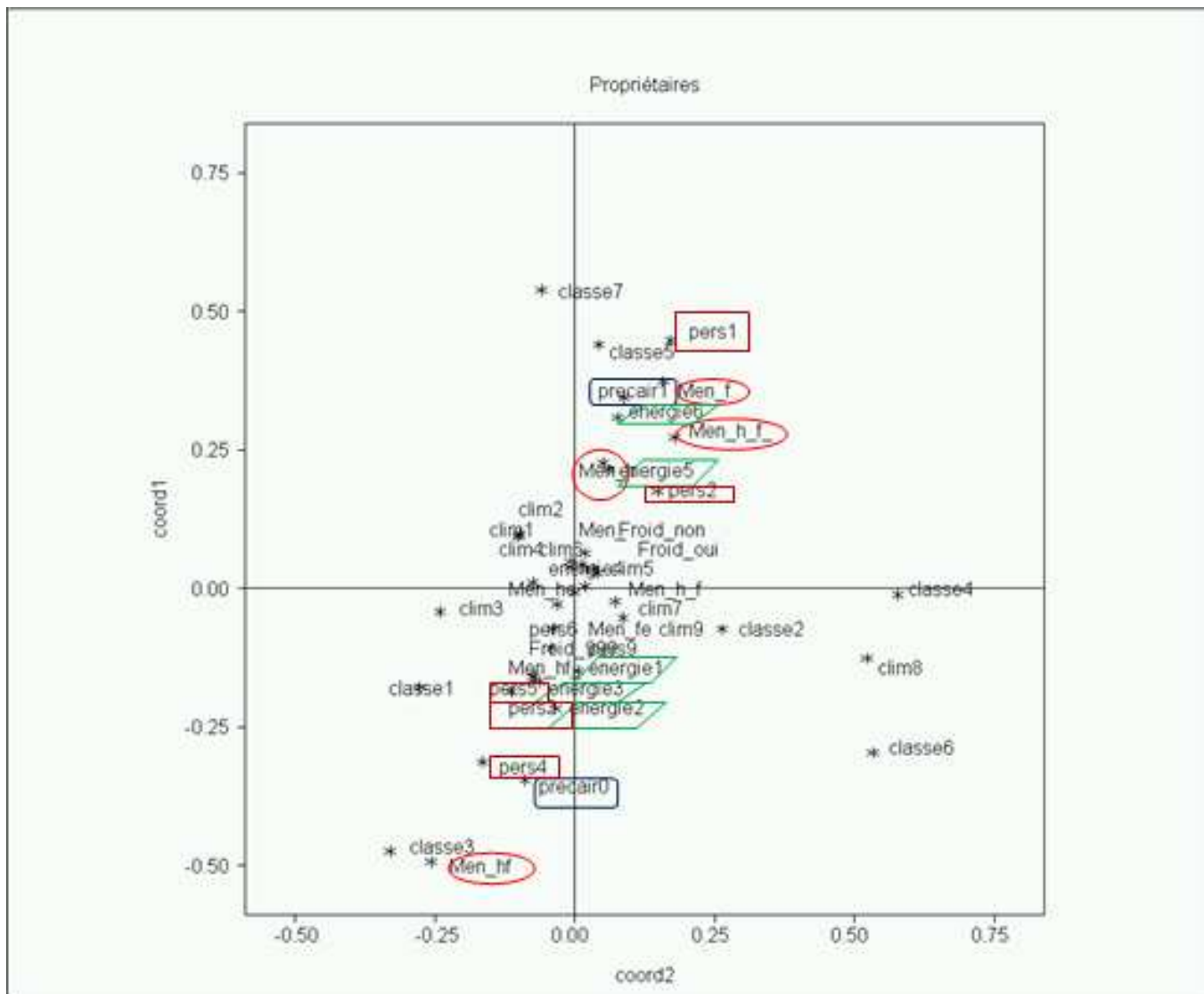


Figure 28. Plan 1-2 : variables supplémentaires

Les caractéristiques des classes⁸ sont :

. *Classe 1* (13.9% des observations) : classe assez centrale sur le 1^{er} plan factoriel, plutôt dans le quartier sud-ouest, on devrait trouver plutôt des actifs peu âgés assez riches habitant des logements confortables, mais moins caractérisés que les individus de la classe 3.

Effectivement ces ménages sont certes plutôt actifs, peu retraités, se chauffent surtout au chauffage central individuel, habitent des logements confortables mais se caractérisent avant tout par l'environnement dans lequel ils habitent (ce qui explique leur position assez centrale : l'environnement est mal représenté sur le 1^{er} plan). 77% d'entre eux (contre 33% pour la moyenne) vivent sous un climat océanique dégradé (clim3), avec peu de pluie (pluie2=93% au lieu de 15%), peu d'insolation, une altitude moyenne, des températures basses et moyennes (temp2=40% au lieu de 10%, temp3=46% au lieu de 25%), un peu plus de jours froids que la moyenne (jfroid4=59%), dans les pôles urbains (66% au lieu de 46%).

. *Classe 2* (1.7%) : classe assez centrale, aussi, sur le 1^{er} plan factoriel, plutôt dans le quartier sud-est, on devrait trouver plutôt des ménages habitant des logements avec un

⁸ Qui ont été définies par la classification mixte effectuée sur les coordonnées des observations sur les axes factoriels.

revêtement moyen, sous un climat très peu pluvieux (axe2). Les classes 4 et 6 sont plus extrêmes. De fait, le revêtement de ces logements ne se distingue pas de la moyenne des classes, ce sont les caractéristiques environnementales qui jouent : pas de précipitations (pluie1=100%), une insolation extrême (insol1=22%, insol6=28%), l'altitude est élevée (altitude5=32%, altitude6=55%), un climat froid (température et nombre de jours froids), une surreprésentation du climat semi-continental (40% au lieu de 9%).

. *Classe 3 (37.4%)* : à l'opposé des classes 5 et 7, cette classe devrait contenir des ménages riches, diplômés, ayant un emploi, avec beaucoup de membres et vivant dans des logements confortables, récents (ct9 se trouve du côté négatif de l'axe 1). Effectivement, ces caractéristiques sont vérifiées. Beaucoup ont 2 ou 3 enfants (pers4, pers5).

. *Classe 4 (3.6%)* : très positive sur l'axe 2, donc, a priori, soit très peu de pluie, soit un revêtement moyen. De fait ce sont encore les caractéristiques environnementales qui tirent cette classe très fortement du côté positif de l'axe 2. Presque pas de pluie certes (pluie1=100%), mais aussi beaucoup d'insolation (insol5+insol6=80% au lieu de 25%), très chaud (temp5+temp6=70%), très peu de jours froids. 61% (au lieu de 2% pour la moyenne des propriétaires) des ménages de cette classe bénéficient d'un climat méditerranéen altéré. 71% d'entre eux habitent un pôle urbain (contre 46%).

Les caractéristiques du ménages sont fortes, également, bien que ce soit surtout sur l'axe 1 que ces caractéristiques jouent. Ce sont des retraités pauvres, peu diplômés. Ils habitent dans des petites surfaces dans des logements qui ne sont pas très récents. Des caractéristiques qui aurait dû tirer cette classe du côté positif de l'axe 1, mais les faibles précipitations et le caractère urbain de cette classe jouent en sens inverse.

. *Classe 5 (28.1%)* : donc, comme la classe 7, elle est du côté des retraités (donc des ménages d'une ou 2 personnes) pauvres, sans diplôme, habitant des logements peu confortables. Ce qu'on peut dire en plus : ils habitent dans des régions toujours un peu pluvieuses (pluie1=0% au lieu de 10%, pluie2=3% au lieu de 15%).

. *Classe 6 (4.7%)* : assez proche de la classe 4, mais plus négatif sur l'axe 2. C'est une classe qui a des caractéristiques fortes dans les 3 domaines (environnement, ménage et logement). Les ménages sont plutôt riches, d'âge moyen (age3=41% au lieu de 25%), diplômés, beaucoup travaillent (occup1=86% au lieu de 58%). Les logements sont exposés au sud (66% contre 45%), très confortables (conf7=82% au lieu de 71%), le chauffage électrique est utilisé (37% au lieu de 26%).

Le climat est « méditerranéen altéré » (59% au lieu de 11%), très peu pluvieux (pluie1=100%), très insolé (insol5+insol6=63% au lieu de 25%), chaud, caractérisé par un nombre moyen ou très faible de jours froids. La population est urbaine (Pourb=77% au lieu de 40%).

En quelque sorte les riches méridionaux.

. *Classe 7 (10.7%)* : donc du côté des pauvres retraités. Beaucoup sont peu diplômés (dip_=58% au lieu de 33%), pauvres (51% inférieurs au premier quartile). Ils habitent dans de très vieilles maisons (ct1=44% au lieu de 18%), petites (surf1=26% au lieu de 10%). Mais une des plus fortes caractéristiques est le mode de chauffage (96% utilisent un mode de chauffage autre (chau_autr) que l'électrique et le chauffage central individuel) et surtout le manque de confort (confort012346=98%).

Le climat est pluvieux (pluie6=20% au lieu de 10%) et ils habitent à la campagne (Rural=36% au lieu de 16%).

Références du chapitre 2

Létard, V., in : Pelletier Ph., De Quero A (Rédacteur), Lapostolet B (Rédacteur) (2009), Groupe de travail Précarité énergétique, 15 décembre 2009, 52 p.

Pelletier Ph., De Quero A (Rédacteur), Lapostolet B (Rédacteur) (2009), Groupe de travail Précarité énergétique, 15 décembre 2009, 52 p.

Stiglitz JE, Sen A, Fitoussi JP (2010), Rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social, 324 p.

Annexes du chapitre 2

Estimation par le maximum de vraisemblance

Locataires d'appartements			Propriétaires de maisons individuelles		
	paramètre estimé	Chi-2 de Wald		paramètre estimé	Chi-2 de Wald
Intercept	-2,0464	192,2338	Intercept	-3,3723	327,5434
infiltration d'eau - référence : non			infiltration d'eau - référence : non		
oui	0,2366	21,0146	oui	0,4465	48,0487
mode de chauffage - référence : électrique individuel			mode de chauffage - référence : électrique individuel		
autres	-1,6558	2,5977	autres	0,4178	7,7517
pas chauffage	0,3395	1,529	pas chauffage	1,252	33,5111
chauffage central urbain	-0,0801	0,8641	chauffage central urbain	-0,3725	0,6879
chauffage électrique mixte	0,0846	0,4138	chauffage électrique mixte	0,0646	0,0187
chauffage central collectif	0,1396	6,447	chauffage central collectif	0,4652	0,7071
chauffage central individuel	-0,2767	25,6886	chauffage central individuel	0,0646	1,2573
cuisinière chauffante	-0,0582	0,0279	cuisinière chauffante	0,2949	6,3616
appareil indépendant	0,131	2,6127	appareil indépendant	0,4464	28,9396
état revêtement de la façade - référence : moyen			état revêtement de la façade - référence : moyen		
comme neuf	-0,4224	55,856	comme neuf	-0,3871	35,4024
bon	-0,3016	55,9504	bon	-0,2631	24,7657
médiocre	0,1877	14,0936	médiocre	0,3952	35,3164
mauvais	0,4637	16,1892	mauvais	0,8875	28,5445
Insonorisation - référence : moyenne			Insonorisation - référence : moyenne		
bonne	-0,3735	67,2826	bonne	-0,3219	41,9427
médiocre	0,4003	106,101	médiocre	0,627	73,9958
localisation dans l'immeuble			année de construction - Référence : 1975-1981		
dernier étage	0,1338	11,1079	< 1871	0,3255	11,5666
rez-de-chaussée	0,2279	23,2675	1871-1914	0,00735	0,0073
exposition de la pièce principale - référence : sud			1968-1974	0,2267	6,0328
est	0,094	3,0936	1982-1989	0,0321	0,1244
inconnu	-0,2151	17,4767	1990-1999	0,1754	2,8735
nord	0,1766	10,3413	1915-1967	0,1648	4,4101
ouest	0,0757	1,8525	> 1999	0,0607	0,193
problème d'humidité - référence : non			problème d'humidité - référence : non		
oui	0,6678	310,9047	oui	0,5769	130,54
Statut d'occupation - référence : secteur libre post-1948			surface habitable - Référence : 87 à 100 m²		
HLM conventionné	0,3072	27,7401	<63	0,0307	0,0852
HLM non conventionné	0,3947	18,8919	63-70	-0,0963	0,3625
loi 1948	0,1303	3,0298	70-87	0,0538	0,4855
secteur libre avant 1949	0,0607	0,5377	> 200	0,4787	19,8789
social divers	0,2599	9,9477	100-130	0,0903	1,6131
sous-location ou divers	0,2889	7,0212	100-165	0,0933	1,2714
Occupation du conjoint - Référence : travaille			165-200	0,5159	22,2338
chômeur	-0,0207	0,0613			
étudiant	-3,9748	4,0467			
inactif	-3,8826	3,8326			
retraité	-3,9386	3,9325			
pas de conjoint	-0,3154	7,3457			
Part du chauffage dans le revenu - référence : q1 à q2			Part du chauffage dans le revenu - référence : q1 à q2		
< c5	-0,2447	8,5922	< c5	0,1089	1,0768
c5 à d1	0,0896	1,2427	c5 à d1	-0,3226	6,363
d1 à q1	-0,0311	0,3139	d1 à q1	0,0187	0,0597
q2 à q3	0,1852	14,4638	q2 à q3	0,2357	13,6986
q3 à d9	0,2117	13,5413	q3 à d9	0,4973	48,9962
d9 à c95	0,5451	42,7236	d9 à c95	0,5599	33,4561
> c95	0,6027	53,7311	> c95	0,771	70,613
Nationalité de la PR - Référence : français			Nationalité de la PR - Référence : français		
Afrique noire	0,0891	0,5188	Afrique noire	-11,4599	0,001
Autre Européen	0,3286	3,7913	Autre Européen	-0,2585	1,108
Autre ou apatride	-0,016	0,0101	Autre ou apatride	-11,1562	0,0091
Europe du sud	0,069	0,3929	Europe du sud	0,1126	0,4649
Sud Méditerranée	0,444	41,3463	Sud Méditerranée	0,7081	10,2757

Locataires d'appartements			Propriétaires de maisons individuelles		
	paramètre estimé	Chi-2 de Wald		paramètre estimé	Chi-2 de Wald
Type de ménage - Référence : couple biactif			Type de ménage - Référence : couple biactif		
femme seule	0,4094	12,6618	femme seule	0,2997	3,7726
femme+enfant(s)	0,5682	22,7223	femme+enfant(s)	0,5712	12,2849
homme actif+femme inactive	3,9217	3,9137	homme actif+femme inactive	11,7931	0,0002
homme inactif+femme active	0,2591	3,8334	homme inactif+femme active	-0,086	0,3009
homme inactif+femme inactive	3,7894	3,6484	homme inactif+femme inactive	11,5461	0,0002
homme seul	-0,0147	0,0156	homme seul	0,0704	0,1934
homme+enfant(s)	0,5029	8,3033	homme+enfant(s)	0,1098	0,2353
diplôme de la PR - Référence : bac			diplôme de la PR - Référence : bac		
non déclaré	-0,4878	0,0829	non déclaré	0,7762	0,3248
2-3cycle Universitaire	-0,052	0,5548	2-3cycle Universitaire	0,4122	21,7289
1cycle Universitaire	0,1693	5,0123	1cycle Universitaire	0,1779	3,0937
cap	0,0506	0,6898	cap	-0,0129	0,0271
bepc	0,0331	0,1663	bepc	-0,0703	0,3967
aucun	0,1417	5,2752	aucun	0,0165	0,0416
difficulté à payer le loyer - Référence : non			occupation de la PR - Référence : travail		
oui	0,3822	86,1588	chomeur	0,1452	1,5403
Sans objet	0,843	1,9804	étudiant	1,8141	9,2771
Température * date construction - Référence : 4,4 - 5°C, 1915-1967			inactif	-0,00808	0,0038
-1.3à3.8, < 1914	-0,2289	2,1521	retraité	-0,0743	0,4127
-1.3à3.8, 1915-1967	0,0626	0,3777	Occupation du conjoint - Référence : travail		
-1.3à3.8, 1968-1989	0,0999	0,9133	chomeur	0,385	12,0467
-1.3à3.8, > 1989	0,254	2,5323	étudiant	-10,8042	0,0002
3.8 à 4.4, < 1914	-0,4017	6,2386	inactif	-11,701	0,0002
3.8 à 4.4, 1915-1967	-0,1032	1,3377	retraité	-11,317	0,0002
3.8 à 4.4, 1968-1989	-0,1277	2,0385	pas de conjoint	0,2226	2,185
3.8 à 4.4, > 1989	0,2168	2,355	Peuplement - Référence : normal		
4.4 à 5, < 1914	0,0487	0,2183	sous peuplement modéré	-0,1471	3,6397
4.4 à 5, 1915-1967			sous peuplement prononcé	-0,2674	11,3461
4.4 à 5, 1968-1989	0,00479	0,0035	sous peuplement très accentué	-0,3176	14,1817
4.4 à 5, > 1989	-0,0246	0,0267	sur peuplement accentué	0,9794	9,4046
5 à 6.4, < 1914	-0,2192	2,2142	sur peuplement modéré	0,0999	0,3958
5 à 6.4, 1915-1967	-0,4665	15,7228	accédants et prêts - Référence : non		
5 à 6.4, 1968-1989	-0,228	3,7582	accédants	0,377	27,0268
5 à 6.4, > 1989	-0,4276	7,3949	prêts inconnu	0,2104	5,4373
6.4 à 7.9, < 1914	-0,4361	6,3923	prêts : oui	0,322	26,9466
6.4 à 7.9, 1915-1967	-0,5376	15,4585	Température - Référence : 4,2 à 5,5 °C		
6.4 à 7.9, 1968-1989	-0,4865	12,7493	-2.1 à 3.4	0,3199	11,3323
6.4 à 7.9, > 1989	-0,9918	23,1422	3.4 à 4.2	0,0374	0,2951
>à 7.9, < 1914	-0,8342	18,7059	5.5 à 6.7	-0,3162	5,5113
>7.9, 1915-1967	-1,2063	53,8555	6.7 à 7.8	-0,507	12,1541
> 7.9, 1968-1989	-1,1095	45,9877	> 7.8	-0,5347	10,6366
> 7.9, > 1989	-1,5974	33,9436			
température * âge de la PR - Référence : < 5°, 45-54 ans			température * âge de la PR - Référence : < 5°, 45-54 ans		
> 5°, 35-44ans	0,1164	1,7354	> 5°, 35-44ans	0,0524	0,1461
> 5°, 45-54ans	0,0267	0,0889	> 5°, 45-54ans	0,1205	0,8944
> 5°, 55-64ans	0,1686	2,888	> 5°, 55-64ans	0,1993	3,6737
< 5°, < 35ans	0,2729	10,5603	> 5°, < 35ans	0,2408	2,1045
< 5°, 35-44ans	0,1139	2,5339	< 5°, 35-44ans	-0,1246	2,2246
< 5°, 55-64ans	-0,0529	0,3803	< 5°, 55-64ans	-0,1569	2,6282
< 5°, < 35ans	0,2868	17,5878	< 5°, < 35ans	-0,1094	0,9198
< 5°, > 64ans	-0,2251	6,7664	< 5°, > 64ans	-0,4751	15,1661
Pluviométrie - Référence : 240 à 290 mm			Pluviométrie - Référence : 278 à 344 mm		
< 227	-0,2744	14,679	< 240	0,2022	5,2431
227 à 240	0,00783	0,015	240 à 278	0,3795	30,2654
290 à 380	-0,1335	5,9655	344 à 445	-0,2084	10,4651
380 à 480	-0,0157	0,0524	445 à 532	-0,0858	1,3062

Locataires d'appartements			Propriétaires de maisons individuelles		
	paramètre estimé	Chi-2 de Wald		paramètre estimé	Chi-2 de Wald
Altitude de la mairie - Référence : 50 à 100 m			Altitude de la mairie - Référence : 50 à 100 m		
0m	0,2298	12,7653	0m	0,1341	3,203
100 à 150m	0,0673	1,2882	100 à 200m	-0,0153	0,0599
150 à 250 m	-0,1121	3,1107	200 à 350 m	0,1789	5,7915
> 250m	-0,0398	0,2604	> 350m	0,0485	0,2443
Population - Référence : q1 à q2			Type d'espace - Référence : pôles urbains		
c0 à c5	-0,0751	0,6037	monopolarisé	-0,0993	0,7008
c5 à d1	0,0779	0,9867	multipolarisé	-0,4141	9,2388
d1 à q1	0,0336	0,364	pôles d'emploi ruraux	-0,1827	1,8902
q2 à q3	0,1792	12,6052	couronne pôles d'emploi ruraux	-0,6571	4,4311
> q3	0,2982	22,0755	autre espace à dominante rurale	-0,2655	4,0774
Type de commune - Référence : 1			Type de commune - Référence : 1		
VC99 0	0,2664	4,3367	VC99 0	0,1139	2,4887
VC99 2	0,1662	13,7239	VC99 2	-0,1994	3,2719
Zone climatique - Référence : océanique dégradé			Zone climatique - Référence : océanique dégradé		
bassin SO	0,1843	3,1388	bassin SO	0,0021	0,0003
méditerranéen altéré	0,4272	8,4859	méditerranéen altéré	0,2977	3,9539
méditerranéen franc	0,6423	33,4577	méditerranéen franc	0,22	3,21
montagne	0,0127	0,0125	montagne	-0,0768	0,3583
océanique altéré	0,0789	2,0363	océanique altéré	0,0451	0,3862
océanique franc	0,1685	3,3349	océanique franc	0,3852	20,4449
semi-continental	0,0292	0,1255	semi-continental	-0,1488	2,44
Insolation en janvier - Référence : 70 à 80 h			Insolation en janvier - Référence : 70 à 80 h		
< 60	-0,1148	2,1444	< 60	-0,0295	0,1008
60 à 70	-0,1315	4,1229	60 à 70	-0,3098	16,4564
80 à 100	-0,0302	0,3142	80 à 100	-0,0551	0,7338
> 100	0,1107	2,9505	100 à 130	-0,0122	0,025
			> 130	0,1017	1,0609
			Distance de migrations alternantes - Référence : 0 mn		
			11,6 à 20,3 mn	0,4028	8,9915
			20,3 à 29,5 mn	0,2313	2,884
			29,5 à 38,9 mn	0,3854	7,5199
			< 11,6 mn	0,2613	3,582
			> 38,9 mn	0,2698	3,2831

Chapitre 3

Fonctions de dépense et de consommation

1. Introduction

Pour ce qui concerne la France, Clerc et Marcus (2009) utilisent les séries temporelles longues des comptes nationaux trimestriels, ce qui leur permet de s'intéresser tout particulièrement à l'effet des prix sur la consommation d'énergie. Ils obtiennent pour l'énergie domestique une élasticité-prix qui est non significativement différente de zéro à court terme, et qui est faible à long terme ($-0,17$, significative au seuil de 15%). Pourtant, l'élasticité-prix de long terme estimée sur des séries agrégées est souvent plus grande que celle estimée sur des données désagrégées (Jeroen et van den Brgh, 2008), ce qui semble indiquer que la demande d'énergie est très inélastique à son prix.

Des données macroéconomiques sont également utilisées par Girault (2011) pour expliquer les variations régionales de la consommation finale d'énergie par région. Il s'agit de la consommation agrégée des ménages et des activités économiques : nous ne nous arrêterons donc pas sur les résultats, qui ne concernent pas que le logement (le secteur résidentiel et tertiaire, le plus proche de notre domaine d'intérêt, représente 41 % du total).

Des données de groupe (ce qui ne permet pas de tenir compte de l'hétérogénéité des ménages) sont exploitées par Penot-Antoniou et Têtu (2010) à partir d'un pseudo-panel des enquêtes annuelles du CEREN (1984-2006). La fonction de demande d'énergie par m^2 , totale ou consacrée au seul chauffage principal, dépend de son prix, du climat, du *trend* national du revenu moyen et d'un *trend* temporel résiduel. Des estimations séparées permettent de distinguer les maisons individuelles des appartements et les immeubles récents de ceux construits avant 1975. Les résultats (encore partiels au moment de la publication) montrent que l'élasticité-prix est significativement négative ($-0,25$). Elle est beaucoup plus faible pour le chauffage au fioul ($-0,1$) ou au gaz que pour le chauffage électrique (entre $-0,4$ et $-1,5$). Le climat exerce un effet important sur la dépense énergétique (de l'ordre de -6 à 8 % pour $+10\%$ de degrés-jours). La variable rendant compte du revenu est trop approximative pour que l'effet de celui-ci puisse être correctement estimé.

Pour ce qui concerne les estimations que nous allons réaliser, nous retiendrons qu'il est préférable de raisonner sur des segments séparés du parc immobilier, maisons individuelles et appartements, et sur les différents modes de chauffage principal, puisque les paramètres estimés sont nettement différents pour ces sous-ensembles : une estimation sur l'ensemble des logements risquerait de faire perdre un des intérêts principaux lié à l'utilisation de données individuelles en conduisant à des moyennes qui pourraient n'avoir que peu de sens.

Toujours dans le cas français, ce sont les données individuelles de l'enquête INSEE *budget des familles* de 2006 qu'utilisent Calvet et Marical (2010). L'ensemble du parc, maisons

individuelles et appartements, est analysé dans une régression économétrique unique (contrairement à ce qui est fait par Penot-Antoniou et Têtu, 2010) expliquant la dépense énergétique par mètre carré. L'avantage de cette estimation unique est de montrer (par une variable indicatrice « maison ») que, toutes choses égales par ailleurs, la consommation énergétique par m² est de 24 % supérieure dans les maisons individuelles que dans les appartements. Mais il y a des différences considérables entre les maisons individuelles et les appartements, tant en ce qui concerne les caractéristiques des logements que de celles des ménages qui y habitent. L'inconvénient de la méthode de Calvet et Marical (2010) est que ces différences ne sont sans doute que partiellement captées par la variable indicatrice « maison ». Dans ce cas, les autres paramètres estimés dans les équations économétriques risquent d'être biaisés.

Les résultats économétriques de Calvet et Marical (2010) montrent que, par rapport au chauffage électrique (référence), le gaz de ville fait augmenter la facture énergétique de 5 % (gaz de ville) et de 28 % (fioul⁹), alors qu'elle est de 25 % inférieure pour les autres modes de chauffage. La cherté du fioul en 2006 (cf. infra) explique cet écart, au moins en grande partie. Le revenu du ménage n'a pas d'effet significatif sur la dépense et celui de l'âge est limité aux plus jeunes (+ 6 % par rapport aux 40-50 ans qui sont la référence) et aux plus âgés (+ 8 %). Le nombre de personnes actives du ménage est également sans effet significatif sur la dépense. Le fait d'être propriétaire ou locataire du logement, le genre de la personne de référence, la date de construction de l'immeuble, et la localisation sont également sans effet significatif sur la dépense. Il ne faut pas exclure que cette absence d'effet pour un grand nombre de variables puisse résulter du biais dû à l'hétérogénéité des observations, alors que dans l'équation les maisons individuelles et les appartements sont confondus.

Grâce aux statistiques descriptives, Calvet et Marical (2010) font ressortir l'effet du cycle de vie sur la dépense en énergie. La dépense totale augmente avec l'âge de la personne de référence du ménage jusqu'à 40-50 ans, puis elle diminue. Mais la dépense par m² est assez stable au cours du cycle de vie, avec seulement une légère décroissance après la soixantaine. La différence s'explique par l'accroissement de la taille du logement : elle double entre ceux des plus jeunes et ceux des quadragénaires. La diminution de la surface habitable est ensuite très faible entre ces derniers et les seniors (environ – 10 %). Il en résulte un effet positif de l'âge sur la part budgétaire, en partie dû aux logements sous-occupés par ces seniors, qui déménagent peu malgré la réduction de la taille de leur ménage (départ des enfants, décès, divorces).

Calvet et Marical (2010) montrent également que la dépense énergétique par m² de surface habitable ne varie pratiquement pas avec le revenu (ce que montre également l'équation économétrique commentée plus haut), mais qu'elle augmente en valeur absolue avec ce dernier car les logements des ménages à haut revenu sont plus grands.

Au total, sauf omissions de notre part, les travaux menés à partir de données microéconomiques et publiés dans des périodiques sur la dépense énergétique en France sont rares. Ils émanent principalement du Commissariat général au développement durable, qui publie les résultats dans ses revues (« Le point sur », « Etudes et documents »). Les moteurs de recherche ne mentionnent aucun travail portant sur la France publié par une revue scientifique internationale depuis 2000.

⁹ Les statistiques descriptives montrent que les ménages qui se chauffent au gaz ou à l'électricité dépensent en moyenne 14 euros par m² et ceux qui sont chauffés au fioul 20 euros par m².

2. Méthode : quelle fonction estimer ?

2.1 Approche discrète – continue dans la littérature internationale

Il s'agit de la modélisation économétrique utilisée lorsque le comportement dépend d'une variable discrète (le choix du mode de chauffage) et d'une variable continue (la quantité de consommables). Nous avons envisagé d'utiliser cette méthode. Nous verrons cependant qu'elle ne peut être mise en œuvre compte dans le cas français, pour des raisons tenant aux données.

Nesbakken (1998 ; 2001) expose le problème et applique cette méthode à la dépense en chauffage domestique en Norvège. Le problème provient de ce qu'un ménage qui doit décider de son chauffage choisit d'abord un mode de chauffage (chaudière au fioul, au gaz, etc., convecteurs électriques), ce qui est une variable discrète, puis il règle la consommation du type d'énergie choisi, en particulier en fonction du prix de ce consommable. Les deux choix ne sont pas indépendants : il peut être judicieux d'investir dans un type de chauffage performant qui permet de réaliser des économies de consommables, ou au contraire de réduire le coût initial en supportant chaque année des factures plus élevées.

Dubin et McFadden (1984) ont été les premiers à proposer une solution économétrique de ce problème. Des variables discrètes étaient, depuis longtemps, utilisées dans l'estimation de variables continues mais ici, du fait du choix simultané de la variable discrète et de la variable continue, la première est endogène. Dubin et McFadden (1984) utilisent une méthode en deux étapes, alors que Nesbakken (2001) fait une estimation simultanée des deux choix, dans une fonction AIDS (*Almost Ideal Demand Function*). Les données norvégiennes qu'il utilise semblent adaptées à ce modèle. Malheureusement, comme nous allons le voir, il n'en est pas de même dans le cas de la France.

2.2 L'impossibilité d'estimer une *fonction Almost ideal system demand* (AIDS)

Nous présentons en annexe de ce chapitre le projet de recherche initial. Il s'agissait d'estimer une fonction de demande *Almost Ideal System Demand* (AIDS) dans lequel intervenait le coût initial d'achat du mode de chauffage et les prix des différentes sources d'énergie. Pour des raisons que nous allons développer, cette méthode s'est révélée inadaptée au cas français. En effet, le prix des différents modes de chauffage ne varie pas de façon simple en fonction du mode de chauffage (section 2.2.1.) et la variabilité du prix de l'énergie est insuffisante dans les enquêtes Logement de l'INSEE utilisées ici (section 2.2.2). C'est pourquoi nous avons employé une autre méthode, moins ambitieuse sur les plans théorique et économétrique, mais plus adaptée à la question et qui a donc permis d'obtenir des résultats appliqués plus intéressants.

2.2.1 Choix du mode de chauffage et de l'équipement énergétique

Comme nous venons de le voir, il est nécessaire de tenir compte du coût de l'investissement initial dans un mode de chauffage et du coût variable de la consommation annuelle en énergie. L'idée, assez intuitive, est qu'un ménage est prêt à faire un investissement important si cela réduit son coût variable, alors qu'un investissement plus

faible accroîtrait ce dernier. Pour analyser l'intérêt de cette méthode, nous avons donc étudié, tout d'abord, le coût fixe que constitue l'achat de l'équipement de chauffage du logement.

Le coût de l'investissement initial peut être déterminé à dire d'expert, ou estimé économétriquement dans une équation hédoniste où le prix du logement dépend, entre autres attributs, de l'équipement choisi. La première méthode utilise les travaux de Trotignon et al. (2009). Les résultats sont issus d'une enquête de terrain auprès des installateurs et relative aux équipements posés (construction neuve et entretien-amélioration) sur le premier chantier qu'ils ont réalisé en septembre 2008. Les coûts de l'installation des équipements du poste « chauffage » sont indiqués dans le tableau 37.

Par rapport au chauffage électrique de base, une chaudière à gaz ou au fioul coûte 11% de plus pour un équipement de base. Le chauffage utilisant la biomasse est 13% moins cher que le chauffage électrique lorsqu'il s'agit d'un poêle à bûches, mais il est 66% plus cher pour un équipement de niveau médium. Les rapports de prix s'inversent entre les niveaux « basic » et « médium ».

	Niveau basic	Niveau médium	Niveau optimun
Chauffage électrique	Convecteur, radiateur à fluide ou à accumulation 6170 €	Panneau rayonnant, plancher ou plafond rayonnant 8280 €	Pompe à chaleur 14640 €
Chauffage gaz ou fioul	Chaudières standard gaz ou fioul 6820 €	Chaudières basse température gaz ou fioul 5930 €	Chaudières à condensation gaz ou fioul 8610 €
Chauffage biomasse	Poêle à bûche 5335 €	Poêle à granulé ou chaudière à bois 13690 €	Chaudière bois associé au solaire thermique Non disponible

Source : Trotignon et al. (2009)

Tableau 44. Prix de l'équipement de chauffage selon son type (installation, maisons individuelles)

De plus, le mode de chauffage se raisonne le plus souvent en même temps que le niveau de performance des équipements d'isolation thermique. Ceux-ci sont également connus par la même enquête, à partir des travaux d'artisans et d'entreprises. Les résultats sont indiqués dans le tableau 38. Il en ressort que le double vitrage des fenêtres est d'un coût comparable à celui de l'installation de chauffage pour le niveau de base et inférieur pour le niveau médium. La protection thermique des murs, façade et toit est plus chère, mais le surcoût d'une isolation « médium » ou « optimale » est moins onéreux que l'équipement de chauffage du niveau correspondant.

	Niveau basic	Niveau medium	Niveau optimun
Fenêtre PVC	Jusqu'à TH9 Coût par chantier : 4540 €	TH10 Coût par chantier : 4810 €	TH11 Coût par chantier : Non renseigné
Fenêtre ALU	Jusqu'à TH7 Coût par chantier : 5860 €	TH8 Coût par chantier : 6000 €	TH9 ou plus Coût par chantier : 6740 €
Rénovation d'intérieur	Isolation des murs Coût par chantier : 10020 €	Isolation murs et combles Coût par chantier : 16510 €	Isolation des murs, combles et plancher Coût par chantier : 20880 €
Rénovation de façade	Façade non isolée Coût par chantier : 10970 €	Isolation épaisseur < 100 mm Coût par chantier : 11680 €	Isolation épaisseur > 100 mm Coût par chantier : 13410 €
Rénovation de toiture	Toiture non isolée Coût par chantier : 11170 €	Isolant : film Coût par chantier : 12160 €	Isolant épais Coût par chantier : 13930 €

Source : Trotignon et al. (2009)

Tableau 45. Prix des ouvertures et parois opaques (maisons individuelles)

Au vu de ces données d'expert :

- Il n'apparaît pas de hiérarchie claire des principaux modes de chauffage en fonction du type d'énergie utilisée, fioul, gaz, électricité ou biomasse.
- Des différences importantes existent entre les niveaux de base, medium et optimal de ces équipements. Or, le niveau auquel se situe l'équipement de chauffage d'un logement ne peut être connu à partir des variables des enquêtes Logement.
- Le coût de l'équipement de chauffage est d'un montant comparable à celui de l'isolation des ouvertures, il est légèrement inférieur au surcoût d'une isolation moyenne des parois opaques, et d'un ordre de grandeur comparable au surcoût d'une isolation optimale de celles-ci.
- L'investissement en équipement de chauffage représente quelques années de dépense énergétique (de l'ordre de 1500 €/an pour les maisons individuelles) : de l'ordre de quatre années pour le niveau basic, 4 à 8 ans pour le niveau médium.

Il est possible qu'à ce coût d'investissement initial s'ajoute le coût de gros travaux périodiquement réalisés, et que ce coût soit différent selon le mode de chauffage. Nous disposons dans les enquêtes Logement (les vagues 2002 et 2006 ont été retenues) des gros travaux réalisés, en particulier en matière énergétique, ce qui permet d'en calculer le prix lorsqu'il peut être individualisé (ce qui est le cas lorsqu'un seul type de gros travaux a été réalisé durant les 12 mois précédant l'enquête).

Le Tableau 39 indique les résultats.

	Enquête 2002			Enquête 2006		
	Nombre	Prix moyen (€)	Date de construction (médiane)	Nombre	Prix moyen (€)	Date de construction (médiane)
Chauffage central	408	4344	38	209	4059	35
Chauffage électrique	104	3242	28	62	3972	28
Isolation thermique	189	2727	48	107	2504	35
Cheminées, inserts	88	3538	17	52	3168	24
Doubles fenêtres, menuiserie	881	4587	48	529	4245	35

Sources : Enquêtes Logement 2002, 2006

Tableau 46. Gros travaux d'équipement de chauffage ou d'isolation

Les gros travaux sur l'équipement de chauffage ou l'isolation coûtent un peu moins cher que l'investissement initial pour les systèmes de chauffage principal (niveau basic), à peu près autant que le surcoût d'une isolation (façade, toiture) et autant que la pose initiale de doubles fenêtres. Si on admet que la déclaration lors de l'enquête Logement porte sur la première vague de grands travaux depuis la construction de l'immeuble, la périodicité est de l'ordre de 30 à 50 ans, hormis pour les travaux de cheminées et d'inserts.

Ces éléments sur le gros entretien ne changent pas l'analyse précédente : l'isolation du logement est un poste de dépense important en regard de l'appareil de chauffage principal et le coût de l'équipement et du gros entretien de ce dernier ne peut être différencié à partir des variables des enquêtes Logement en fonction de la qualité de l'équipement choisi.

La seconde méthode que nous avons envisagée pour renseigner le coût de l'investissement en mode de chauffage est un modèle de prix hédoniste, dans lequel le prix du logement s'expliquerait, entre autres variables, par le mode de chauffage choisi. Nous avons tenté d'estimer une telle équation. Cela conduit à des paramètres non significatifs pour la variable de mode de chauffage, ce qui n'est pas étonnant compte tenu de ce qui vient d'être dit à partir de données d'experts.

Les logements utilisant un appareil indépendant comme mode de chauffage principal (ou ceux qui n'ont pas de chauffage) ont, évidemment, un coût d'équipement nettement inférieur aux autres. Ils représentent 8,22% des logements, qui se répartissent comme l'indique le tableau 40. Il semble possible d'agréger ces 7 types pour examiner les caractéristiques des logements correspondants. Ils ne sont pas particulièrement petits (médiane : 80 m²). Ce sont pour la plupart des logements d'immeubles anciens, voire très anciens. Il s'agit de maisons individuelles (79,6%), d'appartements (15,7%) ou de fermes (3,3%). Les autres modalités sont très rares. Ces logements présentent souvent des signes d'humidité (39% contre 24% pour l'ensemble). Les habitants ont un peu plus froid durant l'hiver (14% ont eu froid pendant 24h au moins, contre 10% pour l'ensemble).

type	nombre	%	type (en clair)
00	39	0.12	Pas de chauffage
06	532	1.65	Cuisinière chauffante
07	18	0.06	Chauffage par le sol ou le plafond
08	1756	5.46	Appareils indépendants chauffage
09	250	0.78	Cheminée à foyer fermé
10	11	0.03	Cheminée radiante
11	38	0.12	Cheminée à foyer ouvert

Source : Enquête Logement 2002

Tableau 47. Utilisation d'appareils indépendants de chauffage comme mode principal

Ces logements sont souvent localisés dans des régions au climat doux, mais par toujours, comme le montre le tableau 41.

N°	nombre	%	Nom région
Région	logements		
11	92	3.48	Ile-de-France
11	92	3.48	Ile-de-France
21	65	2.46	Champagne-Ardenne
22	126	4.77	Picardie
23	54	2.04	Haute-Normandie
24	75	2.84	Centre
25	83	3.14	Basse-Normandie
26	81	3.06	Bourgogne
31	529	20.01	Nord-Pas-de-Calais
41	86	3.25	Lorraine
42	48	1.82	Alsace
43	61	2.31	Franche-Comté
52	84	3.18	Pays de la Loire
53	79	2.99	Bretagne
54	150	5.67	Poitou-Charentes
72	184	6.96	Aquitaine
73	138	5.22	Midi-Pyrénées
74	68	2.57	Limousin
82	178	6.73	Rhone-Alpes
83	61	2.31	Auvergne
91	131	4.95	Languedoc-Roussillon
93	255	9.64	Provence-Alpes-Cote d'Azur
94	16	0.61	Corse

Source : Enquête Logement 2002

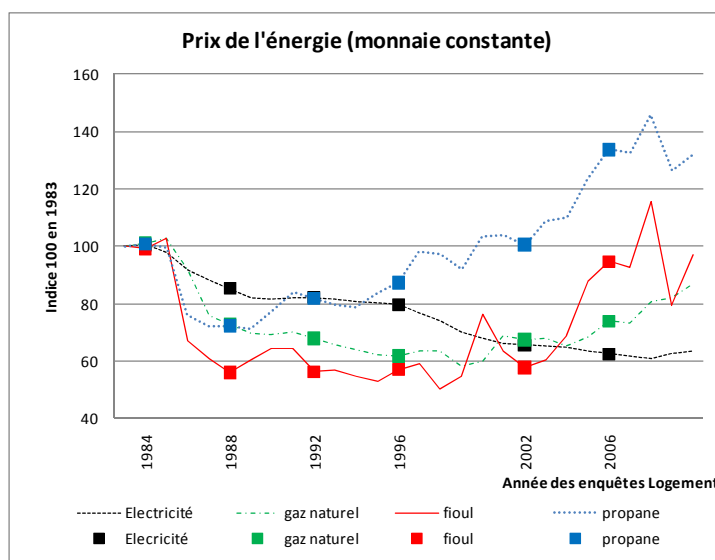
Tableau 48. Localisation des logements utilisant des appareils indépendants de chauffage comme mode principal

Au vu de ces données, il ne nous a pas semblé utile de retenir deux modalités pour la variable discrète du mode de chauffage, la première étant les appareils indépendants de

chauffage (et assimilés) et la seconde les autres modes principaux, chaudières ou convecteurs électriques.

2.2.2 Les prix de l'énergie

Nous disposons de six prix pour chacune des sources d'énergie principale, extraites de la base Pégase (Pétrole, Electricité, Gaz et Autres Statistiques de l'Energie) du Service de l'Observation et des Statistiques (SOeS). Ce sont des prix moyens pour l'ensemble de la France. Dans la réalité, la variabilité régionale est nulle (électricité à tarif d'abonnement donné) ou faible (fioul). La figure 13 montre que ces prix nationaux sont suffisamment différents pour qu'on puisse espérer obtenir des estimations consistantes des élasticités-prix.



Source : Pégase, SOeS.

Lecture : Les points correspondent aux époques des enquêtes Logement, les courbes aux prix mensuels

Figure 29. Evolution du prix de l'énergie (période 1983-2010 et années des enquêtes Logement)

Cependant, un problème vient de ce que le gaz naturel et l'électricité, dont les évolutions de prix sont assez différentes, ne sont systématiquement distingués dans les consommations énergétiques que dans les enquêtes Logement de 2002 et 2006. Pour les enquêtes précédentes, les deux postes de dépense sont souvent regroupés. De ce fait, nous ne disposons que de deux prix différents, ceux des deux dernières enquêtes, ce qui ne permet pas d'analyser la variation de la consommation en fonction du prix (en particulier : élasticité-prix). Un second problème provient de ce que le prix des autres biens avec lesquels il eut été possible d'estimer des relations de *substituabilité* – *complémentarité* sont des biens fixes, comme le prix de la surface habitable, d'éléments de confort ou d'équipements du logement, par rapport auxquels une relation de *substituabilité* – *complémentarité* avec le bien variable que constitue l'énergie consommée annuellement n'a pas de sens. Nous devons donc éliminer les variables de prix des équations estimées de fonctions de demande.

2.3. Les fonctions de dépense et de consommation estimées

Puisqu'il était impossible d'estimer des fonctions de demande faute d'éléments suffisants sur les prix des modes de chauffage (variable discrète) et de l'énergie (variable continue), nous avons estimé des équations expliquant la dépense en énergie (en euros), la

consommation énergétique (en 100Kwh) et les émissions de CO₂ (en centaines de kilogrammes) par des caractéristiques :

- du ménage : le revenu (en quantiles), l'âge, le diplôme, la catégorie socio-professionnelle, le genre de la personne de référence, le mode d'occupation (propriétaire accédant ou non accédant, locataire selon la part du loyer dans le revenu), la composition (personne seule, nombre d'enfants, nombre d'actifs), la date d'arrivée dans le logement.
- du logement : la date de construction de l'immeuble, la surface habitable, la surface moyenne des pièces, le nombre de salles d'eau, la présence de cheminées (radiantes ou inserts), l'isolation du toit, le double-vitrage et la qualité de la fermeture des fenêtres, le chauffage par le sol, la climatisation, la présence de traces d'humidité, la hauteur du plafond de la pièce principale et son exposition, le type de sol de la pièce principale, la réalisation de gros travaux (concernant le chauffage central, l'installation électrique, la cheminée, l'installation d'eau chaude, la menuiserie, l'isolation thermique).
- de la localisation : la température hivernale (moyenne de novembre à mars), les précipitations (même période), l'ensoleillement en janvier, la distance à la commune centre de l'aire urbaine la plus proche, la localisation dans le zonage ZAUER de l'INSEE.

Comme on le voit, le nombre de caractéristiques retenues est élevé. D'autres auraient pu être introduites dans les équations, tant sont nombreuses les variables renseignées dans les enquêtes Logement de l'INSEE ; des interactions auraient également pu être ajoutées. Mais il n'aurait pas été raisonnable de multiplier le nombre des variables des équations économétriques car cela aurait entraîné des multi colinéarités.

3. Les données et la méthode

Les enquêtes Logement successives de l'INSEE diffèrent selon les questions posées aux enquêtés et les modalités retenues pour les réponses à choix multiples (la nomenclature et le codage des variables varient également d'une enquête à l'autre). De ce fait, il n'était pas possible de retenir les six enquêtes pour lesquelles nous disposons de données (1984 à 2006). Nous n'avons utilisé dans ce chapitre que les deux dernières enquêtes Logement, réalisées en 2002 et 2006.

Ainsi que l'a suggéré l'aperçu de la littérature que nous avons présenté, il est nécessaire de distinguer les maisons individuelles et les appartements car la dépense et la consommation d'énergie diffèrent fortement selon ces deux types de logements. Il est également utile de distinguer les différents modes de chauffage principaux, faute de pouvoir estimer une équation unique dans laquelle ils prendraient différentes valeurs discrètes.

Le tableau 42 indique quels sont les modes de chauffage principaux en 2002 et 2006. Nous retenons quatre types pour les maisons individuelles : le chauffage électrique individuel, les chaudières individuelles au gaz, celles au fioul et l'ensemble constitué par les appareils indépendants de chauffage, les cuisinières chauffantes et les cheminées (à foyer fermé ou ouvert, cheminées radiantes). Pour les appartements, trois types sont retenus : le chauffage électrique individuel, les chaudières individuelles au gaz et le même ensemble que pour les maisons, appareils indépendants de chauffage, cuisinières chauffantes et cheminées (à foyer fermé ou ouvert, cheminées radiantes). Les autres modes sont trop peu répandus pour qu'on puisse espérer en tirer des résultats consistants.

Mode de chauffage principal	maisons individuelles		appartements	
	Nombre	Pourcentage	Nombre	Pourcentage
Pas de chauffage	217	0,57	65	0,41
Autres moyens*	4061	10,74	1116	7,01
Individuel électrique	10848	28,68	7083	44,52
Central gaz de ville	12381	32,73	7135	44,85
Central fioul	8199	21,67	160	1,01
Central propane	1474	3,9	66	0,41
Central bois / charbon	652	1,72	12	0,08
Central collectif	140	0,37	4	0,02
Chauffage urbain	65	0,17	338	2,11
Mixte individuel / collectif	7	0,02	0	0
Total	37827	100	15914	100

* : cuisinière chauffante, appareils indépendants de chauffage, cheminée

Source : enquêtes Logement 2002, 2006

Tableau 49. Mode de chauffage du logement (effectifs)

Les logements pour lesquels les dépenses de chauffage ou d'eau chaude étaient incluses dans les charges de copropriété ou les charges locatives ont été exclus, puisqu'il n'était pas possible de connaître le montant de ces postes de dépense. Nous avons également exclu les observations pour lesquelles la dépense correspondant à l'énergie du mode de chauffage principal était non renseignée (ou nulle). Il y a 177 maisons individuelles et 237 appartements chauffés à l'électricité pour lesquels la dépense en électricité est inconnue (respectivement 1,6% et 3,3% des effectifs correspondants). Il y a 142 maisons individuelles chauffées au fioul (1,7% de l'effectif correspondant) où la dépense en fioul est inconnue (il est également possible qu'aucun achat de fioul au cours de l'année écoulée n'ait été effectué). On peut considérer qu'il s'agit là de cas marginaux. Il n'en est pas de même pour le gaz de ville : la dépense en gaz de ville est non renseignée pour 1790 maisons individuelles et 1078 appartements utilisant ce mode de chauffage (respectivement 14,5% et 15,1% de l'effectif). Les centiles extrêmes des distributions ont également été exclus.

Les effectifs sur lesquels ont été effectuées les estimations économétriques sont donnés par le tableau 43.

Mode de chauffage principal	maisons individuelles		appartements	
	Nombre	Pourcentage	Nombre	Pourcentage
Individuel électrique	10592	0,32	6769	0,49
Central gaz de ville	10504	0,32	5985	0,43
Central fioul	7978	0,24		
autres modes	4061	0,12	1116	0,08
Total	33135	1,00	13870	1,00

Source : enquêtes Logement 2002, 2006

Tableau 50. Nombre d'observations utilisées dans les estimations économétriques

Les consommations en valeur (euros courants) de chaque type d'énergie sont directement connues par les enquêtes Logement 2002 et 2006. Le calcul de la quantité correspondant à cette dépense est effectué en utilisant les prix pour 100KWh fournis par la base de données Pegase du SOeS (<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-ligne/telechargement/pegase.html>). Il s'agit du prix complet (abonnement et consommation) correspondant au type de contrat habituel selon le type de logement et la source d'énergie utilisée. Le passage aux émissions de CO2 se fait en utilisant les facteurs de conversion fournis par le SOeS¹⁰. Il s'agit des facteurs de conversion officiels publiés par l'arrêté du 15 septembre 2006 spécifiant le cadre des diagnostics de performance énergétique (JO du 28 septembre 2006). Ils sont exprimés en kilogrammes de CO2 par kilowattheure PCI d'énergie finale. Il n'est pas possible de tenir compte de la différenciation du coefficient de conversion de l'électricité selon les usages (les normes sont de 0,180 kg de CO2 pour le chauffage et de 0,040 pour les autres usages), puisque seul le montant global de la dépense est connu.

	TOUS USAGES
Bois, biomasse.....	0,013
Gaz naturel.....	0,234
Fioul domestique.....	0,300
Charbon.....	0,384
Gaz propane ou butane.....	0,274
Autres combustibles fossiles.....	0,320
Electricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment.....	0
Electricité (hors électricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment).....	0,084

Tableau 51. Facteurs d'émission de CO2 selon le type d'énergie

Les données climatiques utilisées ont été présentées précédemment (chapitre 1, section 2.5). Dans la littérature, il est habituel d'utiliser des degrés-jours pour estimer la consommation d'énergie de chauffage. Cependant, nous ne disposons dans la base de données acquise auprès de Météo France que des températures moyennes mensuelles. Pour 19 stations météo, les degrés-jours mensuels nous ont été communiqués par le SOeS pour la période 1970-2000 (pour laquelle nous disposons des températures). Nous avons vérifié que la corrélation entre température moyenne mensuelle et degrés jours était très forte pour ces stations et la période : elle varie entre 0,95 (Marseille, Montpellier) et 0,99 (Caen, Dijon, Besançon, Rennes, Orléans, Nancy, Lille, Beauvais, Clermont-Ferrand, Strasbourg, Rouen, Poitiers, Paris). L'acquisition de nouvelles données auprès de Météo France n'a donc pas semblé utile : ce sont les températures moyennes mensuelles qui ont été utilisées dans les régressions.

Sur le plan économétrique, les estimations ne présentent pas de problème particulier. Il n'y a pas de raison de suspecter une endogénéité des variables explicatives due à un choix simultané de celles-ci et de la variable endogène (mais l'endogénéité due à des variables omises ou à des erreurs de mesure ne peut être exclue). Ne disposant pas du géoréférencement des logements enquêtés, la correction d'éventuelles autocorrélations spatiales d'observations situées dans la même commune est impossible. Nous vérifions que des multicollinéarités n'affectent pas les paramètres estimés par le *condition index* (Greene, 2003). Les estimations sont faites par les moindres carrés ordinaires.

¹⁰ Des facteurs d'émission plus détaillés ont été publiés dans l'arrêté du 28 juillet 2005 et repris dans la 7ème édition de la note du CITEPA intitulé « Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France » (OMINEA, février 2010).

4. Résultats : statistiques descriptives

4.1 La dépense énergétique

Les tableaux 45 et 46 indiquent, respectivement pour les maisons individuelles et les appartements, la dépense annuelle en chaque type d'énergie selon le mode de chauffage, ainsi que la consommation en centaines de KWh et l'émission de CO₂ en centaines de kg.

Parmi les maisons individuelles, celles qui sont chauffées par des chaudières individuelles au fioul enregistrent la dépense la plus élevée : 1825 € par an, soit environ un tiers de plus que celles chauffées au gaz de ville et 40 % de plus que celles utilisant un chauffage individuel électrique. Le prix du fioul en 2006 a connu une augmentation d'environ 40 % par rapport à son prix moyen de la période 1988-2002 (cf. figure 13), ce qui explique une part importante du surcoût de cette source d'énergie. Les autres types de chauffage sont à des niveaux proches : dépense de 1279 €/an pour le chauffage individuel électrique, 1373 €/an pour les chaudières au gaz et 1173 €/an pour les autres modes de chauffage.

Les maisons individuelles équipées d'une chaudière à mazout sont nettement plus grandes que celles utilisant un autre mode de chauffage : 123 m², contre 105 m² (chauffage électrique), 109 m² (chaaudière au gaz de ville) et 97 m² (autres modes de chauffage). Si bien que le surcoût du chauffage central au fioul se réduit lorsqu'on raisonne par mètre carré de surface habitable : il est d'environ 20 % par rapport aux trois autres modes de chauffage retenus, ces derniers se tenant dans une fourchette de 12 à 12,6 euros par mètre carré.

La dépense énergétique des appartements est plus faible que celle des maisons individuelles, comme le montre le tableau 46. C'est le gaz de ville qui est le plus cher, avec une facture annuelle de 885 euros, alors qu'elle n'est que de 718 € pour le chauffage électrique et 789 € pour les autres modes. La différence entre les deux types de logement s'explique essentiellement par leur taille, les appartements étant en moyenne bien plus petits que les maisons individuelles. Si bien qu'en ramenant la dépense énergétique aux mètres carré de surface habitable, on obtient une dépense unitaire presque identique (chaudière fonctionnant au gaz de ville) ou supérieure dans les appartements : + 10 % avec le chauffage électrique et + 17 % pour les autres modes de chauffage. On pourrait penser que le chauffage d'un appartement est moins coûteux au mètre carré que celui d'une maison individuelle, puisqu'il bénéficie d'apports de chaleur venant d'appartements contigus ou situés au-dessous.

Mais, d'une part, les différences ne sont pas considérables et, d'autre part, il ne s'agit que de statistiques descriptives : il est possible que cette différence en défaveur des appartements s'explique par certaines caractéristiques des logements ou des ménages qui les habitent.

L'examen de la structure de la dépense énergétique montre, tout d'abord, que les logements disposant de chaudières au gaz de ville ou au fioul consacrent autour du tiers de leur facture énergétique au paiement d'électricité (entre 31 et 39 %), ce qui correspond aux besoins pour l'éclairage, l'électroménager, l'informatique, des appareils de chauffage de complément, etc. Les maisons individuelles à chauffage électrique achètent une quantité importante de bois (8,7 % de leur facture énergétique), utilisé dans des cheminées, alors que seulement 2 % de la dépense est affecté à ce poste dans les maisons chauffées au fioul ou au gaz de ville. On peut penser que, dans le premier cas, l'électricité pourvoit au chauffage de base du logement et que la cheminée fournit un chauffage d'appoint pour la (ou les) pièce(s) habitée(s) selon le moment de la journée (salle de séjour, chambres). Dans le second cas, il est probable que ce réglage fin du chauffage selon les pièces et l'heure est négligé au profit d'un chauffage plus uniforme, ce qui rend l'utilisation d'une cheminée superfétatoire.

chauffage électrique individuel							
	nombre d'observations	montant de la dépense annuelle (€)	montant de la dépense annuelle par m ² (€)	quantité énergie (100KWh)	quantité énergie par m ² (100KWh)	émissions de CO2 (100 kg)	émissions de CO2 par m ² (100 kg)
nombre	10592						
électricité		1079,27	10,32	98,21	0,94	8,25	0,08
gaz de ville		7,10	0,07	0,90	0,01	0,21	0,00
fioul		7,96	0,08	1,70	0,02	0,51	0,00
bois, charbon		110,91	1,06	36,14	0,35	0,47	0,00
gaz bouteille		73,65	0,70	4,93	0,05	1,35	0,01
total		1278,89	12,23	141,88	1,36	10,79	0,10
chaudière individuelle au gaz							
	nombre d'observations	montant de la dépense annuelle (€)	montant de la dépense annuelle par m ² (€)	quantité énergie (100KWh)	quantité énergie par m ² (100KWh)	émissions de CO2 (100 kg)	émissions de CO2 par m ² (100 kg)
nombre	10504						
électricité		507,11	4,66	36,02	0,33	3,03	0,03
gaz de ville		832,79	7,66	179,00	1,65	41,89	0,39
fioul		0,75	0,01	0,13	0,00	0,04	0,00
bois, charbon		24,16	0,22	7,66	0,07	0,10	0,00
gaz bouteille		7,74	0,07	0,31	0,00	0,09	0,00
total		1372,55	12,62	223,12	2,05	45,15	0,42
chaudière individuelle au fioul							
	nombre d'observations	montant de la dépense annuelle (€)	montant de la dépense annuelle par m ² (€)	quantité énergie (100KWh)	quantité énergie par m ² (100KWh)	émissions de CO2 (100 kg)	émissions de CO2 par m ² (100 kg)
nombre	7978						
électricité		575,65	4,68	49,66	0,40	4,17	0,03
gaz de ville		7,36	0,06	0,93	0,01	0,22	0,00
fioul		1118,05	9,10	233,26	1,90	69,98	0,57
bois, charbon		36,35	0,30	11,74	0,10	0,15	0,00
gaz bouteille		87,99	0,72	6,97	0,06	1,63	0,01
total		1825,40	14,86	302,56	2,46	76,15	0,62
autres modes de chauffage							
	nombre d'observations	montant de la dépense annuelle (€)	montant de la dépense annuelle par m ² (€)	quantité énergie (100KWh)	quantité énergie par m ² (100KWh)	émissions de CO2 (100 kg)	émissions de CO2 par m ² (100 kg)
nombre	4061						
électricité		700,92	7,22	47,43	0,49	3,98	0,04
gaz de ville		36,47	0,38	4,71	0,05	1,10	0,01
fioul		98,65	1,02	21,77	0,22	6,53	0,07
bois, charbon		215,65	2,22	71,18	0,73	0,93	0,01
gaz bouteille		118,08	1,22	8,09	0,08	2,21	0,02
total		1169,77	12,05	153,18	1,58	14,75	0,15

Tableau 52. Dépense annuelle et consommation selon le mode de chauffage et le type d'énergie. Maisons individuelles

chauffage électrique individuel							
	nombre d'observations	montant de la dépense annuelle (€)	montant de la dépense annuelle par m ² (€)	quantité énergie (100KWh)	quantité énergie par m ² (100KWh)	émissions de CO2 (100 kg)	émissions de CO2 par m ² (100 kg)
nombre	6769						
électricité		650,74	12,16	55,90	1,04	4,69	0,09
gaz de ville		26,60	0,50	3,32	0,06	0,78	0,01
fioul		2,14	0,04	0,42	0,01	0,12	0,00
bois, charbon		15,13	0,28	4,89	0,09	0,06	0,00
gaz bouteille		23,44	0,44	1,55	0,03	0,43	0,01
total		718,05	13,42	66,06	1,23	6,09	0,11
chaudière individuelle au gaz							
	nombre d'observations	montant de la dépense annuelle (€)	montant de la dépense annuelle par m ² (€)	quantité énergie (100KWh)	quantité énergie par m ² (100KWh)	émissions de CO2 (100 kg)	émissions de CO2 par m ² (100 kg)
nombre	5985						
électricité		344,58	4,82	24,46	0,34	2,05	0,03
gaz de ville		533,95	7,47	109,00	1,53	25,50	0,36
fioul		0,22	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00
bois, charbon		3,22	0,05	1,00	0,01	0,01	0,00
gaz bouteille		2,79	0,04	0,18	0,00	0,05	0,00
total		884,76	12,38	134,67	1,88	27,62	0,39
autres modes de chauffage							
	nombre d'observations	montant de la dépense annuelle (€)	montant de la dépense annuelle par m ² (€)	quantité énergie (100KWh)	quantité énergie par m ² (100KWh)	émissions de CO2 (100 kg)	émissions de CO2 par m ² (100 kg)
nombre	1116						
électricité		561,59	10,08	39,83	0,71	3,35	0,06
gaz de ville		91,42	1,64	11,93	0,21	2,79	0,05
fioul		26,48	0,48	6,09	0,11	1,83	0,03
bois, charbon		63,40	1,14	20,66	0,37	0,27	0,00
gaz bouteille		46,44	0,83	3,11	0,06	0,85	0,02
total		789,33	14,17	81,62	1,46	9,09	0,16

Tableau 53. Dépense annuelle et consommation selon le mode de chauffage et le type d'énergie. Appartements

4.2 La consommation d'énergie et les émissions de gaz carbonique

Les tableaux 45 et 46 indiquent également la quantité d'énergie consommée, en centaines de KWh et les émissions de CO2 en centaines de kg.

Une maison individuelle chauffée à l'électricité émet un peu plus de 1000 kg de CO2 par an. Celles chauffées par une chaudière alimentée au gaz de ville émettent plus de quatre fois plus : 4500 kg par an. Lorsque la chaudière est au fioul, l'émission de gaz carbonique dépasse

7500 kg, soit sept fois plus qu'avec un chauffage électrique. Enfin, les appareils de chauffage indépendants rejettent dans l'atmosphère un peu plus de CO₂ que les convecteurs électriques : environ 1500 kg. Les émissions des appartements sont beaucoup plus faible, en grande partie du fait de leur taille : 600 kg pour le chauffage « tout électrique », 2800 kg environ pour les chaudières au gaz de ville et 900 kg pour les appareils de chauffage indépendants.

Examinons maintenant la consommation et les émissions ramenées au mètre carré de surface habitable. Les logements à chauffage électrique sont les plus économes, puisqu'ils n'utilisent que 1,23 (appartements) ou 1,36 (maisons individuelles) centaines de KWh et qu'ils émettent que 0,11 (appartements) ou 0,10 (maisons individuelles) centaines de kilogrammes de CO₂ par m² de surface habitable. Ce dernier résultat est dû à la combinaison du faible facteur d'émission de l'électricité (0,084) et de celui du bois, encore plus faible (0,013), les cheminées étant souvent utilisées dans ces maisons individuelles à chauffage électrique.

Lorsque le logement dispose d'une chaudière alimentée au gaz de ville, il consomme 1,88 (appartement) ou 2,05 (maison individuelle) centaines de KWh et il émet 0,39 (maisons individuelles) ou 0,42 (appartements) centaines de kilogrammes de CO₂ par m² de surface habitable. La consommation par unité de surface est de moitié supérieure à celle du chauffage électrique. Cela peut s'expliquer, au moins en partie, par la flexibilité de commande de convecteurs électriques (réglage selon les pièces utilisées aux différents moments de la journée, la température extérieure, utilisation de cheminées, etc.), flexibilité plus grande que celle d'une chaudière de niveau bas ou milieu de gamme. Les émissions de gaz carbonique par mètre carré de surface habitable d'une chaudière à gaz sont environ quatre fois supérieures à celles du chauffage électrique, ce qui s'explique par la combinaison de la raison précédente (surcroît de consommation) et par le facteur d'émission de cette source d'énergie. Les chaudières au fioul, qui ne se rencontrent pratiquement que dans les maisons individuelles (il faut une cuve de stockage), ont une consommation énergétique encore plus importante que les chaudières au gaz de ville (2,46 centaines de KWh par m² habitable contre 2,05) et elles émettent 50 % de plus de CO₂ par m² habitable, soit six fois plus que lorsque c'est l'électricité qui est la source de chauffage du logement.

5. Les déterminants de la dépense et de la consommation énergétique des maisons individuelles

Les variables expliquées sont sous forme logarithmique, ce qui permet d'interpréter les paramètres comme des effets multiplicatifs, à peu de choses près. Les résultats des estimations pour les quatre sous-échantillons (chauffage électrique, chaudière au fioul ou au gaz de ville, autres moyens de chauffage) sont indiqués au tableau 47. Les R² des équations de dépense énergétique sont assez faibles : de 0,12 (autres moyens de chauffage) à 0,20 (chauffage électrique). Le *condition index* (de 11,5 à 19,3) indique que les multicollinéarités n'affectent pas les paramètres estimés.

	chauffage électrique					
	dépense énergétique		consommation		émission de CO2	
	paramètre	T de	paramètre	T de	paramètre	T de
Constante	4,25523	40,0	4,65586	41,7	2,17716	21,3
propriétaire accédant	-0,04805	-2,8	-0,01299	-0,7	-0,02283	-1,4
locataire loyer < médiane	-0,05527	-2,5	-0,02568	-1,1	-0,01421	-0,7
locataire loyer > médiane	-0,05705	-2,3	-0,03066	-1,2	-0,02398	-1,0
localisation centrale	-0,02865	-2,5	-0,02864	-2,4	-0,01994	-1,8
revenu : 0 à d1	-0,08378	-3,4	-0,05622	-2,2	-0,01829	-0,8
revenu_d1q1	-0,04721	-2,5	-0,02356	-1,2	0,0035	0,2
revenu : q2 à q3	0,00808	0,5	-0,00873	-0,5	-0,01062	-0,7
revenu : q3 à d9	0,0538	2,7	0,01677	0,8	0,01163	0,6
revenu : > d9	0,10049	4,1	0,04514	1,8	0,03873	1,6
température moyenne novembre à mars	-0,03629	-9,5	-0,04639	-11,6	-0,03944	-10,8
précipitations moyennes novembre à mars (l)	-0,17928	-3,3	-0,2501	-4,3	-0,1569	-3,0
insolation janvier (milliers heures)	-0,36114	-2,3	-0,11028	-0,7	0,00918	0,1
age PR : 20 à 35	-0,00646	-0,3	-0,01376	-0,6	-0,02361	-1,1
age PR : 35 à 45	-0,01911	-1,0	-0,0158	-0,8	-0,02037	-1,1
age PR : 50 à 55	0,00373	0,2	0,00584	0,3	0,00613	0,3
age PR : 55 à 60	0,04406	1,8	0,03604	1,4	0,04509	1,9
age PR : 60 à 65	0,09091	2,6	0,07822	2,1	0,0986	2,9
age PR : > 65	0,11326	3,3	0,0744	2,1	0,11241	3,4
genre PR : masculin	-0,05917	-3,9	-0,07308	-4,6	-0,05317	-3,6
date construction immeuble : < 1914	-0,07272	-2,9	0,09999	3,9	0,07178	3,0
date construction immeuble : 1915-1948	-0,05343	-2,0	0,10881	3,8	0,07882	3,0
date construction immeuble : 1949-1974	-0,05896	-2,2	0,07996	2,9	0,04081	1,6
date construction immeuble : 1975-1981	0,0743	3,1	0,13776	5,5	0,08566	3,7
date construction immeuble : 1982-1989	0,02003	0,9	0,1109	4,6	0,0534	2,4
date construction immeuble : 1990-1998	-0,05088	-2,2	0,02096	0,9	-0,01562	-0,7
surface habitable (dizaines de m²)	0,0589	11,3	0,06158	11,2	0,05917	11,8
surface habitable*2	-0,00103	-5,9	-0,00114	-6,3	-0,00102	-6,1
nombre salles d'eau	0,0574	4,7	0,02616	2,0	0,02373	2,0
surface moyenne des pièces	-0,00263	-2,4	-0,00278	-2,4	-0,00391	-3,7
nombre d'actifs	0,0012	0,1	0,0032	0,3	0,00631	0,6
nombre d'enfants	0,04356	6,4	0,05256	7,4	0,05095	7,8
ménage uni-personne	-0,14016	-7,4	-0,19351	-9,7	-0,20865	-11,5
arrivée dans logement : < 1 an	-0,20137	-8,3	-0,13938	-5,5	-0,10676	-4,6
arrivée dans logement : 1-2 an	-0,02765	-1,1	-0,01943	-0,7	-0,02852	-1,2
arrivée dans logement : 2-3 an	0,01922	0,7	0,02241	0,8	0,00086353	0,0
arrivée dans logement : 6-7 an	0,00733	0,3	0,01302	0,5	0,02301	0,9
arrivée dans logement : < 8-10 an	0,00152	0,1	0,01063	0,4	0,01706	0,7
arrivée dans logement : < 11-15 an	0,03636	1,5	0,00642	0,2	0,02996	1,2
arrivée dans logement : 16-20 an	0,05572	2,2	0,01886	0,7	0,0527	2,1
arrivée dans logement : > 20 an	0,03056	1,2	0,02135	0,8	0,07195	2,9

	chauffage électrique					
	dépense énergétique		consommation		émission de CO2	
	paramètre	T de	paramètre	T de	paramètre	T de
diplôme PR : bac plus 3	0,01155	0,5	0,00385	0,2	-0,00526	-0,2
diplôme PR : bac + 2	-0,02423	-1,0	-0,0219	-0,9	-0,03636	-1,6
diplôme PR : cap	-0,05872	-3,2	-0,0304	-1,6	-0,04089	-2,3
diplôme PR : bepc	-0,01799	-0,7	0,0042	0,2	-0,01804	-0,7
diplôme PR : sans	-0,02143	-1,1	0,02988	1,4	0,01269	0,7
profession PR : agriculteur	0,11527	2,2	-0,07052	-1,3	0,08393	1,7
profession PR : indépendant	0,17046	5,9	0,12476	4,1	0,14109	5,1
profession PR : cpis	0,05437	2,1	0,05626	2,1	0,04755	1,9
profession PR : intermédiaire	-0,017	-0,8	-0,00386	-0,2	-0,01291	-0,6
profession PR : ouvrier	0,01816	0,9	0,018	0,8	0,03977	2,0
profession PR : retraité	-0,05982	-1,8	-0,03127	-0,9	-0,03333	-1,0
profession PR : asap	-0,00903	-0,2	-0,00109	0,0	-0,00974	-0,3
utilisation cheminée radiante	0,02034	0,6	0,28395	7,4	0,07182	2,0
utilisation cheminée insert	-0,12965	-10,1	0,2502	18,6	-0,03874	-3,1
climatisation	-0,01864	-0,7	-0,04082	-1,5	-0,0407	-1,6
chauffage par le sol	0,01838	0,5	-0,07919	-2,2	-0,01241	-0,4
signes d'humidité	0,02954	2,0	0,05957	3,8	0,05685	3,9
toit isolé	0,02466	1,8	0,0299	2,1	0,02276	1,8
double vitrage	0,09288	5,3	0,02828	1,5	0,02237	1,3
qualité fenêtres : moyen	-0,02263	-1,3	-0,00029471	0,0	-0,01052	-0,6
qualité fenêtre : mauvais	0,04219	1,5	0,06938	2,4	0,06359	2,4
plafond > 3 m	0,03229	1,4	0,06607	2,8	0,05631	2,6
exposition ouest	-0,00516	-0,3	-0,02391	-1,3	-0,0327	-2,0
exposition est	-0,00512	-0,3	0,01401	0,8	0,00444	0,3
exposition nord	0,01422	0,8	0,04051	2,2	0,01896	1,1
travaux chauffage central	0,13037	1,5	0,09836	1,1	0,12528	1,5
travaux chauffage électrique	-0,01639	-0,5	-0,06249	-1,8	-0,05421	-1,7
travaux cheminée	0,00152	0,0	0,06132	1,2	0,02282	0,5
travaux eau chaude	-0,03555	-0,8	0,02231	0,5	0,01502	0,4
travaux isolation thermique	-0,01628	-0,4	-0,02465	-0,6	-0,02014	-0,6
travaux menuiserie	-0,01856	-0,7	0,01135	0,4	-0,00021787	0,0
localisation dans pole urbain	0,03811	2,4	-0,0084	-0,5	-0,00645	-0,4
localisation dans périurbain	0,0037	0,3	0,00964	0,6	-0,01494	-1,1
sol : carrelage	0,00297	0,0	-0,13599	-1,6	-0,15235	-2,0
sol : linoléum	0,00918	0,1	-0,15447	-1,8	-0,15133	-1,9
sol : moquette	0,05367	0,6	-0,1091	-1,1	-0,10352	-1,1
sol : parquet	0,01436	0,2	-0,15876	-1,8	-0,14057	-1,8

	chauffage central fioul					
	dépense énergétique		consommation		émission de CO2	
	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student
Constante	5,13557	49,6	5,34427	66,4	3,99134	45,1
propriétaire accédant	0,01103	0,6	0,01147	0,8	0,00654	0,4
locataire loyer < médiane	-0,04176	-1,6	-0,01347	-0,7	-0,02617	-1,2
locataire loyer > médiane	-0,04366	-1,3	-0,02009	-0,8	-0,03538	-1,2
localisation centrale	-0,01545	-1,3	-0,01681	-1,8	-0,01512	-1,5
revenu : 0 à d1	-0,08567	-3,7	-0,06919	-3,8	-0,07786	-3,9
revenu_d1q1	-0,03539	-1,9	-0,02715	-1,8	-0,02818	-1,7
revenu : q2 à q3	0,02696	1,6	0,0103	0,8	0,01713	1,2
revenu : q3 à d9	0,0509	2,5	0,03463	2,2	0,03911	2,3
revenu : > d9	0,10323	4,1	0,07804	4,0	0,08837	4,1
température moyenne novembre à mars	-0,03953	-10,7	-0,03691	-12,9	-0,03612	-11,5
précipitations moyennes novembre à mars (l)	-0,04131	-0,8	-0,09807	-2,5	-0,06233	-1,5
insolation janvier (milliers heures)	-0,55218	-3,3	-0,3139	-2,4	-0,47534	-3,3
age PR : 20 à 35	0,00806	0,3	-0,0253	-1,1	-0,0027	-0,1
age PR : 35 à 45	-0,00089415	0,0	-0,02539	-1,4	-0,0081	-0,4
age PR : 50 à 55	0,03943	1,5	0,04769	2,3	0,04912	2,2
age PR : 55 à 60	0,07593	2,7	0,08262	3,8	0,08299	3,5
age PR : 60 à 65	0,13445	3,7	0,12373	4,4	0,13677	4,4
age PR : > 65	0,13847	3,9	0,12991	4,7	0,14393	4,7
genre PR : masculin	0,02278	1,4	0,012	0,9	0,02585	1,8
date construction immeuble : < 1914	0,17449	6,0	0,18686	8,2	0,17972	7,2
date construction immeuble : 1915-1948	0,17131	5,6	0,18193	7,6	0,18331	7,0
date construction immeuble : 1949-1974	0,2039	7,1	0,18348	8,2	0,19554	7,9
date construction immeuble : 1975-1981	0,14308	4,6	0,13904	5,7	0,13929	5,2
date construction immeuble : 1982-1989	0,03691	1,0	0,05136	1,8	0,04212	1,4
date construction immeuble : 1990-1998	0,04542	1,3	0,04882	1,8	0,04467	1,5
surface habitable (dizaines de m²)	0,03997	13,5	0,03464	15,1	0,03653	14,5
surface habitable*2	-0,00031953	-5,4	-0,00027816	-6,0	-0,00029217	-5,8
nombre salles d'eau	0,01762	1,5	0,02311	2,6	0,02064	2,1
surface moyenne des pièces	-0,0066	-6,3	-0,0047	-5,8	-0,00521	-5,8
nombre d'actifs	0,00932	0,8	0,01262	1,4	0,0117	1,2
nombre d'enfants	0,00275	0,4	0,03093	5,3	0,01661	2,6
ménage uni-personne	-0,03834	-2,0	-0,06927	-4,6	-0,0473	-2,8
arrivée dans logement : < 1 an	-0,06688	-2,1	-0,07975	-3,2	-0,07782	-2,9
arrivée dans logement : 1-2 an	0,0209	0,6	0,02359	0,9	0,01153	0,4
arrivée dans logement : 2-3 an	0,00273	0,1	-0,01827	-0,7	-0,00814	-0,3
arrivée dans logement : 6-7 an	0,00791	0,3	0,00268	0,1	0,00352	0,1
arrivée dans logement : < 8-10 an	0,03736	1,3	0,02438	1,1	0,03077	1,2
arrivée dans logement : < 11-15 an	0,0237	0,8	0,03177	1,4	0,02385	1,0
arrivée dans logement : 16-20 an	0,02037	0,7	0,02319	1,0	0,01503	0,6
arrivée dans logement : > 20 an	0,00145	0,1	0,00952	0,5	0,00261	0,1

	chauffage central fioul					
	dépense énergétique		consommation		émission de CO2	
	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student
diplôme PR : bac plus 3	0,03245	1,3	0,04298	2,2	0,03565	1,6
diplôme PR : bac + 2	-0,05615	-2,0	-0,02326	-1,1	-0,04315	-1,8
diplôme PR : cap	0,00799	0,4	0,017	1,1	0,00979	0,6
diplôme PR : bepc	0,03465	1,3	0,04489	2,1	0,04055	1,7
diplôme PR : sans	0,02447	1,1	0,02116	1,2	0,02097	1,1
profession PR : agriculteur	0,11512	3,1	0,11779	4,1	0,12945	4,1
profession PR : indépendant	0,14298	4,6	0,14901	6,1	0,14705	5,5
profession PR : cpis	0,03228	1,0	0,03431	1,4	0,02709	1,0
profession PR : intermédiaire	0,0187	0,7	0,0279	1,3	0,0161	0,7
profession PR : ouvrier	-0,02106	-0,8	-0,02084	-1,0	-0,01958	-0,9
profession PR : retraité	-0,00147	0,0	-0,00971	-0,4	-0,00188	-0,1
profession PR : asap	0,08526	2,0	0,06874	2,1	0,08008	2,2
utilisation cheminée radiante	-0,08572	-2,1	0,03911	1,3	-0,06111	-1,8
utilisation cheminée insert	-0,14681	-9,4	-0,01241	-1,0	-0,12113	-9,1
climatisation	-0,02066	-0,5	0,06733	2,1	0,00705	0,2
chauffage par le sol	-0,03352	-1,0	-0,00391	-0,1	-0,01066	-0,4
signes d'humidité	0,02386	1,6	0,01679	1,5	0,02485	2,0
toit isolé	0,01833	1,5	0,01253	1,3	0,01343	1,3
double vitrage	-0,05893	-4,3	-0,05341	-5,0	-0,057	-4,8
qualité fenêtres : moyen	0,0151	1,0	0,02279	1,9	0,02046	1,5
qualité fenêtre : mauvais	0,04393	1,7	0,03225	1,6	0,03635	1,7
plafond > 3 m	0,08752	4,2	0,07601	4,7	0,08134	4,6
exposition ouest	0,01826	1,0	0,0191	1,3	0,01947	1,2
exposition est	0,01906	1,0	0,00391	0,3	0,01092	0,7
exposition nord	-0,00882	-0,5	-0,00937	-0,7	-0,00841	-0,6
travaux chauffage central	0,01846	0,6	0,02642	1,2	0,02039	0,8
travaux chauffae électrique	-0,09295	-0,7	-0,06929	-0,7	-0,08677	-0,8
travaux cheminée	0,01159	0,2	0,05003	1,3	0,00241	0,1
travaux eau chaude	0,04288	0,8	0,01349	0,3	0,03282	0,7
travaux isolation thermique	-0,03689	-1,1	-0,00441	-0,2	-0,02573	-0,9
travaux menuiserie	0,02761	1,2	0,01199	0,7	0,01917	1,0
localisation dans pole urbain	0,02407	1,4	0,01473	1,1	0,02354	1,6
localisation dans périurbain	0,0169	1,2	0,0107	1,0	0,01413	1,1
sol : carrelage	-0,10321	-1,4	-0,04828	-0,8	-0,08801	-1,4
sol : linoléum	-0,09828	-1,3	-0,08347	-1,4	-0,09645	-1,5
sol : moquette	-0,0278	-0,3	0,00897	0,1	-0,02357	-0,3
sol : parquet	-0,07158	-1,0	-0,0362	-0,6	-0,06313	-1,0

	chauffage central gaz de ville					
	dépense énergétique		consommation		émission de CO2	
	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student
Constante	4,52751	38,2	4,88628	52,4	3,25074	33,0
propriétaire accédant	-0,018	-0,9	-0,0073	-0,5	-0,01049	-0,6
locataire loyer < médiane	-0,03329	-1,4	-0,04463	-2,4	-0,03774	-1,9
locataire loyer > médiane	-0,00547	-0,2	-0,02061	-1,0	-0,01159	-0,5
localisation centrale	-0,05149	-4,0	-0,05523	-5,5	-0,05814	-5,5
revenu : 0 à d1	-0,10645	-4,1	-0,0551	-2,7	-0,07488	-3,4
revenu_d1q1	-0,04234	-2,1	-0,02326	-1,4	-0,0337	-2,0
revenu : q2 à q3	0,01208	0,7	0,0187	1,3	0,01264	0,9
revenu : q3 à d9	0,02623	1,2	0,03157	1,8	0,0244	1,3
revenu : > d9	0,03711	1,3	0,04409	2,0	0,04109	1,8
température moyenne novembre à mars	-0,03413	-7,1	-0,03494	-9,3	-0,03268	-8,2
précipitations moyennes novembre à mars (l)	0,33357	4,8	0,16797	3,1	0,26184	4,5
insolation janvier (milliers heures)	-0,17276	-0,8	-0,0896	-0,5	-0,2026	-1,1
age PR : 20 à 35	-0,03579	-1,3	-0,05225	-2,5	-0,04365	-1,9
age PR : 35 à 45	-0,03426	-1,5	-0,04125	-2,4	-0,03752	-2,0
age PR : 50 à 55	-0,0023	-0,1	0,00079787	0,0	0,00050716	0,0
age PR : 55 à 60	-0,01259	-0,4	-0,01264	-0,6	-0,01005	-0,4
age PR : 60 à 65	0,06312	1,7	0,05605	1,9	0,06434	2,0
age PR : > 65	0,0633	1,7	0,05881	2,0	0,07501	2,4
genre PR : masculin	0,01494	0,9	0,01908	1,5	0,01716	1,3
date construction immeuble : < 1914	0,11337	4,0	0,1155	5,2	0,11237	4,8
date construction immeuble : 1915-1948	0,14339	5,6	0,13285	6,6	0,13423	6,3
date construction immeuble : 1949-1974	0,12439	5,1	0,11245	5,9	0,11669	5,8
date construction immeuble : 1975-1981	0,02371	0,8	0,03574	1,6	0,02303	1,0
date construction immeuble : 1982-1989	-0,00878	-0,3	-0,00121	-0,1	-0,01097	-0,4
date construction immeuble : 1990-1998	0,00787	0,3	0,00924	0,4	0,00041367	0,0
surface habitable (dizaines de m²)	0,05935	10,4	0,05066	11,3	0,0531	11,2
surface habitable*2	-0,00097186	-5,6	-0,00066121	-4,9	-0,00073346	-5,1
nombre salles d'eau	0,04952	3,8	0,0452	4,4	0,04441	4,0
surface moyenne des pièces	-0,00487	-3,8	-0,00471	-4,6	-0,00506	-4,7
nombre d'actifs	0,01377	1,2	0,01321	1,4	0,01154	1,2
nombre d'enfants	0,01752	2,6	0,01985	3,7	0,01721	3,1
ménage uni-personne	-0,02434	-1,1	-0,04992	-3,0	-0,04121	-2,3
arrivée dans logement : < 1 an	-0,17019	-6,1	-0,14637	-6,7	-0,17245	-7,4
arrivée dans logement : 1-2 an	-0,00287	-0,1	-0,00866	-0,4	-0,01084	-0,5
arrivée dans logement : 2-3 an	0,03715	1,2	0,02546	1,1	0,0216	0,9
arrivée dans logement : 6-7 an	0,01273	0,5	0,01423	0,7	0,00695	0,3
arrivée dans logement : < 8-10 an	0,01385	0,5	0,01865	0,8	0,01174	0,5
arrivée dans logement : < 11-15 an	0,03193	1,1	0,04742	2,1	0,03972	1,7
arrivée dans logement : 16-20 an	0,01667	0,5	0,02283	1,0	0,01433	0,6
arrivée dans logement : > 20 an	0,0421	1,5	0,04542	2,1	0,03457	1,5

	chauffage central gaz de ville					
	dépense énergétique		consommation		émission de CO2	
	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student
diplôme PR : bac plus 3	0,00223	0,1	0,01349	0,7	0,00926	0,5
diplôme PR : bac + 2	-0,00226	-0,1	-0,00246	-0,1	-0,00566	-0,3
diplôme PR : cap	-0,00982	-0,5	-0,00663	-0,4	-0,01097	-0,6
diplôme PR : bepc	0,04305	1,5	0,02927	1,3	0,04011	1,7
diplôme PR : sans	0,00366	0,2	-0,00309	-0,2	-0,00273	-0,1
profession PR : agriculteur	0,01402	0,1	0,03184	0,4	0,03081	0,4
profession PR : indépendant	0,11784	3,4	0,11852	4,3	0,11766	4,0
profession PR : cpis	0,02342	0,8	0,02034	0,9	0,0211	0,9
profession PR : intermédiaire	-0,03731	-1,5	-0,05002	-2,6	-0,03704	-1,8
profession PR : ouvrier	0,01797	0,7	0,01233	0,6	0,01782	0,9
profession PR : retraité	-0,0414	-1,1	-0,06344	-2,2	-0,05773	-1,9
profession PR : asap	0,07953	1,9	0,04106	1,2	0,05933	1,7
utilisation cheminée radiante	-0,06349	-1,1	0,07573	1,7	-0,05582	-1,2
utilisation cheminée insert	-0,07849	-3,6	0,08736	5,1	-0,05647	-3,1
climatisation	-0,0401	-1,0	-0,0009766	0,0	-0,02386	-0,7
chauffage par le sol	-0,00997	-0,3	-0,01511	-0,6	-0,01658	-0,6
signes d'humidité	-0,00168	-0,1	-0,00192	-0,2	-0,00292	-0,2
toit isolé	-0,02362	-1,7	-0,01836	-1,7	-0,023	-2,0
double vitrage	-0,05902	-3,5	-0,05774	-4,3	-0,06403	-4,6
qualité fenêtres : moyen	-0,0147	-0,8	-0,01205	-0,8	-0,01779	-1,2
qualité fenêtre : mauvais	0,0042	0,1	-0,00064153	0,0	-0,00764	-0,3
plafond > 3 m	0,05693	2,5	0,06715	3,8	0,06947	3,7
exposition ouest	0,00025219	0,0	-0,00329	-0,2	-0,00073365	-0,1
exposition est	-0,01155	-0,6	-0,01427	-1,0	-0,01275	-0,9
exposition nord	0,03331	2,0	0,03011	2,2	0,02945	2,1
travaux chauffage central	-0,02889	-0,9	-0,02023	-0,8	-0,02443	-0,9
travaux chauffae électrique	0,14264	0,8	0,2596	1,9	0,18634	1,3
travaux cheminée	-0,00653	-0,1	0,01121	0,2	-0,03308	-0,4
travaux eau chaude	-0,01652	-0,2	-0,00288	-0,1	-0,01513	-0,3
travaux isolation thermique	-0,0293	-0,8	0,01009	0,3	-0,00558	-0,2
travaux menuiserie	0,00072433	0,0	-0,00917	-0,5	-0,00793	-0,4
localisation dans pole urbain	0,01117	0,4	-0,00235	-0,1	0,00475	0,2
localisation dans périurbain	0,03921	1,4	0,0245	1,1	0,03121	1,3
sol : carrelage	0,089	1,0	0,08386	1,2	0,09968	1,4
sol : linoléum	0,10035	1,1	0,08359	1,2	0,11018	1,5
sol : moquette	0,10082	1,1	0,11367	1,5	0,13017	1,6
sol : parquet	0,09497	1,1	0,08199	1,2	0,1065	1,5

	autres moyens de chauffage			
	dépense énergétique		émission de CO2	
	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student
Constante	4,03497	21,0	1,60732	7,8
propriétaire accédant	0,04785	1,1	-0,04136	-0,9
locataire loyer < médiane	0,1496	3,3	-0,00907	-0,2
locataire loyer > médiane	0,1942	3,5	0,13755	2,3
localisation centrale	0,02844	0,9	0,0793	2,5
revenu : 0 à d1	-0,21996	-3,8	-0,27109	-4,4
revenu_d1q1	-0,08048	-1,7	-0,09554	-1,9
revenu : q2 à q3	0,05321	1,3	0,02925	0,7
revenu : q3 à d9	0,05374	1,1	0,07328	1,4
revenu : > d9	0,08044	1,3	0,01924	0,3
température moyenne novembre à mars	-0,04804	-5,4	-0,02584	-2,7
précipitations moyennes novembre à mars (l)	0,05548	0,4	-0,58708	-4,0
insolation janvier (milliers heures)	-0,51662	-1,4	0,17608	0,5
age PR : 20 à 35	-0,03537	-0,6	0,14846	2,3
age PR : 35 à 45	0,00034157	0,0	0,08142	1,5
age PR : 50 à 55	0,1215	2,0	0,13063	2,0
age PR : 55 à 60	0,1153	1,8	0,11197	1,6
age PR : 60 à 65	0,08915	1,1	0,09601	1,1
age PR : > 65	0,1028	1,3	0,18825	2,1
genre PR : masculin	-0,08258	-2,2	-0,0645	-1,6
date construction immeuble : < 1914	0,19846	3,0	0,17433	2,5
date construction immeuble : 1915-1948	0,32977	4,9	0,25899	3,6
date construction immeuble : 1949-1974	0,40057	5,8	0,45746	6,2
date construction immeuble : 1975-1981	0,1379	1,8	0,08026	1,0
date construction immeuble : 1982-1989	0,1562	2,2	0,11614	1,5
date construction immeuble : 1990-1998	0,08234	1,1	0,13191	1,6
surface habitable (dizaines de m²)	0,04999	4,6	0,05225	4,5
surface habitable*2	-0,00103	-3,0	-0,00113	-3,1
nombre salles d'eau	0,06025	1,7	0,1016	2,7
surface moyenne des pièces	-0,00574	-2,6	-0,00358	-1,5
nombre d'actifs	-0,01599	-0,6	0,03751	1,4
nombre d'enfants	0,06294	4,0	0,03376	2,0
ménage uni-personne	-0,15621	-3,7	-0,12853	-2,9
arrivée dans logement : < 1 an	-0,05486	-0,8	-0,05167	-0,7
arrivée dans logement : 1-2 an	-0,00435	-0,1	-0,05705	-0,7
arrivée dans logement : 2-3 an	0,08233	1,1	0,04861	0,6
arrivée dans logement : 6-7 an	0,09112	1,3	0,04866	0,7
arrivée dans logement : < 8-10 an	0,03003	0,4	-0,01869	-0,3
arrivée dans logement : < 11-15 an	0,0845	1,3	0,13835	2,0
arrivée dans logement : 16-20 an	0,20901	3,1	0,21474	3,0
arrivée dans logement : > 20 an	0,12459	2,0	0,16062	2,4

	autres moyens de chauffage			
	dépense énergétique		émission de CO2	
	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student
diplôme PR : bac plus 3	0,15498	2,1	0,06556	0,8
diplôme PR : bac + 2	0,13939	1,8	0,05574	0,7
diplôme PR : cap	0,13108	2,5	0,09707	1,7
diplôme PR : bepc	0,14879	2,0	0,15945	2,0
diplôme PR : sans	0,09394	1,7	0,09458	1,6
profession PR : agriculteur	-0,25666	-3,1	0,11081	1,2
profession PR : indépendant	0,18188	2,2	0,32928	3,8
profession PR : cpis	-0,07182	-0,8	0,11984	1,3
profession PR : intermédiaire	0,00972	0,2	0,10355	1,5
profession PR : ouvrier	0,04577	0,9	0,13286	2,3
profession PR : retraité	-0,0067	-0,1	0,12891	1,5
profession PR : asap	0,13576	1,7	0,17542	2,0
utilisation cheminée radiante	-0,10452	-0,9	-0,17746	-1,5
utilisation cheminée insert	0,11483	3,3	-0,25203	-6,8
climatisation	-0,01765	-0,3	-0,01605	-0,3
chauffage par le sol	-0,27276	-4,8	-0,15883	-2,6
signes d'humidité	0,04468	1,4	0,05885	1,7
toit isolé	0,01347	0,4	0,06294	1,8
double vitrage	0,00649	0,2	-0,05267	-1,3
qualité fenêtres : moyen	0,00838	0,2	-0,00655	-0,2
qualité fenêtre : mauvais	0,06613	1,4	0,04319	0,8
plafond > 3 m	0,05142	1,1	0,00797	0,2
exposition ouest	0,07674	1,7	0,05952	1,3
exposition est	0,0031	0,1	-0,08443	-2,0
exposition nord	0,11293	2,8	0,06701	1,6
travaux chauffage central	-0,13093	-0,9	0,05432	0,3
travaux chauffae électrique	-0,15376	-1,0	-0,17631	-1,1
travaux cheminée	-0,11604	-1,0	-0,09985	-0,8
travaux eau chaude	-0,02777	-0,3	-0,1186	-1,1
travaux isolation thermique	0,10829	1,3	0,08901	1,0
travaux menuiserie	0,04772	0,7	0,00848	0,1
localisation dans pole urbain	0,05122	1,3	-0,12777	-3,0
localisation dans périurbain	0,05744	1,6	-0,04918	-1,3
sol : carrelage	0,08994	0,9	-0,02507	-0,2
sol : linoléum	0,03831	0,4	0,11678	1,0
sol : moquette	0,10854	0,6	0,15136	0,8
sol : parquet	-0,05122	-0,5	-0,12365	-1,0

Tableau 54. Maisons individuelles : résultats économétriques

Le statut d'occupation influence la dépense énergétique lorsque la maison utilise le chauffage électrique ou des appareils indépendants. Dans le premier cas, les propriétaires non accédants (modalité de référence) dépensent environ 5 % de plus que les propriétaires accédants (qui réduisent leurs dépenses énergétiques car ils ont des prêts à rembourser) et que les locataires (qui doivent payer un loyer). Dans le cas des appareils de chauffage indépendants, ce sont les locataires qui dépensent 15 à 20 % de plus en consommation énergétique que les propriétaires, accédants ou non accédants. Mais ce résultat étonnant est probablement dû au fait que les maisons individuelles en location sans chauffage central ni chauffage électrique sont un segment assez particulier du parc de logements. Pour les maisons utilisant un chauffage central au fioul ou au gaz de ville, la facture énergétique ne varie pas significativement selon le statut d'occupation de la maison. La consommation d'énergie (en 100 KWh) et les émissions de gaz à effet de serre (en centaines de kilogrammes de CO₂) ne sont significativement affectées par le statut d'occupation que dans de rares cas (locataires à bas loyer utilisant le gaz de ville et à haut loyer utilisant des moyens de chauffage divers).

Parmi les caractéristiques des ménages, l'effet du revenu sur la dépense est significativement négatif pour les 10 % de ménages aux plus bas revenus. Ils dépensent de 8 à 10 % de moins que les ménages compris entre Q1 et la médiane, voire 22 % de moins pour ceux utilisant des appareils de chauffage indépendants. De ce fait, ils émettent moins de CO₂ que le groupe de référence (sauf dans le cas d'un chauffage électrique). A l'autre extrême, les 10 % des ménages aux revenus les plus élevés dépensent environ 10 % de plus en énergie que la catégorie de référence Q2-médiane dans les maisons chauffées au fioul ou électriquement. Pour ce groupe des hauts revenus, les différences ne sont pas significatives pour le chauffage central au gaz de ville ni pour les moyens divers de chauffage. Les ménages appartenant aux groupes de revenus situés entre D1 et Q1 d'une part, et Q3 et D9 d'autre part ont des comportements voisins du groupe extrême qui leur est adjacent, mais atténué. Les émissions de CO₂ sont cohérentes avec les niveaux de dépense des groupes que nous venons d'analyser.

Le diplôme a un effet sur la dépense énergétique additionnel à celui du revenu dans le seul cas des appareils de chauffage indépendants, pour lequel les bacheliers (groupe de référence) dépensent moins que les détenteurs d'autres diplômes. La profession n'a un effet additionnel à celui du revenu que dans le cas des cadres et professions intellectuelles supérieures se chauffant à l'électricité, qui ont une dépense, une consommation et une émission de gaz carbonique supérieures à la catégorie de référence (employés). Pour les autres professions, il n'y a pas d'effet significatif se surajoutant à celui du revenu (en laissant de côté les groupes peu représentés : agriculteurs, ASAP, indépendants).

En conclusion, retenons que, toutes choses égales par ailleurs, le revenu des ménages a un effet significatif et important sur la dépense énergétique et les émissions de gaz carbonique pour les groupes extrêmes des plus pauvres et des plus riches et que cette variable suffit à capter les effets de la position sociale, sans qu'il soit besoin de rajouter le diplôme ou la profession.

Certaines caractéristiques démographiques des ménages influencent leur comportement en matière d'énergie. Il s'agit, tout d'abord, de l'âge de la personne de référence. Par rapport au groupe de référence (46 à 49 ans), une différenciation significative de la dépense apparaît pour les plus âgés : au-delà de 60 ans, la dépense est supérieure d'environ 10 % (chauffage électrique), de 13 % (chauffage central au fioul) ou de 6 % (chauffage central au gaz de ville). Cela se traduit par des surcroûts d'émission de CO₂ dans des proportions comparables. Les personnes de référence du ménage âgées de 55 à 60 ans ont déjà tendance à accroître leur dépense (sauf dans le cas des chaudières à gaz de ville). Chaque enfant supplémentaire occasionne une dépense de + 4 % (chauffage électrique et autres modes de chauffage), + 2 %

(gaz de ville), mais ne modifie pas celle des ménages se chauffant au fioul. Les ménages composés d'une seule personne réduisent leur dépense de 14 % (chauffage électrique), 16 % (autres modes de chauffage), de 4 % seulement dans le cas d'une chaudière au fioul et moins encore pour celles alimentées au gaz de ville (le paramètre n'est pas significatif).

La date d'arrivée du premier membre du ménage dans le logement influence légèrement la dépense énergétique dans quelques cas. En laissant de côté les arrivées très récentes (pour lesquelles une année entière de dépense ne peut être observée), les ménages en place depuis assez longtemps ont tendance à dépenser plus que le groupe de référence (arrivée il y a quatre à cinq ans) pour plusieurs modes de chauffage.

En ce qui concerne les caractéristiques de la maison, c'est évidemment la surface habitable qui est le premier déterminant de la dépense en énergie. Lorsqu'elle augmente de 10 m², la dépense énergétique augmente d'environ 6 % (électricité et gaz de ville), 4 % (fioul), ou 5 % (autres modes de chauffage).

La date de construction a également un effet important, comme le montre la figure 14. Les maisons individuelles les plus récentes (construction après 1990), qui sont la référence, sont les plus économes, sauf pour les maisons à chauffage électrique construites avant 1974 (peu nombreuses). Le surcroît de dépense est en général inférieur à 20 %, mais il dépasse nettement ce seuil pour des maisons anciennes construites entre 1915 et 1974 (peu nombreuses).

Le nombre de salles d'eau fait également augmenter la dépense, alors que celle-ci diminue lorsque la surface moyenne des pièces habitables augmente.

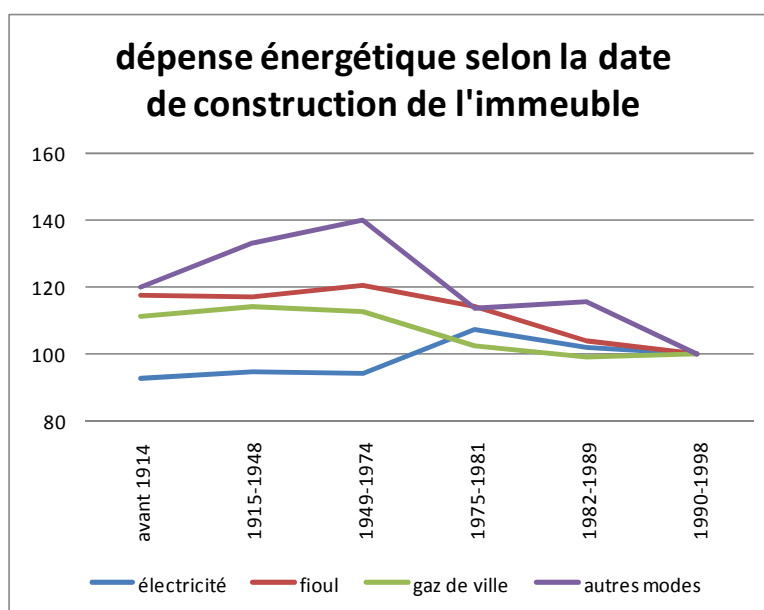


Figure 30. Dépense énergétique selon le mode de chauffage et la date de construction de la maison

En ce qui concerne les autres caractéristiques du logement :

- Beaucoup d'entre elles n'ont pas d'effet significatif sur la dépense énergétique. Par exemple : la climatisation (présente dans 4,7 % des maisons) dont on aurait pu penser que, toutes choses égales d'ailleurs (en particulier : le climat) elle aurait entraîné une augmentation de la dépense. Dans d'autres cas, cette absence d'effet était attendue (exemple : le revêtement du sol de la pièce principale).

- D'autres ont des effets variant selon le mode de chauffage, comme l'exposition de la pièce principale : la dépense augmente lorsque celle-ci est tournée au nord quand le chauffage central est au gaz (+ 3,3 %) ou que des appareils indépendants sont utilisés (+ 11,3 %), mais l'effet n'est pas significatif avec un chauffage au fioul ou électrique.
- Certains ont un effet contre-intuitif. Par exemple : la dépense s'accroît (+ 9 %) dans les maisons individuelles à chauffage électrique avec double-vitrage, alors que le double vitrage réduit la dépense dans le cas d'un chauffage au fioul ou au gaz (- 6 %). Il peut s'agir là de l'effet caché de variables omises corrélées à la présence de double-vitrage. Dans d'autres cas, l'absence d'effets qui auraient pu être attendus peut provenir de la difficulté qu'il y a à renseigner certaines variables (exemple : la qualité des fenêtres, l'isolation du toit).
- En particulier, la réalisation de gros travaux (isolation thermique, eau chaude, chaudière, installation électrique, menuiserie) est sans effet sur la dépense énergétique, sur la consommation d'énergie et sur les émissions de CO₂.

Les variables de localisation introduites dans les équations concernent (i) la position du logement dans le zonage ZAUER (le seul effet significatif concerne les maisons à chauffage électrique des pôles urbains, qui consomment près de 4 % de plus que celles de l'espace à dominante rurale, qui est la référence), (ii) la distance au centre de l'aire urbaine (les ménages situés à une distance inférieure à la médiane ont une dépense un peu plus faible que ceux situés au-delà) et (iii) le climat : température, pluviométrie des mois d'hiver (novembre à mars) et ensoleillement en janvier.

Toutes choses égales d'ailleurs, la dépense énergétique diminue de 3 à 5 % lorsque la température augmente d'un degré : - 3,6 % pour le chauffage électrique, - 4 % pour les chaudières à fioul, - 3,4 % pour celles à gaz de ville et - 4,8 % pour les autres modes de chauffage, qui sont les plus réactifs (ce qui était prévisible). Les émissions de CO₂ diminuent de façon significative lorsque la température augmente (de - 2,6 à - 4 % par degré Celsius). La pluviométrie n'a pas d'effet univoque sur la dépense, puisqu'elle fait diminuer celle-ci lorsque la maison est équipée d'un chauffage électrique, elle le fait augmenter lorsqu'elle possède une chaudière à gaz et elle est sans effet significatif pour les deux autres modes de chauffage. Enfin, l'ensoleillement de janvier, sachant que la température est contrôlée par la variable que nous venons d'examiner, a tendance à faire diminuer la dépense d'énergie, de façon significative pour les maisons individuelles (- 3,6 % pour 100 heures d'ensoleillement en plus) et le chauffage central au fioul (- 4,1 %).

6. Les déterminants de la dépense et de la consommation énergétique des appartements

La variable expliquée est sous forme logarithmique, comme pour les maisons individuelles. Les résultats portent sur trois sous-échantillons (chauffage électrique, chaudière au gaz de ville, et autres moyens de chauffage). Ils sont indiqués au tableau 48.

Les R² des équations de dépense énergétique sont meilleurs que dans le cas des maisons individuelles : 0,27 (autres moyens de chauffage), 0,22 (chauffage électrique) et 0,13 (gaz de ville). Le *condition index* (de 22 à 24) indique que les multicollinéarités n'affectent pas beaucoup les paramètres.

	chauffage électrique					
	dépense énergétique		consommation énergétique		émission de CO2	
	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student
Constante	3,87224	31,2	3,68741	29,7	1,33682	10,4
propriétaire accédant	-0,01713	-0,5	-0,02606	-0,8	-0,01978	-0,6
locataire loyer < médiane	-0,06089	-2,1	-0,03352	-1,2	-0,03382	-1,1
locataire loyer > médiane	-0,00584	-0,2	0,02252	0,7	0,01157	0,4
localisation centrale	-0,04242	-2,8	-0,05592	-3,6	-0,04653	-2,9
revenu : 0 à d1	-0,022	-0,8	0,01402	0,5	0,01527	0,5
revenu_d1q1	-0,05133	-2,1	-0,03399	-1,4	-0,02666	-1,1
revenu : q2 à q3	0,01978	0,9	0,00954	0,4	-0,01258	-0,5
revenu : q3 à d9	0,07074	2,4	0,03147	1,1	0,00000878	0,0
revenu : > d9	0,09839	2,7	0,03459	0,9	-0,01377	-0,4
température moyenne novembre à mars	-0,04769	-9,7	-0,03564	-7,3	-0,03907	-7,7
précipitations moyennes novembre à mars (l)	-0,19396	-2,4	-0,23739	-2,9	-0,28777	-3,4
insolation janvier (milliers heures)	-0,08897	-0,5	-0,03202	-0,2	-0,19764	-1,0
age PR : 20 à 35	-0,00254	-0,1	0,01656	0,6	0,00765	0,3
age PR : 35 à 45	0,01647	0,6	0,02993	1,1	0,02307	0,8
age PR : 50 à 55	0,04334	1,2	0,0653	1,8	0,08465	2,3
age PR : 55 à 60	0,11633	2,8	0,13111	3,2	0,13743	3,2
age PR : 60 à 65	0,09197	1,7	0,1236	2,3	0,08793	1,5
age PR : > 65	0,15168	2,9	0,18255	3,5	0,16363	3,0
genre PR : masculin	-0,02479	-1,5	-0,02306	-1,4	-0,01088	-0,6
date construction immeuble : < 1914	0,00619	0,2	0,09058	3,2	0,13869	4,8
date construction immeuble : 1915-1948	-0,01962	-0,7	0,09802	3,4	0,1919	6,4
date construction immeuble : 1949-1974	0,00284	0,1	0,1236	4,1	0,18979	6,0
date construction immeuble : 1975-1981	0,0365	1,0	0,05324	1,5	0,0446	1,2
date construction immeuble : 1982-1989	0,02157	0,8	0,04259	1,5	0,02428	0,8
date construction immeuble : 1990-1998	-0,0382	-1,4	-0,02286	-0,9	-0,03189	-1,2
surface habitable (dizaines de m²)	0,08351	8,0	0,12204	11,7	0,12499	11,6
surface habitable*2	-0,00178	-2,5	-0,00336	-4,6	-0,00378	-5,0
nombre salles d'eau	0,06894	2,3	0,03015	1,0	0,00206	0,1
surface moyenne des pièces	-0,00364	-3,0	-0,00433	-3,6	-0,0037	-2,9
nombre d'actifs	-0,00586	-0,3	0,01918	1,0	0,01268	0,7
nombre d'enfants	0,06907	6,0	0,07562	6,5	0,08611	7,1
ménage uni-personne	-0,12594	-6,2	-0,14911	-7,3	-0,17717	-8,4
arrivée dans logement : < 1 an	-0,17588	-7,3	-0,13266	-5,5	-0,14342	-5,7
arrivée dans logement : 1-2 an	-0,06069	-2,2	-0,03251	-1,2	-0,06274	-2,2
arrivée dans logement : 2-3 an	-0,0167	-0,6	0,02531	0,9	-0,00744	-0,3
arrivée dans logement : 6-7 an	-0,04923	-1,6	-0,00583	-0,2	-0,00142	0,0
arrivée dans logement : < 8-10 an	0,00709	0,2	0,04555	1,4	0,0485	1,4
arrivée dans logement : < 11-15 an	0,015	0,4	0,05723	1,7	0,09007	2,5
arrivée dans logement : 16-20 an	-0,0346	-0,8	-0,02225	-0,5	0,01046	0,2
arrivée dans logement : > 20 an	-0,05978	-1,5	0,01016	0,3	0,09214	2,3

	chauffage électrique					
	dépense énergétique		consommation énergétique		émission de CO2	
	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student
diplôme PR : bac plus 3	0,0481	1,9	0,04836	1,9	0,0811	3,1
diplôme PR : bac + 2	0,0765	2,8	0,0639	2,4	0,07291	2,6
diplôme PR : cap	0,02627	1,1	0,03961	1,6	0,05897	2,3
diplôme PR : bepc	0,12342	3,8	0,09413	2,9	0,11007	3,2
diplôme PR : sans	0,05858	2,2	0,10801	4,1	0,14046	5,1
profession PR : agriculteur	-0,02116	-0,1	0,01724	0,1	-0,08234	-0,4
profession PR : indépendant	0,07378	1,6	0,02731	0,6	0,02126	0,4
profession PR : cpis	0,01383	0,5	-0,03674	-1,2	-0,04301	-1,4
profession PR : intermédiaire	0,00010212	0,0	-0,03014	-1,2	-0,02365	-0,9
profession PR : ouvrier	0,00561	0,2	0,00581	0,2	0,01675	0,6
profession PR : retraité	-0,02736	-0,5	-0,07213	-1,4	-0,03867	-0,7
profession PR : asap	-0,02058	-0,6	-0,05673	-1,7	-0,06302	-1,9
utilisation cheminée insert	-0,03369	-0,3	0,38199	3,6	0,11391	1,0
climatisation	0,03392	0,7	0,00081305	0,0	0,00467	0,1
chauffage par le sol	-0,08451	-1,7	-0,08063	-1,6	-0,06194	-1,2
signes d'humidité	0,0652	3,8	0,08481	4,9	0,08122	4,5
double vitrage	0,01101	0,5	-0,01698	-0,8	-0,03771	-1,7
qualité fenêtres : moyen	0,01086	0,5	0,02141	1,0	0,01625	0,8
qualité fenêtre : mauvais	0,01533	0,6	0,05965	2,2	0,04297	1,5
plafond > 3 m	-0,05425	-2,0	-0,04061	-1,5	-0,04791	-1,7
exposition ouest	0,00476	0,2	0,00557	0,3	0,00571	0,3
exposition est	-0,02118	-1,1	-0,00326	-0,2	-0,00746	-0,4
exposition nord	0,00698	0,4	0,01694	0,9	0,01755	0,9
travaux chauffage central	0,64508	1,6	0,46514	1,1	0,33662	0,8
travaux chauffage électrique	0,09721	0,9	0,03869	0,4	0,02394	0,2
travaux cheminée	0	,	0	,	0	,
travaux eau chaude	-0,09825	-0,6	-0,08485	-0,5	-0,0265	-0,2
travaux isolation thermique	0,23235	1,7	0,2433	1,8	0,26676	1,9
travaux menuiserie	-0,16208	-1,7	-0,09987	-1,0	-0,08235	-0,8
sol : carrelage	0,00511	0,1	0,06424	0,7	0,06883	0,8
sol : linoléum	-0,0245	-0,3	0,03665	0,4	0,03826	0,4
sol : moquette	-0,01923	-0,2	0,00234	0,0	-0,00923	-0,1
sol : parquet	0,00512	0,1	0,05332	0,6	0,05766	0,6
rez-de-chaussée de l'immeuble	0,08294	4,2	0,08262	4,2	0,05957	2,9
dernier étage de l'immeuble	-0,00331	-0,2	-0,00585	-0,4	-0,02286	-1,4

	chauffage gaz de ville					
	dépense énergétique		consommation énergétique		émission de CO2	
	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student
Constante	4,33148	29,2	4,55556	36,8	2,95106	22,6
propriétaire accédant	-0,00575	-0,2	-0,01846	-0,7	-0,01583	-0,5
locataire loyer < médiane	-0,04336	-1,5	-0,05038	-2,1	-0,0494	-2,0
locataire loyer > médiane	-0,03007	-1,0	-0,0259	-1,0	-0,02924	-1,1
localisation centrale	-0,06739	-4,0	-0,05564	-4,0	-0,06101	-4,1
revenu : 0 à d1	-0,01363	-0,4	-0,00189	-0,1	-0,00851	-0,3
revenu_d1q1	-0,02478	-0,9	-0,02008	-0,9	-0,02477	-1,1
revenu : q2 à q3	0,00198	0,1	-0,01606	-0,9	-0,00911	-0,5
revenu : q3 à d9	-0,00283	-0,1	-0,00554	-0,3	-0,00377	-0,2
revenu : > d9	-0,27995	-0,5	-0,13091	-0,3	-0,22047	-0,4
température moyenne novembre à mars	-0,04638	-8,5	-0,04155	-9,2	-0,04424	-9,3
précipitations moyennes novembre à mars (l)	-0,0043	-0,1	-0,10376	-1,4	-0,05256	-0,7
insolation janvier (milliers heures)	-0,29626	-1,4	-0,13424	-0,8	-0,1976	-1,1
age PR : 20 à 35	0,01273	0,4	0,00503	0,2	0,00867	0,3
age PR : 35 à 45	0,0063	0,2	0,01042	0,4	0,00873	0,3
age PR : 50 à 55	0,00789	0,2	0,01157	0,4	0,0062	0,2
age PR : 55 à 60	0,03791	0,9	0,05098	1,5	0,04585	1,3
age PR : 60 à 65	0,03736	0,7	0,03374	0,8	0,03468	0,8
age PR : > 65	0,07611	1,5	0,07678	1,9	0,08083	1,9
genre PR : masculin	-0,00713	-0,4	-0,00603	-0,4	-0,00466	-0,3
date construction immeuble : < 1914	0,20077	5,4	0,19882	6,5	0,2035	6,3
date construction immeuble : 1915-1948	0,18353	5,1	0,19036	6,4	0,19393	6,1
date construction immeuble : 1949-1974	0,11607	3,7	0,12406	4,8	0,12627	4,6
date construction immeuble : 1975-1981	0,09787	2,6	0,10827	3,5	0,10946	3,4
date construction immeuble : 1982-1989	0,08802	2,3	0,09402	3,0	0,09571	2,8
date construction immeuble : 1990-1998	0,00368	0,1	0,01673	0,5	0,00832	0,2
surface habitable (dizaines de m²)	0,0858	7,0	0,08561	8,3	0,0872	8,0
surface habitable*2	-0,00208	-3,1	-0,00199	-3,6	-0,00214	-3,6
nombre salles d'eau	0,01801	0,6	0,00579	0,2	0,01238	0,5
surface moyenne des pièces	-0,00372	-2,4	-0,00397	-3,1	-0,00394	-2,9
nombre d'actifs	0,02761	1,6	0,04035	2,8	0,03534	2,3
nombre d'enfants	0,03713	3,6	0,03703	4,3	0,0373	4,1
ménage uni-personne	-0,12424	-5,6	-0,13059	-7,0	-0,1239	-6,3
arrivée dans logement : < 1 an	-0,17448	-5,9	-0,16067	-6,6	-0,1731	-6,7
arrivée dans logement : 1-2 an	-0,05344	-1,7	-0,04952	-1,9	-0,04969	-1,8
arrivée dans logement : 2-3 an	-0,01294	-0,4	-0,01281	-0,5	-0,01014	-0,3
arrivée dans logement : 6-7 an	-0,02575	-0,8	-0,01547	-0,6	-0,01964	-0,7
arrivée dans logement : < 8-10 an	-0,00882	-0,3	0,00432	0,2	0,00412	0,1
arrivée dans logement : < 11-15 an	-0,02417	-0,7	-0,03839	-1,3	-0,02971	-1,0
arrivée dans logement : 16-20 an	-0,04788	-1,2	-0,04936	-1,4	-0,04844	-1,3
arrivée dans logement : > 20 an	-0,04863	-1,4	-0,058	-2,0	-0,05518	-1,8

	chauffage gaz de ville					
	dépense énergétique		consommation énergétique		émission de CO2	
	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student
diplôme PR : bac plus 3	0,0307	1,0	0,03345	1,3	0,03567	1,3
diplôme PR : bac + 2	0,00174	0,1	0,02578	0,9	0,02291	0,8
diplôme PR : cap	0,02985	1,1	0,02641	1,2	0,02999	1,3
diplôme PR : bepc	0,08147	2,2	0,08089	2,6	0,08692	2,7
diplôme PR : sans	0,04014	1,4	0,03491	1,5	0,04	1,6
profession PR : agriculteur	0,299	1,1	0,2304	1,0	0,26614	1,1
profession PR : indépendant	0,13037	2,5	0,1108	2,6	0,12276	2,7
profession PR : cpis	0,01262	0,4	0,00642	0,2	0,00894	0,3
profession PR : intermédiaire	0,01282	0,5	-0,00439	-0,2	0,00482	0,2
profession PR : ouvrier	0,0005447	0,0	0,0077	0,3	0,00677	0,3
profession PR : retraité	0,07338	1,6	0,0653	1,7	0,071	1,8
profession PR : asap	0,08786	2,3	0,08893	2,7	0,09392	2,7
utilisation cheminée insert	0,17198	1,2	0,33191	2,9	0,17823	1,5
climatisation	-0,07045	-1,2	-0,04775	-0,9	-0,06999	-1,3
chauffage par le sol	-0,01129	-0,2	-0,00709	-0,2	-0,0107	-0,3
signes d'humidité	0,03023	1,5	0,03337	2,0	0,03048	1,8
double vitrage	-0,04012	-1,8	-0,03291	-1,8	-0,03408	-1,8
qualité fenêtres : moyen	0,03297	1,5	0,02422	1,3	0,02583	1,3
qualité fenêtre : mauvais	0,02862	1,0	0,03392	1,4	0,03137	1,3
plafond > 3 m	0,01539	0,5	0,008	0,3	0,01032	0,4
exposition ouest	0,03629	1,6	0,05179	2,8	0,04828	2,5
exposition est	0,02401	1,1	0,02016	1,1	0,0219	1,1
exposition nord	0,03202	1,4	0,02953	1,6	0,0351	1,8
travaux chauffage central	0,07297	0,8	0,05137	0,7	0,05943	0,7
travaux chauffage électrique	-0,09439	-0,2	-0,07902	-0,2	-0,09487	-0,3
travaux cheminée	-0,62703	-1,0	0,52818	1,0	-0,50636	-0,9
travaux eau chaude	0,23271	0,8	0,20259	0,9	0,218	0,9
travaux isolation thermique	0,15848	1,2	0,12967	1,1	0,14326	1,2
travaux menuiserie	-0,03909	-0,5	-0,07351	-1,1	-0,05893	-0,8
sol : carrelage	-0,05522	-0,5	-0,04081	-0,5	-0,04761	-0,5
sol : linoléum	-0,06961	-0,7	-0,07522	-0,9	-0,07211	-0,8
sol : moquette	-0,06138	-0,6	-0,07264	-0,8	-0,06597	-0,7
sol : parquet	-0,06761	-0,6	-0,07202	-0,8	-0,07001	-0,8
rez-de-chaussée de l'immeuble	0,11717	5,3	0,10791	5,9	0,11679	6,0
dernier étage de l'immeuble	0,0635	3,5	0,06152	4,0	0,06682	4,2

	autres moyens de chauffage			
	dépense énergétique		émission de CO2	
	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student
Constante	3,2352	8,7	1,29953	3,1
propriétaire accédant	0,04227	0,4	0,0671	0,5
locataire loyer < médiane	0,1016	1,2	0,01784	0,2
locataire loyer > médiane	0,07444	0,8	-0,02084	-0,2
localisation centrale	-0,07266	-1,5	0,01779	0,3
revenu : 0 à d1	0,0557	0,6	-0,0516	-0,5
revenu_d1q1	-0,0066	-0,1	0,01474	0,2
revenu : q2 à q3	-0,03673	-0,6	-0,07549	-1,0
revenu : q3 à d9	-0,14749	-1,7	-0,17013	-1,8
revenu : > d9	-0,05135	-0,5	-0,14647	-1,3
température moyenne novembre à mars	-0,05529	-3,8	-0,09586	-5,9
précipitations moyennes novembre à mars (l)	0,18561	0,7	0,15281	0,6
insolation janvier (milliers heures)	-0,96945	-2,1	-0,95899	-1,8
age PR : 20 à 35	-0,04534	-0,6	-0,05754	-0,7
age PR : 35 à 45	-0,0203	-0,3	-0,04727	-0,5
age PR : 50 à 55	0,06009	0,5	-0,20663	-1,6
age PR : 55 à 60	-0,03063	-0,3	-0,04249	-0,3
age PR : 60 à 65	0,29473	1,9	0,42248	2,4
age PR : > 65	0,28634	1,8	0,28262	1,6
genre PR : masculin	-0,12591	-2,4	-0,06391	-1,1
date construction immeuble : < 1914	0,32081	3,1	0,33821	2,9
date construction immeuble : 1915-1948	0,32462	3,1	0,40855	3,5
date construction immeuble : 1949-1974	0,28606	2,8	0,47813	4,3
date construction immeuble : 1975-1981	-0,003	0,0	0,02474	0,2
date construction immeuble : 1982-1989	0,29909	2,5	0,32227	2,4
date construction immeuble : 1990-1998	0,10106	0,8	0,15552	1,1
surface habitable (dizaines de m²)	0,15434	6,0	0,16336	5,7
surface habitable*2	-0,00413	-2,6	-0,0043	-2,4
nombre salles d'eau	0,04374	0,6	0,06881	0,8
surface moyenne des pièces	-0,00982	-2,7	-0,01005	-2,5
nombre d'actifs	0,03792	0,8	0,05159	1,0
nombre d'enfants	0,03471	1,2	0,01831	0,6
ménage uni-personne	-0,27503	-4,4	-0,25567	-3,7
arrivée dans logement : < 1 an	-0,10015	-1,2	-0,24727	-2,6
arrivée dans logement : 1-2 an	0,0088	0,1	0,02974	0,3
arrivée dans logement : 2-3 an	-0,02284	-0,2	-0,17462	-1,7
arrivée dans logement : 6-7 an	-0,052	-0,6	-0,08311	-0,8
arrivée dans logement : < 8-10 an	-0,10041	-1,0	-0,17337	-1,5
arrivée dans logement : < 11-15 an	0,10119	0,9	0,10499	0,9
arrivée dans logement : 16-20 an	-0,10982	-1,0	-0,1223	-1,0
arrivée dans logement : > 20 an	-0,08423	-0,8	0,06072	0,5

	autres moyens de chauffage			
	dépense énergétique		émission de CO2	
	paramètre	T de Student	paramètre	T de Student
diplôme PR : bac plus 3	0,10412	1,1	0,16663	1,6
diplôme PR : bac + 2	0,09561	0,9	0,15636	1,4
diplôme PR : cap	0,04362	0,5	0,10748	1,2
diplôme PR : bepc	0,01973	0,2	0,04822	0,4
diplôme PR : sans	0,09075	1,2	0,13207	1,5
profession PR : agriculteur	0,45395	1,2	0,3827	0,9
profession PR : indépendant	-0,06748	-0,5	0,01765	0,1
profession PR : cpis	0,02355	0,2	0,07768	0,6
profession PR : intermédiaire	0,03043	0,3	0,08493	0,8
profession PR : ouvrier	0,15059	2,1	0,19531	2,4
profession PR : retraité	-0,15105	-1,0	-0,17949	-1,1
profession PR : asap	0,01916	0,2	0,0009178	0,0
utilisation cheminée insert	-0,04125	-0,2	-0,26872	-1,2
climatisation	0,00886	0,1	-0,06387	-0,5
chauffage par le sol	-0,0545	-0,6	0,09985	1,0
signes d'humidité	0,04343	0,8	0,03633	0,6
double vitrage	-0,05792	-0,9	-0,08558	-1,2
qualité fenêtres : moyen	0,08241	1,3	0,09858	1,4
qualité fenêtre : mauvais	0,0829	1,2	0,04502	0,6
plafond > 3 m	-0,14677	-2,1	-0,05707	-0,7
exposition ouest	-0,08981	-1,4	-0,07213	-1,0
exposition est	0,0672	1,1	0,08504	1,2
exposition nord	-0,00061978	0,0	-0,00108	0,0
travaux chauffage central	0,40034	0,5	-0,05057	-0,1
travaux chauffage électrique	0	,	0	,
travaux cheminée	0,02288	0,0	-0,13705	-0,2
travaux eau chaude	0,4827	0,9	0,84962	1,4
travaux isolation thermique	0,21133	0,7	-0,1512	-0,5
travaux menuiserie	-0,07171	-0,2	-0,0915	-0,2
sol : carrelage	0,49778	1,8	0,24439	0,8
sol : linoléum	0,37091	1,4	0,09118	0,3
sol : moquette	0,27296	1,0	0,01094	0,0
sol : parquet	0,40359	1,5	0,07173	0,2
rez-de-chaussée de l'immeuble	0,20545	3,4	0,13883	2,1
dernier étage de l'immeuble	0,0437	0,9	0,06552	1,2

Tableau 55. Appartements : résultats économétriques (fin)

Le statut d'occupation du logement n'influence la dépense énergétique que lorsque la maison utilise le chauffage électrique : les propriétaires non accédants (modalité de référence) dépensent 6 % de plus que les locataires à bas revenu. Contrairement au cas des maisons individuelles, les propriétaires accédants et les locataires à haut revenu n'ont jamais de facture énergétique significativement différente de celle de propriétaires non accédants. La consommation d'énergie (en 100 KWh) et les émissions de gaz à effet de serre (en centaines de kilogrammes de CO₂) ne sont significativement affectées par le statut d'occupation que dans le cas des locataires à bas loyer utilisant le gaz de ville comme moyen principal de chauffage.

Parmi les caractéristiques des ménages, l'effet du revenu sur la dépense n'est pas significatif pour les 10 % de ménages aux plus bas revenus, contrairement à ce qui se produit pour les maisons individuelles. De ce fait, les émissions de CO₂ ne le sont pas non plus. Les 10 % des ménages aux revenus les plus élevés dépensent plus d'énergie que le groupe de référence uniquement lorsque l'appartement est chauffé électriquement (environ 10 % de plus en énergie que la catégorie de référence Q2-médiane). Les ménages appartenant au groupe de revenu situés entre Q3 et D9 et se chauffant à l'électricité dépensent également un peu plus que le groupe de référence (+ 7 %). Pour tous les ménages gagnant plus que le revenu médian, les différences ne sont pas significatives pour le chauffage central au gaz de ville ni pour les moyens divers de chauffage. Les émissions de CO₂ ne varient pas significativement avec le revenu.

La profession de la personne de référence (PR) ne joue un rôle significatif sur la dépense énergétique que pour des groupes faiblement représentés : ASAP et indépendants (chaudières au gaz de ville, ouvriers équipés d'appareils de chauffage indépendants). Le diplôme capte des effets significatifs dans plusieurs cas. Les bacheliers sont le groupe de référence. Dans les appartements à chauffage électrique, lorsque la PR est plus diplômée, la dépense augmente de + 5 à + 7%, toutes choses égales par ailleurs. La dépense augmente aussi pour les moins diplômés (BEPC : + 12 % ; sans diplôme : + 6 %) des appartements à chauffage électrique. Pour ceux équipés d'une chaudière au gaz de ville, seuls les titulaires d'un BEPC dépensent davantage que les bacheliers et, enfin, il n'y a pas d'effet significatif du diplôme dans le cas des appareils de chauffage indépendants.

Il semble, donc, pour conclure, que les effets de la position sociale (revenu, profession, diplôme) soient moins marqués en appartement qu'en maison individuelle.

Parmi les caractéristiques démographiques influençant le comportement des ménages en matière d'énergie, retenons, tout d'abord, l'âge de la personne de référence du ménage. Le groupe de référence de la régression est constitué des PR ayant de 46 à 49 ans. Les écarts par rapport à cette tranche d'âge sont plus importants que pour les ménages logés en maisons individuelles : au-delà de 65 ans, la dépense est supérieure d'environ 15 % pour les appartements à chauffage électrique (11 % pour les maisons individuelles), de 29 % pour les autres modes de chauffage (pour les maisons individuelles : 10 %, paramètre non significatif) et de 8 % pour les chaudières au gaz de ville (paramètre non significatif ; pour les maisons individuelles : + 6%). Cela se traduit par des surcroûts d'émission de CO₂ dans des proportions comparables. Lorsque la PR est âgée de 55 à 60 ans la même tendance à accroître sa dépense s'observe déjà. Les autres classes d'âge des PR ne se différencient pas significativement du groupe de référence.

Chaque enfant supplémentaire occasionne une dépense de + 7 % (chauffage électrique ; maisons individuelles : + 4 %), + 9 % (gaz de ville ; maisons individuelles : + 2 %) ou + 3,5 % (autres modes de chauffage, non significatif). Les ménages composés d'une seule personne réduisent leur dépense de 12 à 13 % (chauffage électrique et au gaz de ville) et de

27 % (autres modes de chauffage), soit des valeurs supérieures à celles des maisons individuelles.

Contrairement aux maisons individuelles, la date d'arrivée du premier membre du ménage dans un appartement n'influence jamais la dépense énergétique (en laissant de côté les arrivées très récentes pour lesquelles une année entière de dépense ne peut être observée).

La surface habitable de l'appartement influence fortement la dépense en énergie. Lorsqu'elle augmente de 10 m², la dépense énergétique augmente de 8 % (électricité et gaz de ville) ou de 15 % (autres modes de chauffage), ce qui est nettement supérieur aux paramètres obtenus pour les maisons individuelles.

Dans certains cas, la date de construction de l'immeuble a également un effet sur la dépense énergétique. Les appartements les plus récents (construction après 1990) sont la référence. La situation des appartements à chauffage électrique ne diffère jamais significativement de cette référence. En revanche, un surcroît de dépense apparaît pour les appartements chauffés au gaz de ville, qui est d'autant plus important que la date de construction est ancienne : il est de + 20 % pour les constructions antérieures à la première guerre mondiale, de 11 % pour celles construites entre 1949 et 1974 et il devient non significatif pour les constructions d'après 1990. Les écarts d'avec le groupe de référence sont plus importants pour les autres modes de chauffage : le seuil de + 20 % est presque toujours dépassé.

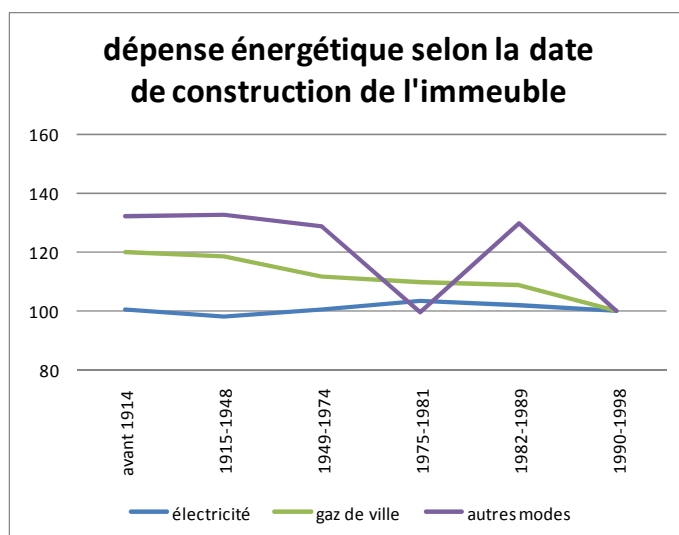


Figure 31. Dépense énergétique selon la date de construction de l'appartement

Le nombre de salles d'eau ne fait augmenter la dépense énergétique que dans le cas des appartements à chauffage électrique. Cette dépense diminue significativement lorsque la surface moyenne des pièces habitables augmente. La plupart des autres caractéristiques du logement sont sans effet significatif sur la dépense énergétique. C'est en particulier le cas des gros travaux effectués dans le logement, résultat identique à celui des maisons individuelles.

Parmi les variables significatives, retenons la situation de l'appartement dans l'immeuble : ceux du rez-de-chaussée ont une dépense accrue de 8 % (chauffage électrique), 12 % (chaudières du fioul) ou 21 % (autres modes de chauffage). Les appartements situés au dernier étage de l'immeuble et chauffés au gaz dépensent 6 % de plus en énergie que ceux situés à des hauteurs intermédiaires (groupe de référence).

Nous avons, comme pour les maisons individuelles, introduit dans les équations des variables climatiques : température, pluviométrie des mois d'hiver (novembre à mars) et

ensoleillement en janvier. La position du logement dans le zonage ZAUER a été éliminée car trop peu d'appartements sont situés à l'extérieur des pôles urbains et des pôles ruraux.

Toutes choses égales d'ailleurs, lorsque la température augmente de 1°C, la dépense énergétique diminue de 4,7 à 5,5 % selon le mode de chauffage. Ces valeurs sont très légèrement supérieures à celles des maisons individuelles, mais elles restent dans un ordre de grandeur comparable. Il en résulte que les émissions de CO₂ diminuent sensiblement lorsque la température augmente (environ – 4 % par degré Celsius, et même – 10 % dans le cas des autres modes de chauffage). La pluviométrie n'a un effet sur la dépense que lorsque l'appartement est chauffé à l'électricité. Enfin, l'ensoleillement de janvier ne fait diminuer la dépense d'énergie que dans le cas des appareils de chauffage indépendants, mais avec un paramètre trop élevé pour que ce résultat soit fiable.

7. Conclusions

Retenons, tout d'abord, que la variabilité temporelle des prix des sources d'énergie rend difficile les anticipations des ménages : durant les années 1990 le fioul était le produit le moins cher, mais l'augmentation de son prix durant les années 2000 et la baisse régulière du prix de l'électricité au cours de la même période ont modifié les prix relatifs des deux produits. Face à un avenir incertain en matière de prix, il est logique de penser que ce prix n'est pas la variable essentielle qui guide le choix des ménages.

Par ailleurs, le coût de l'investissement selon le mode de chauffage choisi dépend plus du niveau de qualité choisi et de l'isolation thermique mise en place que du mode lui-même. Enfin, ce coût n'est qu'une faible part du prix du logement (au point qu'il ne peut être estimé par la méthode des prix hédonistes à partir des données présentes dans les enquêtes Logement de l'INSEE) et il ne représente que quelques années de consommation. Au total, l'imprévisibilité des rapports de prix de l'énergie, le faible coût de l'investissement et sa variabilité selon ses caractéristiques précises ne permettent pas d'estimer des fonctions de demande, même si certaines recherches menées dans d'autres pays semblent être parvenues à le faire.

Dans les années 2000, qui sont celles que nous étudions ici à partir des enquêtes Logement de l'INSEE (2002 et 2006), la facture énergétique la plus lourde est celle des usagers de chaudières au fioul (maisons individuelles). Cela n'est pas dû qu'au prix du fioul, élément que nous venons de mentionner, mais aussi au fait que les maisons utilisant ce mode de chauffage sont en moyenne plus grandes que les autres.

En raisonnant par mètre carré de surface habitable pour les maisons individuelles et les appartements, le prix de l'énergie est soit à peu près identique pour les deux types de logements (chauffage au gaz de ville) soit il est supérieur dans les appartements (électricité), cette donnée de statistique descriptive allant à l'encontre des résultats économétriques de Calvet et Marical (2010) ; cela peut s'expliquer par le fait que la condition toutes choses égales par ailleurs n'est pas réunie dans les données descriptives que nous examinons ici.

Les logements à chauffage électrique sont les plus économes en KWh et ce sont eux qui émettent le moins de CO₂ par mètre carré de surface habitable, ce qui est dû au faible facteur d'émission de l'électricité et à l'utilisation fréquente d'un chauffage d'appoint (par des cheminées) dans les maisons individuelles. La consommation par unité de surface des logements chauffés au gaz de ville est de moitié supérieure à celle du chauffage électrique et les émissions de gaz carbonique par mètre carré de surface habitable sont à peu près quatre fois supérieures. Les chaudières au fioul des maisons individuelles ont une consommation

énergétique encore plus importante que les chaudières au gaz et elles émettent six fois plus de CO₂ par m² habitable que lorsque l'électricité est la source de chauffage du logement.

Les estimations économétriques que nous avons réalisées distinguent les maisons individuelles et les appartements et les principaux modes de chauffage, pour éviter des biais d'agrégation qui seraient dus à l'hétérogénéité ou à la structure des observations.

La première conclusion qu'il faut en retenir est que le coefficient de détermination est faible : il ne monte pas au-dessus de 0,27 (appartements chauffés par des appareils indépendants et il descend à 0,12 (maisons individuelles chauffées pareillement). Ceci semble indiquer que la dépense énergétique, ou les émissions de gaz à effet de serre qui sont associées, sont des variables difficilement prédictibles, même à partir du grand nombre de variables que comportent les enquêtes Logement de l'INSEE. Des analyses techniques, complémentaires à ces enquêtes, pourraient permettre de préciser cette question, et peut-être de définir des variables permettant de meilleures prédictions.

Les résultats montrent un effet significatif du revenu sur la dépense énergétique et les émissions de gaz carbonique des ménages les plus pauvres et les plus riches habitant des maisons individuelles (environ – 10 % pour les premiers, + 10 % pour les seconds). Cet effet du revenu sur la dépense est moins marqué pour ceux qui habitent des appartements : les 10 % des ménages aux revenus les plus élevés ne dépensent davantage d'énergie que lorsque l'appartement est chauffé électriquement. Au total, en examinant également les effets du diplôme et de la catégorie socioprofessionnelle, les effets de la position sociale (revenu, profession, diplôme) soient moins marqués pour les ménages habitant des appartements que pour ceux logés dans des maisons individuelles.

La situation démographique du ménage influence nettement sa dépense en énergie. Les plus âgés dépensent autour de 10 % de plus pour les maisons individuelles et encore un peu plus pour les appartements. Cela se traduit par des surcroûts d'émission de CO₂ dans des proportions comparables. Ce surcroût de consommation peut être dû à un mode de vie plus casanier (impliquant une température de confort tout au long de la journée) et/ou à une sensibilité au froid accrue du fait de l'âge. Chaque enfant supplémentaire se traduit par une augmentation de la dépense énergétique de 2 à 4 % dans les maisons individuelles (sauf celles chauffées au fioul) et de 5 à 9 % dans les appartements. Les ménages unipersonnels dépensent moins que ceux composés de plusieurs personnes (environ – 15 % pour la plupart des modes de chauffage).

La surface habitable est la première cause de variation de la dépense en énergie. Il faut compter une dépense de l'ordre de + 10 % pour 10 m² de surface habitable dans les appartements et à peu près moitié moins dans les maisons individuelles. Les immeubles construits après 1990 sont les plus économes en énergie ; un surcroût de dépense apparaît presque toujours pour les logements plus anciens (sauf pour les appartements à chauffage électrique). Ce surcroût est en général inférieur à 20 %, mais il dépasse ce seuil dans certains cas (maisons anciennes, appartements à appareils de chauffage indépendants). Une mise aux normes des logements anciens pour les rapprocher du niveau des plus modernes pourrait permettre de limiter sensiblement les émissions de CO₂ : le gain serait toujours important pour les logements construits avant 1974 (20 % pour les maisons individuelles chauffées au fioul, 10 à 13 % pour celles chauffées au gaz de ville, 13 à 20 % pour les appartements chauffés au gaz de ville. Mais ces gains sont incertains, car ils pourraient se traduire par un effet d'aubaine : la réalisation de gros travaux (chauffage central, chauffage électrique, eau chaude, isolation thermique, cheminée) ne se traduit jamais par une réduction de la dépense énergétique ou des émissions de CO₂. Cette absence de significativité peut être due à une

température plus confortable que permettent ces travaux, ou bien à une difficulté à définir précisément la variable les caractérisant.

L'effet du climat hivernal a, enfin, été examiné. Lorsque la température moyenne des mois de novembre à mars augmente de 1°C, la dépense énergétique diminue de 3 à 5 % pour les maisons individuelles et de 5 % environ pour les appartements. Il en résulte que les émissions de CO₂ diminuent d'environ 3 à 4 %. La pluviométrie n'a pas d'effet univoque sur la dépense. Enfin, l'ensoleillement de janvier a tendance à faire diminuer la dépense d'énergie de façon significative pour les maisons individuelles.

Références du chapitre 3

Calvet L., Marical F. (2010) – Le budget « énergie du logement » : les déterminants des écarts entre les ménages, CGDD, *Le point sur*, n° 56, 6p.

Cavailhès J. (2005) – Le prix des attributs du logement. *Economie et Statistique*, 381-382 : 91-123.

Clerc M., Marcus V. (2009) – *Elasticités-prix des consommations énergétiques des ménages*, INSEE, Document de travail G 2009/08, 19 p.

Deaton, A., Muellbauer, J. (1980) – An Almost Ideal Demand System, *American Economic Review*, 70: 312-326.

Fuss, M., Mc Fadden, D. (1978) – *Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications* – Amsterdam, New York, North Holland, 481 p.

Girault M. (2011) – Les consommations finales d'énergie en région, *Le point sur* n° 70.

Greene, W. (2003) – *Econometric analysis*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Nesbakken R. (1998) – Price sensitivity of residential energy consumption in Norway, Discussion paper n° 232, Statistic Norway, Research department.

Nesbakken R. (2001) – Energy consumption for space heating: a discrete-continuous approach, *Scand. J. of Economics*, 103: 165-184.

Penot-Antoniou L., Têtu P. (2010) – Modélisation économétrique des consommations de chauffage des logements en France, Commissariat Général au Développement Durable, *Etudes et Documents* n° 21, 16 p.

Trotignon R., Lagandré E., Aliti F., Moricard C. (2009) *Observatoire permanent de l'amélioration énergétique du logement, campagne 2009*, Paris, Business information intelligence services, Club de l'amélioration de l'habitat, ADEME, 87 p.

Van den Bergh Jeroen C.J.M. (2008) – Environmental regulation of households: An empirical review of economic and psychological factors, *Ecological Economics*, 66: 559-574.

Annexe du chapitre 3. La fonction AIDS et ses propriétés

Le projet de recherche était d'estimer une fonction de demande. Il s'agissait d'expliquer la demande de certains biens par le vecteur des prix des biens consommés et par des caractéristiques du ménage (revenu, composition, etc.). Appliquée à la dépense en énergie domestique (chauffage, éclairage, appareils électriques), connue par les enquêtes Logement de l'INSEE, les biens d'intérêt sont la somme de deux termes :

- Le prix annualisé de l'équipement choisi comme mode de chauffage. Ce prix est un coût fixe, engagé au moment où a été fait le choix.
- Le coût total du (des) combustible(s) utilisé(s) durant les 12 mois qui précèdent le moment de l'enquête Logement.

Le second terme est directement connu par les enquêtes Logement. Nous avons envisagé deux méthodes possibles pour connaître le premier : un prix d'expert ou une estimation économétrique par une équation hédoniste.

On obtient, par l'une ou l'autre de ces méthodes, une estimation de l'investissement en mode de chauffage, soit $\hat{I}$, qui est le prix unitaire de cet équipement. Ce prix intervient dans une fonction de demande énergétique.

Comme dans Cavailhès (2005), nous nous proposons de partir de la fonction de coût *Almost Ideal Demand System* (AIDS) de Deaton – Muellbauer (1980), forme flexible qui est une approximation locale de n'importe quelle forme fonctionnelle, et qui présente les avantages des fonctions translogs. Elle repose sur la dualité (Fuss et McFadden, 1978). La fonction de dépense en un bien énergétique e (soit c_e) d'un ménage s'exprime ainsi en fonction des prix p des biens consommés :

$$\log c_e = a_0 + \sum_i a_i \log p_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j a_{ij} \log p_i \log p_j + u \alpha_0 \prod_i p_i^{\alpha_i} \quad i, j = 1, \dots, n, z, e, \hat{I} \quad (1)$$

où u est l'utilité qui varie entre 0 (subsistance, c'est-à-dire niveau incompressible de dépense, égal aux trois premiers termes du membre de droite de l'équation) et 1 (luxue, c'est-à-dire ajout d'un terme de forme Cobb-Douglas),

p_z est le prix unitaire d'un bien composite aspatial (c'est-à-dire dont le prix est invariant dans l'espace),

p_e le prix du combustible consommé, $e = E, F, G, B$ (E = électricité, F = fioul, G = gaz de ville, B = gaz en bouteille),

$p_{\hat{I}}$ est le prix annualisé de l'équipement en mode de chauffage. Le prix $p_{\hat{I}}$ est susceptible d'être endogène, ce qui conduit à utiliser la méthode instrumentale.

Les autres indices $i, j = 1, \dots, n$; $i, j \neq z, e, \hat{I}$ désignent les n attributs du logement dont les prix unitaires sont p_i, p_j .

La dérivée de la fonction de dépense (1) par rapport au prix d'une variable est égale à la part budgétaire de cette variable. On a donc, pour le bien i :

$$\frac{\partial \log c}{\partial \log p_i} = \frac{p_i x_i}{c} = \pi_i = a_i + \sum_j a_{ij} \log p_j + u \alpha_0 \alpha_i \prod_j p_j^{\alpha_j} \quad j = 1, \dots, n, z, e, \hat{I} \quad (2)$$

où l'on appelle x_i la quantité consommée de l'attribut i et π_i sa part dans la dépense (part budgétaire). À l'optimum et en supposant un régime stable sans épargne ni emprunt, c est égal

au revenu disponible W , ce qui permet de tirer u de (1) comme fonction de W et des p_i . En reportant dans (2), on obtient l'équation de la part du bien i dans la dépense :

$$\pi_i = a_i + \sum_j a_{ij} \log p_j + \alpha_i \left(\alpha_0 + \sum_j a_{ij} \log p_j + \frac{1}{2} \sum_j \sum_k a_{jk} \log p_j \log p_k \right) \quad (3)$$

$$= \frac{p_i x_i}{W} \quad j, k = 1, \dots, n, z, e, \hat{I}$$

Finalement, l'équation de part budgétaire estimée pour une variable x_i s'obtient en utilisant comme variables explicatives le prix de l'énergie domestique p_e et du mode de chauffage $p_{\hat{I}}$ et les prix hédonistes estimés par ailleurs pour les attributs du logement retenus ($j = 1, \dots, n ; j \neq z, e, \hat{I}$). L'élasticité-revenu et les élasticités-prix se déduisent de (3). En appelant σ_i l'élasticité-revenu du bien i et ε_{ii} ($i = 1, \dots, n, E, \hat{I}$) son élasticité-prix directe, on a :

$$\sigma_i = 1 + \frac{\alpha_i}{\pi_i} \quad \varepsilon_{ii} = -1 + \frac{(1 - \alpha_i) \sum_j \alpha_{ij} - \sum_j \alpha_{ij} \log p_j}{\pi_i}$$

Les élasticités-prix croisées s'obtiennent de la même façon.

Chapitre 4

Les dépenses énergétiques contraintes dans les territoires : logement et navettes

1. Introduction

Les émissions de gaz carbonique des ménages sont, d'une part, celles qui sont contraintes par les besoins domestiques d'énergie, les déplacements domicile – travail des personnes actives et les déplacements domicile – école des jeunes et, d'autre part, celles liées à des activités non contraintes, comme les loisirs, les vacances, etc. Nous nous proposons d'étudier ici les émissions de gaz carbonique dues à la consommation d'énergie contrainte et la variabilité géographique de ces émissions en France métropolitaine.

Les émissions de CO₂ liées aux déplacements domicile – travail ou domicile – études ont été étudiées avec un grand niveau de finesse par Lévy et Le Jeannic (2011). Celles liées au logement, qui sont l'objet d'étude nouveau de ce chapitre, sont d'une grande importance pour remplir les objectifs de limitation d'émissions de gaz à effets de serre (GES) découlant de l'accord de Kyoto et de la politique de l'Union européenne. C'est ce que montre, entre autres auteurs, le rapport Pelletier (2008) : « Le secteur du bâtiment est le plus consommateur d'énergie – avec la moitié de l'énergie finale – et représente la deuxième source pour les émissions de CO₂, juste après le transport [il s'agit ici de l'ensemble du secteur transports], avec près du quart des émissions ». Les émissions de GES des logements sont, en effet, supérieures à celles des navettes vers le lieu de travail ou d'étude. Le plan climat en France prévoit de « réduire les consommations d'énergie du parc des bâtiments existants d'au moins 30% d'ici à 2020 » (MEEDD, 2009). L'enjeu d'une amélioration de la performance énergétique des bâtiments existants est plus important que la consommation des bâtiments nouveaux, comme le montrent Orselli (2008) et Pelletier (2008).

La difficulté essentielle pour agir sur la consommation énergétique des logements, dans le but de réduire les émissions de GES, est l'insuffisance des connaissances. Dans la plupart des études, les auteurs privilégient des approches techniques pour quantifier les performances énergétiques des logements, selon différents segments du parc. Marchal (2008) a réalisé un des travaux les plus minutieux en ce domaine, qui a été utilisée par Thirion (2010) pour connaître la situation du parc de logements en Lorraine. Marchal (2008) utilise des études thermiques des Opérations programmées d'amélioration de l'habitat (OPAH), de l'Union sociale de l'habitat (USH), de la Mission interministérielle de l'effet de serre (MIES), de la Réglementation thermique, etc. Il insiste, dans une mise en garde des lecteurs, sur le fait que « Nous tenons à rappeler que cette étude n'a pas pour prétention de donner des résultats d'une très grande précision. Elle vise à donner, compte tenu des sources disponibles actuellement, des ordres de grandeur sur les segments majeurs du parc de logements. La segmentation

initiale et la caractérisation des performances énergétiques mériteraient d'être améliorées, nécessitant des données plus fiables et plus nombreuses ».

Comme le montre le rapport de Marchal (2008), des hypothèses hardies doivent être faites pour mettre en rapport un niveau donné de performance énergétique et un segment particulier du parc de logements. En particulier, l'estimation de la consommation énergétique des logements collectifs à chauffage urbain est presque impossible, ce qui conduit Thirion (2010) à exclure ce segment des estimations réalisées pour la Lorraine. Nous verrons également que la question de la conversion de l'énergie en CO₂ dépend de conventions, qui diffèrent selon les auteurs.

Nous adoptons ici une toute autre logique que celle basée sur des données techniques. Nous partons de données économiques sur la dépense énergétique déclarée par les ménages dans les enquêtes Logement de l'INSEE. A partir de celle-ci nous estimons, par un modèle économétrique, la consommation en kWh en fonction des prix de l'énergie, puis l'émission de CO₂ en fonction de coefficients de conversion de kWh en CO₂, qui dépendent du type d'énergie. Les résultats montrent que cette approche économétrique n'est pas meilleure que l'approche technique de Marchal (2008). Les mises en garde de ce dernier valent entièrement pour les résultats que nous présentons dans ce chapitre : il s'agit d'une tentative pour fournir des ordres de grandeur, qui ont une fiabilité limitée car les coefficients de détermination des estimations économétriques sont faibles (de 0,15 à 0,25). L'essentiel de la dépense énergétique et des émissions de CO₂ n'est pas expliqué par ces modèles.

Il faut donc examiner ces résultats avec prudence. Ils présentent, néanmoins, un double intérêt. D'une part, ils donnent des estimations régionalisées et à des niveaux géographiques fins, ce qui permet de faire ressortir certaines grandes tendances, comme l'effet du climat, ou celui du parc de maisons individuelles anciennes des villes. D'autre part, il couple certaines des caractéristiques des logements à celles des ménages qui les occupent. Cela répond à une suggestion de Marchal (2008), qui considère que « il serait bon de coupler cette étude à une étude socio-économique permettant de savoir qui vit dans les logements les plus énergivores, quels sont leurs comportements, et quels sont leurs niveaux de ressources pour de futurs travaux d'amélioration thermique ».

2. Méthode

Pour les émissions liées aux déplacements domicile – travail et domicile – études, nous nous appuyons sur Lévy et Le Jeannic (2011). Pour celles liées au logement, nous adoptons la méthode présentée dans le chapitre précédent de ce rapport, avec certaines adaptations.

Lévy et Le Jeannic (2011) utilisent le « Kit CO₂ » développé par l'INSEE et le SOeS, complété par diverses sources de données : recensement de la population de 2007, distances entre domicile et lieu de travail ou d'étude, parc automobile communal, enquête transport et déplacement de l'INSEE de 2008, etc. Les résultats des émissions ainsi estimées par personne nous ont été communiqués dans le cadre de cette étude, au niveau agrégé de la commune.

Nous adaptons les modèles du chapitre 3, qui permettent de prédire des émissions de CO₂ pour différents segments du parc de logement. Ici, ces segments sont les maisons individuelles et les appartements croisés avec les principaux modes de chauffage : électricité, chaudières à gaz ou à fioul (ce dernier n'étant pas retenu pour les appartements) et appareils indépendants, cheminées ou cuisinières chauffantes.

Le chauffage collectif des appartements pose un problème, car la dépense énergétique est le plus souvent incluse dans les charges locatives ou de copropriété : son montant ne peut être

individualisé dans les enquêtes Logement de l'INSEE. Le chauffage collectif au gaz de ville concerne 6,56 % des logements et celui au fioul 2,56 %. Pour ces logements, nous considérons que les émissions de CO₂ sont identiques à celles des appartements équipés d'une chaudière individuelle au gaz : les mêmes paramètres du modèle économétrique sont utilisés, que la chaudière soit individuelle (gaz) ou collective (gaz ou fioul). Cette approximation est critiquable. Elle pourrait être améliorée à partir de données d'experts. Rappelons que Thirion (2010) ne tient pas compte du chauffage urbain, ce qui introduit un biais spatial plus important que le nôtre, puisque les logements ainsi chauffés sont localisés dans les pôles urbains.

Par rapport aux modèles du chapitre trois, nous estimons ici des modèles économétriques sur les variables et leurs modalités présentes dans le recensement de la population de 2007, de manière à obtenir une émission prédite de CO₂ par logement à partir des paramètres estimés. Il s'agit de caractéristiques du logement, du ménage et de la localisation. Parmi les premières, nous avons retenu le type de logement (maison individuelle ou appartement), la date de construction, la surface habitable et le type de chauffage (cf. supra). Il s'agit, sans surprise, des mêmes variables que celles de Thirion (2010). Comme ce dernier, nous utilisons également le statut d'occupation (propriétaire et locataire du secteur libre ou social). Nous ajoutons les caractéristiques des ménages connues dans le recensement de la population de 2007 (ce qui répond à un vœu de Marchal, 2008) : âge, diplôme, structure du ménage (nombre d'enfants, personne seule, nombre d'actifs). Enfin, des variables climatiques sont utilisées : température et pluviométrie des mois d'hiver, ensoleillement en janvier.

Il faut, comme dans le chapitre trois, convertir en quantités de gaz carbonique les dépenses monétaires de consommation d'énergie domestique, connues dans les enquêtes Logement (nous utilisons celles de 2002 et 2006). Ces dépenses sont déclarées par les ménages enquêtés pour chaque source d'énergie principale. Des quantités de KWh sont ensuite obtenues en divisant cette dépense par les prix unitaires, obtenus par la base de données PEGASE du SOeS (il s'agit du prix complet d'abonnement et de consommation pour des logements types). Enfin, des coefficients d'émission de gaz sont appliqués à ces quantités pour chaque type d'énergie en appliquant les facteurs de conversion de l'arrêté du 15 septembre 2006 (tableau 56).

	TOUS USAGES
Bois, biomasse	0,013
Gaz naturel	0,234
Fioul domestique	0,300
Charbon	0,384
Gaz propane ou butane	0,274
Autres combustibles fossiles	0,320
Electricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment	0
Electricité (hors électricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment)	0,084

Tableau 56. Facteurs d'émission de CO₂ selon le type d'énergie

Notons que ces coefficients de conversion sont différents de ceux de Thirion (2010). Ce dernier retient que « il faut consommer 2,58 kWh de chaleur primaire pour produire un kWh d'électricité », ce qui pénalise fortement le chauffage « tout électrique » par rapport au chauffage au gaz. Nous avons retenus les facteurs d'émission qui nous ont été communiqués par le SOeS, dans le cadre de cette étude.

Nous obtenons ainsi des émissions de CO₂ par logement pour les différents types définis ci-dessus. Une comparaison de ces résultats économétriques avec les statistiques descriptives montre que, en moyenne, la dépense énergétique est correctement prédite par l'ajustement économétrique. Cependant, les R² de cette dépense et de l'émission de CO₂ sont faibles (de 0,11 à 0,25) : l'essentiel de la variabilité des émissions de CO₂ n'est pas expliquée par les modèles.

Les résultats sont présentés sous forme de cartes par département et par commune. Dans ce dernier cas un lissage sur un pas de 10 kilomètres permet d'améliorer la lisibilité et d'éliminer des artefacts dus à un faible nombre d'observations dans certaines communes.

Nous avons cartographié les émissions de CO₂ des maisons individuelles (par logement) et celles de l'ensemble des logements (par personne). Nous ne présentons pas la carte des émissions de CO₂ des appartements car, comme nous l'avons dit, les résultats sont très fragiles, en particulier pour les appartements à chauffage collectif d'immeuble ou urbain (que nous avons assimilés au chauffage individuel au gaz). Rappelons que l'essentiel des émissions de gaz carbonique sont dues aux maisons individuelles : celles-ci représentent la majorité du parc (56 %), elles sont, en moyenne, presque deux fois plus grandes que les appartements et environ le quart d'entre elles sont chauffées au fioul, source d'énergie la plus émettrice de CO₂.

L'émission totale de gaz carbonique due à des activités contraintes est enfin obtenue par sommation de ces émissions domestiques et de celles dues aux déplacements domicile – travail et domicile – école. Elle est calculée par personne.

3. Résultats

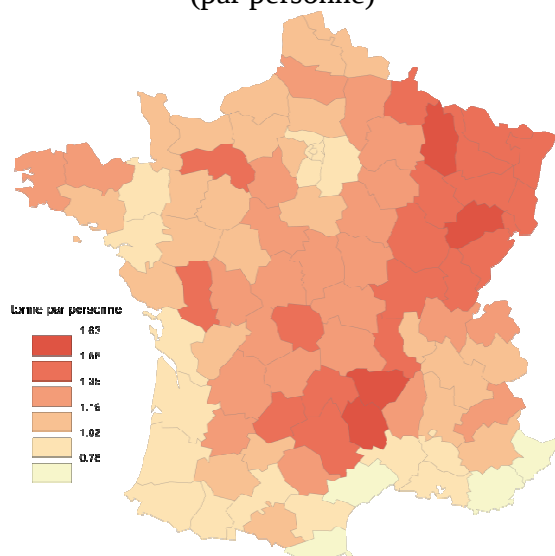
3.1 Les émissions de CO₂ par département

La figure 32 montre quatre cartes d'émissions de CO₂ par département : émissions des logements par personne (ensemble des logements) et par maison individuelle (par logement), émissions des déplacements par actif et étudiant, et enfin émissions totales, logement et déplacements, par personne.

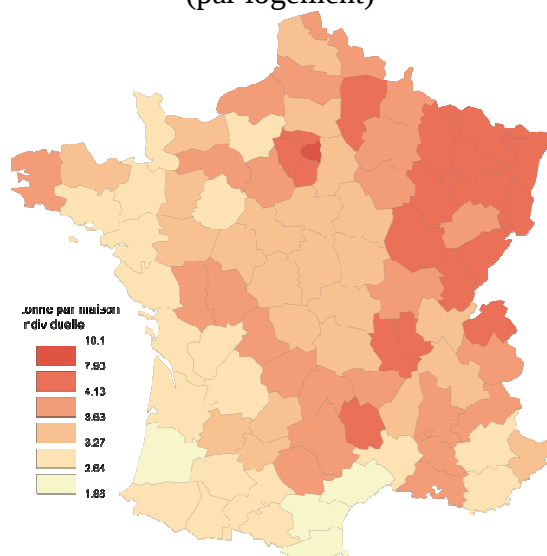
Les émissions des maisons individuelles, tout d'abord, montrent un fort effet climatique (carte en haut à droite). Le nord-est du pays, du fait du climat semi-continental froid en hiver, est le plus émetteur de gaz carbonique (Thirion, 2008, ajoute que, pur la Lorraine, cet effet climatique est renforcé par l'ancienneté du parc des maisons). Les maisons individuelles de la façade océanique et de la Manche sont, au contraire, assez peu émettrices de CO₂ (à l'exception du Finistère et de la Picardie) et ce sont les départements autour du golfe du Lion et les Landes, qui sont les plus économes. La situation particulière de l'Île-de-France et de certains départements (Rhône, Bouches-du-Rhône) s'expliquera à l'examen de résultats plus détaillés, au niveau des communes.

Lorsqu'on ajoute les émissions des appartements à celles des maisons individuelles et qu'on divise le total par le nombre de personnes (carte en haut à gauche de la figure 32), on obtient une géographie peu modifiée, sauf pour quelques départements. Cette similitude provient, comme nous l'avons dit, de ce que les maisons individuelles sont plus nombreuses et plus grandes que les appartements et qu'elles sont plus énergivores (cf. chapitre 3, section 4.1). Le nord-est est toujours la région la plus consommatrice, le Massif central se détache plus nettement, les façades maritimes sont les régions les moins émettrices de CO₂.

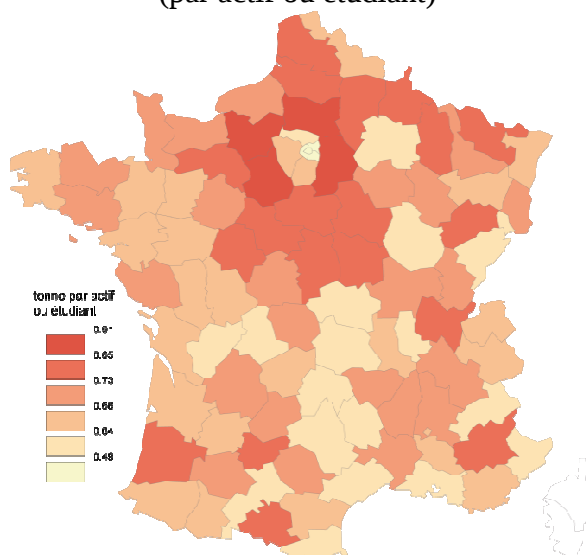
Emissions de CO₂ des résidences principales
(par personne)



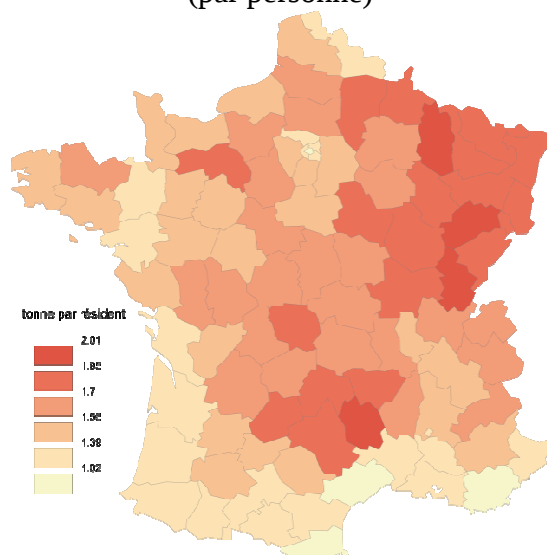
Emissions de CO₂ des maisons individuelles
(par logement)



Emissions de CO₂ des déplacements
(par actif ou étudiant)



Emissions de CO₂ domestiques
(par personne)



Sources : Estimation à partir de l'enquête logement 2006 et interpolation à partir du RP 2007 (Insee). Calcul des auteurs (Inra umr1041 cesaer).

Figure 32. Emissions de CO₂ par département

La température moyenne des mois de novembre à mars joue un rôle essentiel dans l'explication de la variabilité inter-départementale de ces résultats. Toutes choses égales par ailleurs, un degré Celsius supplémentaire fait diminuer les émissions de gaz carbonique de 4,2 % (maisons individuelles à chauffage électrique), 6,9 % (maisons individuelles à chauffage au fioul) ou 9,0 % (maisons individuelles à chauffage au gaz). Pour les appartements les paramètres des régressions économétriques sont un peu inférieurs à ceux-ci, mais nous avons vu que ces logements pesaient moins que les maisons individuelles dans le total des émissions. Or, la température moyenne des cinq mois d'hiver est de 4,1 °C sous le climat semi-continental, d'environ 6,5 °C sous les différents climats océaniques (franc, dégradé, altéré) et de 8,0 °C sous le climat méditerranéen (nous utilisons ici le zonage climatique de Joly et al., 2010). Les écarts par rapport au climat méditerranéen atteignent

donc 4 °C environ en moyenne pour le climat semi-continental, ce qui explique les différences importantes montrées par les cartes.

Les émissions de CO₂ par travailleur ou par étudiant sont reprises de Lévy et Le Jeannic (2011, carte en bas à gauche de la figure 32). Elles sont nettement inférieures aux précédentes. La lecture des cartes doit tenir compte de ce que le dégradé de couleurs correspond, en effet, à des classes modifiées¹¹.

L'ajout des émissions dues aux deux sources produit une carte grossièrement semblable à celle des émissions des seuls logements (figure 32, carte en bas à droite). Cependant, on observe quelques différences comme l'effet des déplacements lointains des départements situés en grande couronne parisienne ou, à l'inverse, le passage de Paris dans la classe la plus économe.

Retenons de cette première analyse que l'effet du climat sur les émissions de gaz carbonique est très important. Un des avantages de la méthode économétrique que nous avons utilisée par rapport aux approches techniques est de donner une bonne quantification de cet effet, grâce à la précision des données climatiques (interpolées par commune) que nous utilisons dans ce rapport.

Un corollaire de cette conclusion est que, pour se conformer aux engagements de la France de réduction des émissions de CO₂, une politique uniforme au niveau national d'amélioration de la performance énergétique des logements serait moins efficace qu'une politique régionalisée prenant en compte la variabilité des climats (mais l'acceptabilité de politiques régionalisées pourrait être moindre du fait de leur aspect inégalitaire).

3.2 Les émissions de CO₂ par commune

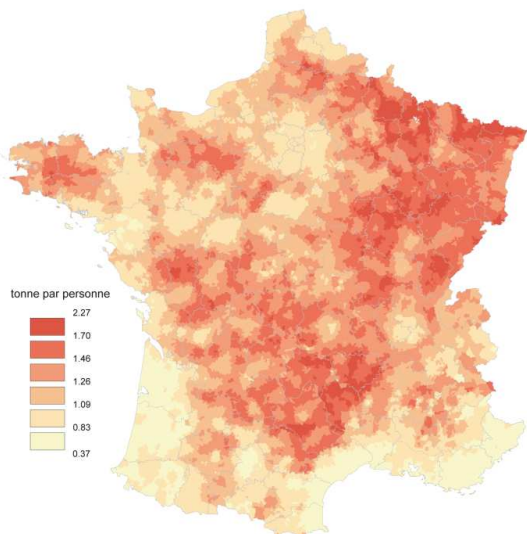
Les cartes de la figure 33 indiquent les résultats des émissions par commune. Elles présentent les mêmes variables que les cartes de la figure 32 : émissions de CO₂ des maisons individuelles (par logement), émissions de CO₂ des résidences principales (par personne), émissions de CO₂ des déplacements (par actif ou étudiant) et total des émissions de CO₂ domestiques (par personne).

Elles permettent de voir la variabilité intra-départementale des émissions de gaz carbonique. L'examen de la carte des émissions des maisons individuelles montre que le phénomène le plus marquant est la différence entre les pôles urbains et les autres communes. Les maisons individuelles des communes centres des aires urbaines, et souvent celles de leurs banlieues, émettent plus de CO₂ que celles de leurs couronnes périurbaines et des communes de l'espace à dominante rurale proche. Le cas de Bordeaux par rapport au reste de la Gironde est particulièrement net, de même que celui de l'Île-de-France. Des communes comme Montpellier, Béziers ou Narbonne appartiennent à une classe d'émission plus modérée, du fait de la douceur du climat méditerranéen, d'une part, et, d'autre part, à cause du lissage ; mais elles restent plus émettrices de CO₂ que le reste de leur département.

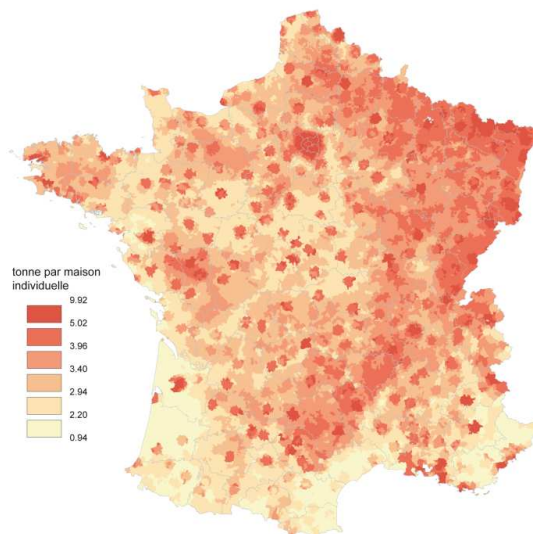
Ces fortes émissions de CO₂ des villes font ressortir de manière plus nette que les cartes départementales les différenciations régionales de l'effet du climat : les communes non urbaines de la façade aquitaine et celles du littoral provençal et azuréen se trouvent dans la classe la moins émettrice.

¹¹ Pour l'ensemble des cartes de la figure 32, la première classe correspond aux cinq premiers centiles, les quatre suivantes correspondent chacune à 22,5 % des observations et la dernière classe aux cinq derniers centiles.

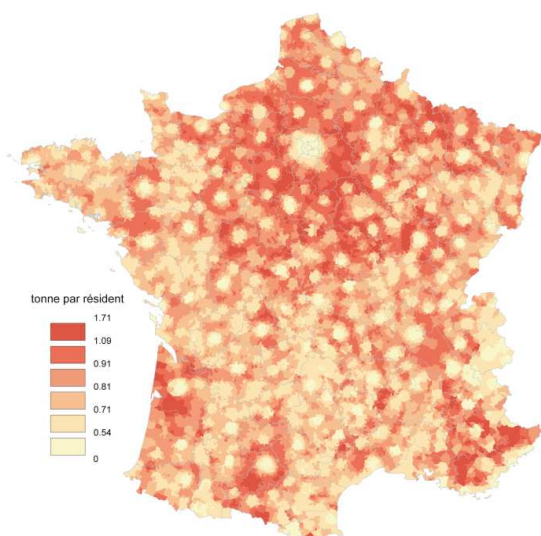
Emissions de CO₂ des résidences principales
(par personne)



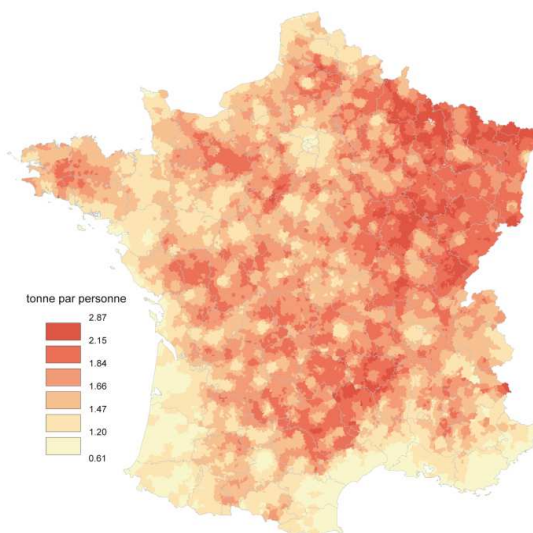
Emissions de CO₂ des maisons individuelles
(par logement)



Emissions de CO₂ des déplacements
(par actif ou étudiant)



Emissions de CO₂ domestiques
(par personne)



Sources : Estimation à partir de l'enquête logement 2006 et interpolation à partir du RP 2007 (Insee). Calcul des auteurs (Inra umr1041 cesaer).

Figure 33. Emissions de CO₂ par commune

La raison principale de cet effet urbain tient à l'ancienneté du parc de maisons individuelles des pôles des aires urbaines et à leur mode de chauffage, comparé à la situation des communes périurbaines. Toutes choses égales par ailleurs, une maison individuelle à chauffage électrique construite avant 1975 émet environ 13 % de CO₂ de plus que celles construites après 1990. La différence est de 16 % pour le chauffage au gaz, et elle atteint 25 % pour celles à chauffage électrique. Or, le fort mouvement de périurbanisation de ces quarante dernières années se traduit par un parc de maisons individuelles plus récent que celui des pôles urbains, où une grande partie des maisons sont assez anciennes. A cet effet de date de construction s'ajoute un effet de mode de chauffage : les maisons récentes sont plus souvent équipées d'un chauffage « tout électrique », alors que les plus anciennes étaient souvent chauffées au fioul. Or, les statistiques descriptives du chapitre trois ont montré que les

maisons individuelles équipées d'une chaudière au fioul émettaient six fois plus de CO₂ par mètre carré habitable que le chauffage électrique. Ce sont ces deux facteurs, ancienneté du parc mode de chauffage, qui expliquent l'effet urbain que montre la carte de la figure 33 sur les émissions de CO₂ par les maisons individuelles.

En ajoutant les émissions des immeubles collectifs et en rapportant le résultat au nombre de personnes, cet effet urbain est fortement atténué ou disparaît. C'est dû, tout d'abord, aux faibles émissions des appartements, du fait de leur taille moindre que celle des maisons (les données descriptives du chapitre trois ont montré que les émissions de CO₂ par mètre carré habitable étaient d'un niveau comparable pour les maisons individuelles et les appartements, pour un mode de chauffage donné). La taille des ménages joue un rôle additionnel, probablement dû aux banlieues des pôles urbains où les ménages sont grands.

La carte des émissions des migrants alternants domicile – travail ou domicile école (figure 33, carte en bas à gauche) est presque le négatif de celle des émissions de CO₂ des maisons individuelles. Les pôles urbains sont particulièrement économes, alors que leur couronne périurbaine est particulièrement émettrice (voir par exemple l'Île-de-France ou la région de Toulouse). Les régions de montagne émettent peu de CO₂ (faible population de navetteurs), comme le montre le cas des Vosges, des Alpes (sauf la partie méditerranéenne, où les déplacements vers les villes côtières sont nombreux), de la plupart des régions du Massif central ; or les maisons individuelles de ces régions émettaient beaucoup de CO₂.

La carte finale, obtenue par l'addition des émissions dues au logement et aux déplacements des travailleurs et des étudiants et rapportée au nombre de personnes, montre à nouveau la dominance de l'effet du climat. Les deux effets des fortes émissions des maisons individuelles anciennes des villes et des faibles émissions des déplacements dans celles-ci se compensent en grande partie.

4. Conclusion

Il faut avant tout rappeler les limites des résultats présentés dans ce chapitre. L'approche économétrique que nous avons mise en œuvre est aussi peu précise que les approches techniques (basées sur des performances énergétiques mesurées dans certains cas et extrapolées à l'ensemble du parc de logements). Il est probable qu'une amélioration des connaissances viendra de la confrontation de ces deux méthodes et de mesures plus précises, comme le diagnostic énergétique qui devrait être réalisé pour une partie des logements enquêtés de la prochaine enquête nationale Logement.

Les régressions économétriques permettant de faire des prédictions à partir de variables présentes dans le recensement de la population (2007) n'expliquent que 15 à 25 % de la variance des émissions de gaz. Ces régressions reposent sur des conventions (facteurs de conversion) et des calculs d'experts (coût abonnement et consommation selon le type de contrat EDF ou GDF, pas de régionalisation du coût du fioul). Les enquêtes Logement que nous exploitons ne permettent pas d'estimer correctement les émissions de CO₂ des logements à chauffage collectif ou urbain, ce qui crée un biais spatial puisque ces logements se trouvent dans les villes.

Malgré ces limites, deux conclusions de ce chapitre méritent d'être retenues.

Premièrement, la température moyenne des mois de novembre à mars joue un rôle important dans l'explication des émissions de gaz carbonique. Toutes choses égales par ailleurs, un degré Celsius supplémentaire fait diminuer les émissions de gaz carbonique des maisons individuelles de 4,2 % (chauffage électrique) à 9,0 % (chauffage au gaz), ces

pourcentages étant un peu moindres pour les appartements. Or, la température moyenne des cinq mois d'hiver est de 4 °C inférieure sous le climat semi-continental que sous le climat méditerranéen. La réalité de cet effet climatique est connue de tous les spécialistes, mais nous l'avons mesuré, ce qui est rarement fait.

Deuxièmement, un « effet urbain » est dû à l'ancienneté du parc de maisons individuelles des pôles des aires urbaines et à leur mode de chauffage, comparé à la situation des communes périurbaines. Celui-ci s'explique par l'importance du parc des maisons individuelles anciennes (construction avant 1975) des pôles urbains, comparée à l'espace périurbain où les maisons sont en moyenne plus récentes (du fait du fort mouvement de périurbanisation de ces quarante dernières années). Or, toutes choses égales par ailleurs, une maison individuelle à chauffage électrique construite avant 1975 émet entre 13 % et 25 % de CO₂ de plus que celles construites après 1990 (selon le mode de chauffage). De plus, les maisons individuelles chauffées au fioul émettent six fois plus de CO₂ par mètre carré habitable que celles à chauffage électrique. Or, les maisons récentes sont plus souvent équipées d'un chauffage « tout électrique », alors que les plus anciennes étaient souvent chauffées au fioul. Ces deux facteurs, ancienneté du parc et mode de chauffage, expliquent l'effet urbain montré par les cartes.

Références

Joly, D., Brossard, T., Cardot, H., Cavailhès, J., Hilal, M., Wavresky, P. (2010) – Les types de climat en France, une construction spatiale, *Cybergeo*, article 501, 32 p. (en ligne).

Lévy, D., Le Jeannic, T. (2011) – Un habitant de pôle urbain émet deux fois moins de CO₂ que la moyenne pour se rendre à son lieu de travail ou d'étude. INSEE Première, 1357, 4 p.

Marchal J. (2008) – Modélisation des performances énergétiques du parc de logements. Etat énergétique du parc en 2008, 26 p.

MEEDD (2009) – Plan climat en France. Journal du MEEDD, novembre.

Orselli, J. (2008) – Economie et substitution d'énergie dans les bâtiments, rapport du Conseil général des Ponts et chaussées n°004831-1.

Pelletier P. (2008) – Comité opérationnel Rénovation des bâtiments existants. Rapport au MEDAD, 115 p.

Thirion B. (2010) – Pour une prospective de l'amélioration de la performance énergétique du parc des logements lorrains, INSEE Lorraine n° 223-224, 14 p.