

# Études & documents

## Modélisation économétrique des consommations de chauffage des logements en France

n°21  
Mai  
2010

DEVELOPPEMENT  
DURABLE

ÉCONOMIE ET ÉVALUATION



Ressources, territoires, habitats et logement  
Énergie et climat Développement durable  
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

Présent  
pour  
l'avenir

**Collection « Études et documents »  
du Service de l'Économie, de l'Évaluation et de l'Intégration du Développement Durable  
(SEEIDD) du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD)**

Titre du document : « Modélisation économétrique des consommations de chauffage des logements en France »

Directeur de la publication : Françoise Maurel

Auteur : Lucile Penot-Antoniou, Philippe Têtu

Date de publication : Mai 2010

Ce document n'engage que son ses auteurs et non les institutions auxquelles ils appartiennent.  
L'objet de cette diffusion est de stimuler le débat et d'appeler des commentaires et des critiques.

## SOMMAIRE

Synthèse.....	3
1. Objectif et méthodologie.....	5
2. Résultats.....	7
2.1. Ensemble des énergies.....	7
2.1.1. Modèle de pseudo-panel à effet fixe.....	7
2.1.2. Modèle à correction d'erreur.....	7
2.1.3. Analyse des résultats.....	8
2.2. Chauffage électrique.....	9
2.2.1. Résultats obtenus avec les modèles de pseudo-panel.....	9
2.2.2. Résultats obtenus avec les modèles à correction d'erreur (MCE).....	10
2.3. Chauffage au fioul domestique.....	11
2.3.1. Résultats obtenus avec les modèles de pseudo-panel.....	11
2.3.2. Résultats obtenus avec les MCE.....	12
2.4. Chauffage au gaz.....	13
2.4.1. Résultats obtenus avec les modèles de pseudo-panel.....	13
2.4.2. Résultats obtenus avec les MCE.....	14
2.5. Décomposition du prix de l'énergie.....	15
Annexes.....	17
1. Informations sur la base de données CEREN :.....	17
2. Calcul du nombre de degrés-jours NDJ :.....	17
3. Programme de décomposition du prix :.....	17



## Synthèse

La présente étude a pour but de définir une fonction de demande d'énergie finale pour le chauffage des ménages en France. Elle s'inscrit dans un contexte de mise en œuvre du Grenelle de l'environnement et de promotion de la sobriété énergétique. Sachant que le chauffage représente 70% de la consommation d'énergie des 32 millions de logements français, il est important de comprendre et d'évaluer les déterminants du comportement de consommation de chauffage des ménages dans leur habitation.

L'étude s'appuie sur les données des enquêtes annuelles sur la consommation d'énergie dans les logements réalisées par le CEREN entre 1984 et 2006.

La fonction de demande d'énergie pour le chauffage a été définie suivant différentes caractéristiques. Les résultats concernent la demande d'électricité, de fioul, de gaz, seule ou avec énergies secondaires. Diverses catégories de logements sont étudiés : maisons ou appartements ; construits avant ou après 1975.

Plusieurs variables explicatives sont testées telles que le climat, le prix de l'énergie, le revenu des ménages, la surface. Pour cela, deux types d'estimations sont réalisées : les estimations en pseudo-panel et les modèles à correction d'erreur. Un modèle avec décomposition des évolutions du prix de l'énergie entre hausses et baisses est également testé.

Les premiers résultats concernant la demande de chauffage toutes énergies confondues mettent en évidence l'influence relativement importante du climat (élasticité positive entre 0,6 et 0,8) ainsi que du prix de l'énergie (élasticité négative autour de  $-0,25$ ). Le progrès technique entraîne également une diminution de consommation annuelle de l'ordre de 1,2% à 1,5% par an. La variable de revenu ne rentre pas toujours aisément dans ces modèles, d'autant que le revenu n'est pas individualisé mais simplement considéré de façon agrégée au niveau national.

L'influence du climat reste élevée si l'on ne considère que les ménages ayant l'électricité comme chauffage principal. Pour ces ménages, l'élasticité de la surface du logement est également élevée (entre 0,15 et 1 pour la consommation d'énergie par  $m^2$  dans les modèles de pseudo-panel. Cette variable ne rentre pas dans les modèles à correction d'erreur). Quant aux élasticité-prix, elles sont toutes de signe attendu, négatif, et relativement variables suivant le type de logement considéré (élasticité au prix de l'électricité comprises entre  $-1,5$  et  $-0,4$ ).

Les ménages qui ont le fioul comme énergie de chauffage principal ont une élasticité au prix du fioul faible, autour de  $-0,1$ . Les élasticité à la surface sont également moins élevées que pour le chauffage électrique : entre 0 et 0,2. La variable de revenu reste difficile à introduire dans ces modèles.

Concernant les ménages ayant le gaz comme énergie de chauffage principal, il est difficile d'obtenir des relations significatives sans l'introduction de la consommation retardée ou du prix retardé en tant que variable explicative. L'élasticité au prix du gaz est alors comprise entre  $-0,15$  et  $-0,10$  et l'influence du climat reste importante avec une élasticité positive autour de 0,65.

Le modèle avec décomposition du prix de l'énergie ne donne des résultats positifs qu'en considérant un panel regroupant toutes les énergies de chauffage. Cette approche met en évidence l'existence de réactions asymétriques aux prix de l'énergie.



## 1\_ Objectif et méthodologie

L'objectif principal de cette étude est de définir une fonction de demande d'énergie finale pour le chauffage des ménages en France. La méthodologie économétrique est explicitée dans cette première partie, les résultats sont présentés dans la seconde partie.

L'étude s'appuie sur les données 1984-2006 des enquêtes annuelles sur la consommation d'énergie dans les logements réalisées par le CEREN<sup>1</sup> et plus précisément sur des informations relatives à diverses catégories de logements (maisons, appartements ; construits avant ou après 1975). Les données communiquées par le CEREN sont un pseudo-panel puisque ce sont des données moyennes par catégorie de logement et non des données individuelles ; par conséquent, l'hétérogénéité entre les ménages est une information perdue.

Les principales variables explicatives testées pour définir cette fonction de demande d'énergie finale sont le prix de l'énergie, le revenu, une tendance temporelle représentant le progrès technique, la rigueur climatique en nombre de degré jours (NDJ\_cf. annexe p.17) et la surface du logement.

Le variable de revenu n'étant pas comprise dans les fichiers CEREN à disposition, c'est la chronique des revenus moyens au niveau national (source INSEE) qui est retenue. Les estimations ne prennent donc pas en compte les éventuelles différences de revenus qui peuvent exister selon l'énergie de chauffage et la catégorie de logement.

La fonction de demande d'énergie pour le chauffage a été définie suivant différentes caractéristiques. Les résultats concernent la demande d'électricité, de fioul, de gaz seule ou avec énergies secondaires. En d'autres termes, ont été modélisées :

- la consommation d'énergie principale (électricité, gaz ou fioul) pour le chauffage principal sans autre consommation d'énergie pour le chauffage
- la consommation totale d'énergie pour le chauffage principal et le chauffage secondaire

Dans chaque cas, la consommation par logement et par m<sup>2</sup> a été modélisée.

Concernant les prix de l'énergie finale, trois cas ont été appliqués :

- le prix de l'énergie principale en euros 2006
- le prix moyen de toutes les énergies de chauffage consommées en euros 2006
- le prix décomposé en trois composantes (prix historique maximum, cumul des hausses, cumul des baisses) pour tenir compte de l'asymétrie dans les réactions des ménages aux hausses ou aux baisses du prix de l'énergie de chauffage<sup>2</sup> (cf. annexe p.17)

Les résultats présentés dans l'étude font appels à deux types d'estimations :

1. estimations en pseudo-panel sur la base des groupes de logements, le plus souvent à effet fixe

$$\begin{aligned}
 d\log(\text{consommation chauffage})_t &= \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \log(\text{consommation chauffage})_{t-1} \\
 &+ \alpha_2 \cdot \log(\text{prix kwh énergie})_{t-1} \\
 &+ \alpha_3 \cdot \log(\text{revenu})_{t-1} + \alpha_4 \cdot d\log(\text{prix kwh énergie})_t \\
 &+ \alpha_5 \cdot d\log(\text{revenu})_t + \alpha_6 \cdot \log(\text{ndj})_t
 \end{aligned}$$

t: t-ième période, de 1984 à 2006

i: i-ème unité en coupe instantanée ie, la catégorie de logement déterminée en fonction du type de logement (maison, appartement), de l'année de construction (avant ou après 1975), du statut de l'occupant (propriétaire occupant ou locataire) et de l'énergie principale utilisée pour le chauffage(ex : gaz, fioul, électricité,...). Ces valeurs vont de 1 à 80 pour toutes énergies confondues ; 1 à 12 pour le gaz et le fioul ; 1 à 8 pour l'électricité.

<sup>1</sup> CEREN : Centre d'études et de recherches économiques sur l'énergie. Le CEREN est un GIE (groupement d'intérêt économique) qui regroupe l'ADEME et les distributeurs d'énergie (RTE et RTG). Pour plus de détails concernant la base de données, se référer à l'annexe p.17.

<sup>2</sup> cf. Dermot Gately and Hillard G. Huntington, The asymmetric effects of changes in price and income on energy and oil demand, The energy journal, vol. 23 n°1, 2002, pages 19-55

2. modèles à correction d'erreur (la plupart des séries étant non stationnaires) sur des groupes agrégés de logements selon l'énergie de chauffage

$$\begin{aligned} d\log(\text{consommation chauffage})_t &= \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \log(\text{consommation chauffage})_{t-1} \\ &+ \alpha_2 \cdot \log(\text{prix kwh énergie})_{t-1} \\ &+ \alpha_3 \cdot \log(\text{revenu})_{t-1} + \alpha_4 \cdot d\log(\text{prix kwh énergie})_t \\ &+ \alpha_5 \cdot d\log(\text{revenu})_t + \alpha_6 \cdot \log(\text{ndj})_t \end{aligned}$$

ou,

$$\begin{aligned} d\log(\text{consommation chauffage})_t &= \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \log(\text{consommation chauffage})_{t-1} \\ &+ \alpha_2 \cdot \log(\text{prix kwh énergie})_{t-1} + \alpha_3 \cdot \log(\text{revenu})_{t-1} \\ &+ \alpha_4 \cdot d\log(\text{prix kwh énergie})_t + \alpha_5 \cdot d\log(\text{revenu})_t \\ &+ \alpha_6 \cdot \log(\text{ndj})_{t-1} + \alpha_7 \cdot d\log(\text{ndj})_t \end{aligned}$$

t: de 1984 à 2006

Suivant cette modélisation MCE, les élasticités de court terme (CT) et de long terme (LT) sont obtenues de la façon suivante :

$$\varepsilon_{\text{prix LT}} = -\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right)$$

$$\varepsilon_{\text{prix CT}} = \alpha_4$$

$$\varepsilon_{\text{revenu LT}} = -\left(\frac{\alpha_3}{\alpha_1}\right)$$

$$\varepsilon_{\text{revenu CT}} = \alpha_5$$

Toutes les régressions sont construites avec les variables explicatives et à expliquer en logarithme ce qui permet d'interpréter les coefficients comme des élasticités.



## 2\_ Résultats

Une sélection des principaux résultats est présentée dans les chapitres qui suivent.

### 2.1. Ensemble des énergies

Ci-dessous sont présentés des résultats obtenus avec estimation globale en pseudo-panel et modèle à correction d'erreur (MCE) en considérant le chauffage, toutes énergies confondues.

#### 2.1.1. Modèle de pseudo-panel à effet fixe

Ce sont 80 catégories de logements qui sont prises en compte dans ce modèle.

$$\log(\text{conso ch logt})_{i,t} = -8,36 + 0,76 \cdot \log(\text{ndj})_{i,t} - 0,30 \cdot \log(\text{prec kwh ch})_{i,t} \\ + 0,75 \cdot \log(\text{rev})_{i,t} + 0,76 \cdot \log(\text{surf})_{i,t} - 0,015 \cdot \text{trend}_{i,t}$$

$R^2 = 0,9264$                        $\bar{R}^2 = 0,9228$

Les p-values sont indiquées entre parenthèse sous les coefficients.

conso ch logt :	consommation d'énergie (tous types d'énergies confondus) pour le chauffage principal et secondaire
ndj :	nombre de degrés-jours
prec kwh ch :	prix unitaire en kWh de la consommation d'énergies pour le chauffage en euros constants 2006 <sup>3</sup>
rev :	revenu moyen par an
surf :	surface moyenne en m <sup>2</sup>
trend :	tendance temporelle

#### 2.1.2. Modèle à correction d'erreur

Ce type de modélisation utilise les données moyennes par an, pour tous types de logements. Il y a donc 23 points d'observations.

$$d\log(\text{conso ch logt an})_t = -1,64 + 0,78 \cdot \log(\text{ndj})_t - 1,03 \cdot \log(\text{conso ch logt an})_{t-1} \\ - 0,18 \cdot d\log(\text{prec kwh ch an})_t - 0,26 \cdot \log(\text{prec kwh ch an})_{t-1} \\ + 0,46 \cdot d\log(\text{rev})_t + 0,45 \cdot \log(\text{rev})_{t-1} - 0,012 \cdot \text{trend}_t$$

$R^2 = 0,9526$                        $\bar{R}^2 = 0,9289$

Les p-values sont indiquées entre parenthèse sous les coefficients de court terme<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Ce prix de l'énergie est un prix pondéré par la consommation des différentes sources d'énergie pour le chauffage.

<sup>4</sup> Les p-values des coefficients de long terme n'ont pas de sens dans les MCE.

conso ch logt an :	consommation d'énergie (tous types d'énergies confondus) pour le chauffage principal et secondaire ; moyenne annuelle
ndj :	nombre de degrés-jours
prec kwh ch an :	prix unitaire en kWh de la consommation d'énergies pour le chauffage en euros constants 2006 ; moyenne annuelle
rev :	revenu moyen par an
trend :	tendance temporelle

D'après le test de cointégration<sup>5</sup> présenté ci-dessous, l'équation proposée est valide.

K=3 avec constante et trend : log(ndj), log(prec kwh ch an), log(rev)

t-stat[log(conso ch logt an)<sub>t-1</sub>] = -10,73 < -3,92 avec -3,92, la valeur critique du test.

L'hypothèse nulle de non-cointégration est rejetée.

Suivant cette modélisation MCE, les élasticités à court terme (CT) et long terme (LT) sont les suivantes :

$$\varepsilon_{\text{prix LT}} = -\left(\frac{-0,26}{-1,03}\right) = -0,26$$

$$\varepsilon_{\text{prix CT}} = -0,18$$

$$\varepsilon_{\text{revenu LT}} = -\left(\frac{0,45}{-1,03}\right) = 0,44$$

$$\varepsilon_{\text{revenu CT}} = 0,46$$

Les résultats ci-dessus ne sont que deux exemples parmi l'ensemble des modèles testés.

### 2.1.3. Analyse des résultats

Cette analyse est valable pour l'ensemble des modèles testés.

- l'influence du climat est nette: toutes énergies confondues, les coefficients NDJ (nombre de degrés-jours) sont positifs et varient de 0,60 à 0,80. La consommation d'énergie est sensible aux variations de température: une hausse de 10% du nombre de degrés-jours (période de chauffage) provoque un accroissement de 6% à 8% de la consommation d'énergie
- les élasticités au prix de l'énergie sont de signe attendu, négatives. Elles sont comprises entre -0,20 et -0,30 avec les modèles en données de panel et autour de -0,26 pour les élasticités prix de long terme obtenues avec les MCE (ie, une augmentation du prix de l'énergie de 10% diminue la consommation de chauffage de 2,6%)
- il arrive que les élasticités revenu avec les données de panel ne soient pas de signe attendu puisqu'elles peuvent être significativement négatives. En revanche, une élasticité revenu positive avec ce type de modèle est estimée aux alentours de 0,75 après introduction d'un trend

<sup>5</sup> Cf ; « Distributions of error correction tests for cointégration », N.R. Ericson, J.G MacKinnon ; janvier 2000.

- les élasticités revenu à court terme obtenues avec les MCE ne sont pas significatives. Quant aux élasticités de long terme, elles sont comprises entre 0,44 et 0,63
- le trend d'efficacité énergétique est estimé à environ -1,2 / -1,5%

## 2.2. Chauffage électrique

Les résultats qui suivent sont obtenus en considérant les consommations totales d'énergie de chauffage ou les consommations d'électricité de chauffage pour les ménages qui ont l'électricité comme énergie de leur chauffage principal.

### 2.2.1. Résultats obtenus avec les modèles de pseudo-panel

Les tableaux 1 et 2 ci-dessous récapitulent les élasticités retenues avec les modèles de pseudo-panel suivant le type de logement considéré.

Les résultats sont sensiblement différents suivant ce que l'on considère : consommation d'électricité ou consommation totale d'énergie.

Tableau 1 : Élasticités obtenues avec les modèles de pseudo-panel en considérant les consommations totales d'énergie pour les ménages ayant l'électricité comme énergie de chauffage principal

		Prix électricité	Prix moyen énergie de chauffage	Revenu	Surface par logement	NDJ	trend
Tous logements	ensemble	[-0,7 ; -0,5]	[-0,3 ; -0,25]	[0,85 ; 1,2]	[1,25 ; 1,4]	[0,8 ; 0,9]	[-0,01 ; -0,02]
	avant 1975	-0,9	[-0,35 ; -0,3]	1,8	[1,20 ; 1,45]	[0,8 ; 0,9]	-0,02
	après 1975	0,3	-0,2		1,3	[0,8 ; 0,85]	
Appartements	ensemble	1,0	-1,1	1,15	1,4	[0,9 ; 0,95]	[-0,03 ; -0,02]
	avant 1975	[-1,15 ; -1,0]	-1,0	[1,3 ; 1,7]		[0,7 ; 0,95]	-0,04
	après 1975	-0,55	-1,1		1,4	0,95	-0,01
Maisons	ensemble						
	avant 1975						
	après 1975	-0,7	-0,1	-1,45	[1,5 ; 1,7]	[0,8 ; 0,85]	

Source : CEREN – Calculs CGDD

Tableau 2 : Élasticités obtenues avec les modèles de pseudo-panel en considérant les consommations d'électricité de chauffage pour les ménages ayant l'électricité comme énergie de chauffage principal

		Prix électricité	Prix moyen énergie de chauffage	Revenu	Surface par logement	NDJ	trend
Tous logements	ensemble	[-0,7 ; -0,4]			[1,15 ; 1,2]	[0,7 ; 0,75]	-0,02
	avant 1975	-0,8*				[0,5 ; 0,6]	[-0,04 ; -0,03]
	après 1975	-1,0			1,2	0,9	-0,02
Appartements	ensemble	[-1,2 ; -1,1]		1	1,4	0,95	-0,03
	avant 1975	[-1,5 ; -1,0]				[0,75 ; 0,8]	-0,04
	après 1975	0,7		1	1,4	0,95	-0,02
Maisons	ensemble	-0,45*			2	0,7	-0,02
	avant 1975						
	après 1975	-0,75			2	0,95	-0,02

\* Résultat obtenu avec la variable retardé d'une année

Source : CEREN – Calculs CGDD

Tous types de logements confondus, les élasticités au prix de l'électricité s'échelonnent entre -0,7 et -0,4 en considérant uniquement la consommation d'électricité pour le chauffage principal. Elles sont plus élevées pour les appartements construits avant 1975 avec

une élasticité pouvant atteindre une valeur de -1,5 (une augmentation du prix de l'électricité de 10% diminue la consommation de chauffage de 15%).

Les élasticités à la surface sont toujours supérieures à 1 pour la consommation d'électricité ou d'énergie par logement. La fourchette d'élasticité surface est légèrement plus large si l'on considère les consommations d'électricité : [1,15 ; 2,0]. Elles sont dans une fourchette de [1,2 ; 1,7] avec les consommations d'énergie. Cela signifie que la consommation d'énergie par m<sup>2</sup> augmente avec une élasticité positive entre 0,15 et 1. Les élasticités surface les plus élevées sont enregistrées pour les maisons.

Dans tous les cas, l'influence du climat est relativement élevée, comprise entre 0,5 et 0,95.

Le progrès technique mesuré via le trend temporel se situe entre -4 et -1% par an. Il est particulièrement élevé pour les appartements construits avant 1975 : -4% que l'on considère les consommations totales d'énergie ou celles d'électricité.

## 2.2.2. Résultats obtenus avec les modèles à correction d'erreur (MCE)

Exemple d'un MCE pour la consommation principale et secondaire d'électricité au prix de l'électricité pour le chauffage des logements utilisant l'électricité comme énergie principale:

$$\begin{aligned}
 d\log(\text{conso chps e logt an})_t &= -3,35 - 0,05 \cdot \log(\text{ndj})_t - 0,014 \cdot \text{trend}_t \\
 &\quad (0,160) \quad (0,901) \\
 &\quad - 1,12 \cdot \log(\text{conso chps e logt an})_{t-1} \\
 &\quad - 0,24 \cdot d\log(\text{prec kwh chps e an})_t \\
 &\quad (0,111) \\
 &\quad - 0,53 \cdot \log(\text{prec kwh chps e an})_{t-1} + 0,83 \cdot d\log(\text{rev})_t \\
 &\quad (0,000) \\
 &\quad + 0,97 \cdot \log(\text{rev})_{t-1}
 \end{aligned}$$

Les p-values sont indiquées entre parenthèse sous les coefficients de court terme.

conso chps e logt an :	consommation d'électricité par logement pour le chauffage principal et secondaire; moyenne annuelle
ndj :	nombre de degrés-jours
trend :	tendance temporelle
prec kwh chps e an :	prix unitaire en kWh de la consommation d'électricité pour le chauffage principal et secondaire en euros constants 2006; moyenne annuelle
rev :	revenu moyen par an

D'après le test de cointégration présenté ci-dessous, l'équation proposée est valide.

K=3, avec constante et trend :  $\log(\text{ndj})$ ,  $\log(\text{prec kwh chps e an})$ ,  $\log(\text{rev})$

t-stat[ $\log(\text{conso chps e logt an})_{t-1}$ ] = -4.61 < -3,92 avec -3.92, la valeur critique du test.

→ l'hypothèse nulle de non-cointégration est rejetée.

Suivant cette modélisation MCE, les élasticités de court terme (CT) et long terme (LT) sont les suivantes :

$$\varepsilon_{\text{prix LT}} = -\left(\frac{-0,53}{-1,12}\right) = -0,47$$

$$\varepsilon_{\text{prix CT}} = -0,24$$

$$\varepsilon_{\text{revenu LT}} = -\left(\frac{0,97}{-1,12}\right) = 0,87$$

$$\varepsilon_{\text{revenu CT}} = 0,83$$

L'analyse de l'ensemble des modèles testés permet d'observer que:

- la constante du modèle est souvent non significative
- les élasticités de prix à court terme sont non significatives
- les élasticités prix de long terme sont comprises entre -0,5 et -0,2
- les élasticités de revenu à long terme sont négatives en l'absence d'un trend (ie, une augmentation de revenu conduit à une diminution de la consommation d'énergie pour le chauffage). L'introduction d'un trend permet d'obtenir des élasticités positives entre 0,6 et 0,9
- la variable surface ne rentre pas dans ce type de modèle

### 2.3. Chauffage au fioul domestique

Ce sont les consommations totales d'énergie ou de fioul pour les ménages qui ont le fioul comme énergie de leur chauffage principal qui sont considérées dans ce chapitre.

#### 2.3.1. Résultats obtenus avec les modèles de pseudo-panel

En considérant les ménages qui ont un chauffage principal au fioul, il est difficile de produire des estimations correspondant aux attentes. Les équations de pseudo-panel ci-dessous l'attestent:

ex. 1 : Régression de pseudo-panel à effet fixe: consommation d'énergie pour le chauffage principal des logements utilisant le fioul comme énergie principale de chauffage

$$\begin{aligned} \log(\text{conso chp f logt})_{i,t} = & -12,45 + 0,60 \cdot \log(\text{ndj})_{i,t} - 1,21 \cdot \log(\text{rev})_{i,t} \\ & \quad (0,000) \quad (0,000) \quad (0,000) \\ & - 0,06 \cdot \log(\text{prec kwh ch f})_{i,t} + 1,16 \cdot \log(\text{surf})_{i,t} \\ & \quad (0,088) \quad (0,000) \end{aligned}$$

ex. 2 : Régression de pseudo-panel à effet fixe: consommation d'énergie pour le chauffage principal des logements utilisant le fioul comme énergie principale de chauffage

$$\begin{aligned} \log(\text{conso chp f logt})_{i,t} = & -3,43 - 0,011 \cdot \text{trend}_{i,t} + 0,61 \cdot \log(\text{ndj})_{i,t} \\ & \quad (0,0411) \quad (0,000) \quad (0,000) \\ & + 0,28 \cdot \log(\text{rev})_{i,t} - 0,06 \cdot \log(\text{prec kwh ch f})_{i,t} \\ & \quad (0,411) \quad (0,064) \\ & + 1,18 \cdot \log(\text{surf})_{i,t} \\ & \quad (0,000) \end{aligned}$$

Les p-values sont indiquées entre parenthèse sous les coefficients.

conso chp f logt :	consommation de fioul par logement pour le chauffage principal
ndj :	nombre de degrés-jours
trend :	tendance temporelle
prec kwh ch f :	prix unitaire en kWh de la consommation de fioul pour le chauffage en euros constants 2006
rev :	revenu moyen par an
surf:	surface moyenne par logement en m <sup>2</sup>

Les modèles de pseudo-panel mettent en évidence les difficultés suivantes :

- le plus souvent, la variable de revenu est significative mais de signe négatif. En introduisant un trend, l'élasticité revenu est bien positive mais non significative.
- l'introduction d'un trend conduit à ce que les prix deviennent faiblement significatifs

Malgré cela, quelques enseignements peuvent être tirés des modèles de pseudo-panel.

Dans l'ensemble, les élasticités au prix du fioul sont faibles, autour de -0,1. Elles sont plus élevées en valeur absolue pour les appartements construits avant 1975: -0,2 en considérant la consommation totale d'énergie.

Les élasticités de la surface par logement sont comprises entre 1 et 1,2.

Quant à l'influence du climat, celui-ci reste élevé avec des coefficients pouvant atteindre 1,5 pour les appartements construits après 1975.

### 2.3.2. Résultats obtenus avec les MCE

Exemple d'un MCE pour la consommation principale de fioul au prix du fioul :

$$\begin{aligned}
 d\log(\text{conso chp f m an})_t &= -1,79 + 0,83 \cdot \log(\text{ndj})_t - 0,008 \cdot \text{trend}_t \\
 &\quad (0,728) \quad (0,000) \quad (0,013) \\
 &\quad - 0,99 \cdot \log(\text{conso chp f m an})_{t-1} \\
 &\quad - 0,095 \cdot d\log(\text{prec kwh chps f an})_t \\
 &\quad (0,083) \\
 &\quad + 1,20 \cdot d\log(\text{rev})_t + 0,01 \cdot \log(\text{rev})_{t-1} \\
 &\quad (0,145)
 \end{aligned}$$

Les p-values sont indiquées entre parenthèse sous les coefficients de court terme.

<i>conso chp f m an :</i>	<i>consommation de fioul par m<sup>2</sup> pour le chauffage principal; moyenne annuelle</i>
<i>ndj :</i>	<i>nombre de degrés-jours</i>
<i>trend :</i>	<i>tendance temporelle</i>
<i>prec kwh chps f an :</i>	<i>prix unitaire en kWh de la consommation de fioul pour le chauffage principal et secondaire en euros constants 2006</i>
<i>rev :</i>	<i>revenu moyen par an</i>

D'après le test de cointégration présenté ci-dessous, l'équation proposée est valide.

K=3, avec constante et trend : log(ndj), log(prec kwh cps f ch an), log(rev)

t-stat[log(conso chp logt an)<sub>t-1</sub>] = -6,59 < -3,92 avec -3,92, la valeur critique du test.

→ l'hypothèse nulle de non-cointégration est rejetée.

Suivant cette modélisation MCE, les élasticités de court terme (CT) et long terme (LT) sont les suivantes :

$$\varepsilon_{\text{prix LT}} = - \left( \frac{-0,14}{-0,99} \right) = -0,14$$

$$\varepsilon_{\text{prix CT}} = -0,095$$

$$\varepsilon_{\text{revenu LT}} = - \left( \frac{0,01}{-0,99} \right) = 0,01$$

$$\varepsilon_{\text{revenu CT}} = 1,2$$

Dans l'équation ci-dessus, les élasticités court terme de prix et de revenu ne sont pas significatives.

## 2.4. Chauffage au gaz

Il est également difficile d'obtenir des relations significatives en considérant les ménages qui ont le gaz comme énergie pour le chauffage principal. L'introduction de la consommation retardée ou du prix retardé en tant que variable explicative permet néanmoins de pallier cette difficulté.

### 2.4.1. Résultats obtenus avec les modèles de pseudo-panel

ex. 1: Régression de pseudo-panel à effet fixe: consommation d'énergie pour le chauffage principal des logements utilisant le gaz comme énergie principale de chauffage

$$\begin{aligned} \log(\text{conso chp g logt})_{i,t} &= -3,11 + 0,62 \cdot \log(\text{ndj})_{i,t} - 0,12 \cdot \log(\text{prec kwh ch g})_{i,t} \\ &\quad \quad \quad (0,000) \quad (0,000) \quad \quad \quad (0,000) \\ &\quad \quad \quad + 0,78 \cdot \log(\text{conso chp g logt})_{i,t-1} \\ &\quad \quad \quad (0,000) \end{aligned}$$

On obtient les élasticités prix de court et de long terme suivantes :

$$\varepsilon_{\text{prix LT}} = \left( \frac{-0,12}{0,22} \right) = -0,55$$

$$\varepsilon_{\text{prix CT}} = -0,12$$

ex. 2: Régression de pseudo-panel à effet fixe: consommation d'énergie pour le chauffage principal des logements utilisant le gaz comme énergie principale de chauffage

$$\begin{aligned} \log(\text{conso chp g logt})_{i,t} &= 3,70 - 0,01 \cdot \text{trend}_{i,t} + 0,71 \cdot \log(\text{ndj})_{i,t} \\ &\quad \quad \quad (0,000) \quad (0,000) \quad \quad \quad (0,000) \\ &\quad \quad \quad - 0,14 \cdot \log(\text{prec kwh ch g})_{i,t-2} \\ &\quad \quad \quad (0,000) \end{aligned}$$

Les p-values sont indiquées entre parenthèse sous les coefficients.

conso chp g logt : consommation de gaz par logement pour le chauffage principal  
 ndj : nombre de degrés-jours  
 trend : tendance temporelle  
 prec kwh ch g : prix unitaire en kWh de la consommation de gaz pour le chauffage en euros constants 2006  
 rev : revenu moyen par an

Les résultats obtenus avec les modèles de pseudo-panel à effet fixe amènent aux conclusions suivantes :

- il est nécessaire d'introduire une variable retardée pour obtenir des résultats cohérents (par exemple, coefficients de signe correspondant aux attentes)
- l'élasticité au prix du gaz est comprise entre -0,15 et -0,10
- les coefficients de la variable consommation retardée d'une année ont une valeur proche de 0,80
- l'influence du climat est comprise entre 0,62 et 0,71
- les variables trend et revenu ne sont pas significatives dans ce type de modèle

#### 2.4.2. Résultats obtenus avec les MCE

Exemple d'un MCE pour la consommation principale de gaz au prix du gaz :

$$\begin{aligned}
 d\log(\text{conso chp g logt an})_t &= -15,28 + 0,62 \cdot \log(\text{ndj})_t \\
 &\quad (0,004) \quad (0,000) \\
 &\quad - 1,08 \cdot \log(\text{conso chp g logt an})_{t-1} \\
 &\quad - 0,03 \cdot d\log(\text{prec kwh chp g an})_t \\
 &\quad (0,744) \\
 &\quad - 0,06 \cdot \log(\text{prec kwh chp g an})_{t-1} \\
 &\quad - 1,13 \cdot d\log(\text{rev})_t - 0,93 \cdot \log(\text{rev})_{t-1} \\
 &\quad (0,129)
 \end{aligned}$$

Les p-values sont indiquées entre parenthèse sous les coefficients de court terme.

conso chp g logt an : consommation de gaz par logement pour le chauffage principal; moyenne annuelle  
 ndj : nombre de degrés-jours  
 prec kwh chp g an : prix unitaire en kWh de la consommation de fioul pour le chauffage principal en euros constants 2006  
 rev : revenu moyen par an

D'après le test de cointégration présenté ci-dessous, l'équation proposée est valide.

K=3, avec constante:  $\log(\text{ndj})$ ,  $\log(\text{prec kwh chp g an})$ ,  $\log(\text{rev})$

t-stat[ $\log(\text{conso chp g logt an})_{t-1}$ ] = -6,44 < -3,51 avec -3,51, la valeur critique du test.  
 → l'hypothèse nulle de non-cointégration est rejetée.

Suivant cette modélisation MCE, les élasticités à court terme (CT) et long terme (LT) sont les suivantes :



$$\varepsilon_{\text{prix LT}} = -\left(\frac{-0,06}{-1,08}\right) = -0,05$$

$$\varepsilon_{\text{prix CT}} = -0,03$$

$$\varepsilon_{\text{revenu LT}} = -\left(\frac{-0,93}{-1,08}\right) = -0,86$$

$$\varepsilon_{\text{revenu CT}} = -1,13$$

Les résultats obtenus avec les MCE en considérant les ménages ayant comme chauffage principal un chauffage à gaz sont fragiles.

Les élasticités de court terme ne sont pas significatives, ni pour le prix, ni pour le revenu.

Les élasticités revenu de long terme et de court terme ne sont pas de signe attendu puisqu'elles sont négatives, et l'introduction d'un trend ou de la variable retardée ne permet pas de résoudre ce problème.

## 2.5. Décomposition du prix de l'énergie<sup>6</sup>

La méthode de décomposition du prix de l'énergie utilisée pour tenir compte de l'asymétrie dans les réactions des ménages aux hausses ou aux baisses du prix de l'énergie de chauffage ne fonctionne ni avec le fioul ni avec le gaz en tant qu'énergie de chauffage principal car les coefficients obtenus ne sont pas significatifs.

La variable de prix de l'électricité étant continûment décroissante sur la période d'analyse, les résultats avec décomposition du prix de l'électricité n'ont pas d'intérêt.

En revanche, en considérant toutes les énergies confondues, cette approche permet de confirmer l'existence de réactions asymétriques.

Pour la consommation d'énergie par m<sup>2</sup>, l'élasticité au prix maximum historique de l'énergie est comprise entre -0,85 et -1,31 avec le modèle de données de panel. Elle s'élève à -0,23 pour l'élasticité au cumul des augmentations de prix de l'énergie et à -0,40 pour l'élasticité au cumul des baisses de prix.

L'exemple ci-dessous illustrent ces résultats :

ex.: Régression de pseudo-panel à effet fixe: consommation d'énergie pour le chauffage principal et secondaire de l'ensemble des logements

$$\begin{aligned} \log(\text{conso ch m})_{i,t} = & 4,90 + 0,68 \cdot \log(\text{ndj})_t - 0,86 \cdot \log(\text{prec max})_{i,t} \\ & (0,087) \quad (0,000) \quad (0,000) \\ & - 0,23 \cdot \log(\text{prec rec})_{i,t} - 0,40 \cdot \log(\text{prec cut})_{i,t} \\ & (0,000) \quad (0,000) \\ & - 0,48 \cdot \log(\text{rev})_{i,t} - 0,007 \cdot \text{trend}_{i,t} \\ & (0,038) \quad (0,001) \end{aligned}$$

Les p-values sont indiquées entre parenthèse sous les coefficients.

conso ch m :	consommation d'énergie par m <sup>2</sup>
ndj :	nombre de degrés-jours
prec max :	prix maximum historique en euros constants 2006
prec rec :	cumul des augmentations de prix
prec cut :	cumul des baisses de prix
rev :	revenu moyen par an
trend :	tendance temporelle

<sup>6</sup> Cf détails en annexe p.17



## ANNEXES

### 1\_ Informations sur la base de données CEREN :

Les données à disposition sont issues des enquêtes annuelles sur la consommation d'énergie dans les logements réalisées par le CEREN entre 1984 et 2006.

Le fichier comprend en particulier :

- 184 lignes-observations pour les catégories de logements utilisant l'électricité ou le bois comme énergie principale: 23 années d'observation x 8 catégories de logements ou 92 lignes pour les maisons et 92 pour les appartements
- 276 lignes-observations pour les catégories de logements utilisant le fioul ou le gaz comme énergie principale: 23 années d'observation x 12 catégories de logements ou 92 lignes pour les maisons et 184 pour les appartements dont 92 avec chauffage central individuel et 92 avec chauffage central collectif
- 368 lignes-observations pour les catégories de logements ayant une consommation unitaire d'électricité pour le chauffage principal (central: 184 lignes ou avec un appareil indépendant de chauffage : Aic: 184 lignes)
- 460 lignes-observations pour les catégories de logements ayant une consommation unitaire (c.u.) d'énergie principale de chauffage au fioul ou au gaz. (central: 276 lignes ou avec un appareil indépendant de chauffage : Aic: 184 lignes)
- les logements chauffés principalement avec un ou plusieurs appareils indépendants de chauffage (Aic: 184 lignes) ont des consommations principales (cu\_ch\_xx = consommation unitaire pour le chauffage principal avec telle énergie) d'électricité, de gaz, fioul, charbon, propane et bois

### 2\_ Calcul du nombre de degrés-jours NDJ :

Pour calculer les nombres de degrés-jours (NDJ), il faut d'abord déterminer la température moyenne de la journée (moyenne des températures minimales et maximales). On soustrait ensuite de la température de base (18°C par exemple) la température moyenne de la journée pour obtenir la valeur de DJ quotidienne. Toutes les valeurs de DJ quotidiennes positives sont additionnées pour obtenir le nombre annuel de DJ. La somme des valeurs négatives correspond à la période de climatisation et la somme des valeurs positives, à celle de chauffe. Pour le bilan énergétique de la France, la température seuil prise en compte pour le calcul des NDJ était de 18°C jusqu'en 1982, de 16°C à partir de 1983 dans l'ancienne méthode; dans la nouvelle méthode, cette température seuil uniforme depuis 1970 et pour toutes les énergies est de 17°C<sup>7</sup>.

### 3\_ Programme de décomposition du prix<sup>8</sup> :

Série du prix maximum historique\_log(Pmax<sub>t</sub>):

Prix maximum historique une année donnée t = prix maximum historique sur la période d'observations

log(Pmax<sub>t</sub>) = série du prix maximum historique en logarithme

Série du cumul des augmentations de prix\_log(Prec<sub>t</sub>):

Cumul des différences de prix positives entre deux années

log(Prec<sub>t</sub>) = cumul des augmentations du prix en logarithme entre deux années

Série du cumul des diminutions de prix\_log(Pcut<sub>t</sub>) :

Cumul des différences de prix négatives entre deux années consécutives.

<sup>7</sup> cf. DGEMP, Bilan énergétique de la France 2005.

<sup>8</sup> Source: Martin Sommer, *Will the oil market continue to be tight*, World Economic Outlook, April 01 2005, chapter IV, pp. 157-183

$\log(P_{cut,t})$  = cumul des diminutions du prix en logarithme entre deux années

Le prix pour une année  $t$  donnée  $\log(P_t)$  résulte d'une somme algébrique de trois données: le log du prix maximum historique de l'année, le cumul des augmentations de prix en log et le cumul des diminutions de prix en log.

Le prix de l'énergie l'année  $t$  est égal à  $\log(P_t) = \log(P_{max,t}) + \log(P_{cut,t}) + \log(P_{rec,t})$

Le signe attendu de l'élasticité aux 3 prix est négatif.

**Commissariat général au développement durable**

Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable

Tour Voltaire

92055 La Défense cedex

Tél : 01.40.81.21.22

Retrouver cette publication sur le site :

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/developpement-durable/>

## Résumé

*Le bâtiment est le secteur le plus consommateur d'énergie en France (plus de 40 % de l'énergie finale totale). L'énergie est consommée pour 2/3 dans les logements et pour 1/3 dans le secteur tertiaire. A lui seul, le chauffage représente 70 % de la consommation d'énergie dans les logements. Dans le contexte du Grenelle de l'environnement et de recherche de sobriété énergétique (l'un des objectifs du Grenelle est de baisser de 38 % de la consommation d'énergie dans les bâtiments existants à horizon 2020), il est important de comprendre et d'évaluer les déterminants du comportement de consommation de chauffage des ménages français dans leur habitation.*

*Cette étude a pour objectif de définir une fonction de demande d'énergie finale pour le chauffage des ménages en France. Elle s'appuie sur les données des enquêtes annuelles sur la consommation d'énergie dans les logements réalisées par le CEREN entre 1984 et 2006.*

*Basée sur une approche économétrique, l'étude met en évidence les principales variables qui expliquent la consommation de chauffage des ménages français (climat, énergie de chauffage et son prix, surface, etc.) et quantifie leurs influences relatives. Les énergies de chauffage considérées ici sont le gaz, l'électricité, le fioul ou toutes les énergies de chauffage confondues.*



Dépôt légal : Mai 2010  
ISSN : 2102-4723