

# LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE EN FRANCE DANS LE SECTEUR RÉSIDENTIEL PRIVÉ

**Dorothee Charlier**

*Université de Savoie*

---

Dans cet article, nous voulons analyser les déterminants des dépenses en rénovation des ménages en faisant la distinction entre les travaux de réparation et les travaux en économie d'énergie (travaux d'isolation du bâti et travaux de remplacement des équipements). Nous souhaitons aussi étudier l'effet des gains énergétiques espérés à la suite d'une rénovation en économie d'énergie sur cette décision d'entreprendre des travaux de rénovation. Pour réaliser cette étude, nous utilisons l'Enquête Logement 2006 de l'INSEE. Toutefois, afin de disposer des gains énergétiques espérés, il est nécessaire de créer de nouvelles variables sur la consommation énergétique des logements avant et après travaux en utilisant un logiciel technique de simulation. Les dépenses de rénovation sont analysées en tenant compte de deux caractéristiques importantes : les dépenses sont censurées en zéro et interdépendantes entre elles. La censure et l'interdépendance sont analysées en utilisant un Tobit multivarié. Comme principaux résultats, nous obtenons que les rénovations en économie d'énergie et les rénovations en réparation ne sont pas expliquées par les mêmes déterminants. Finalement, les gains énergétiques espérés sont des variables clés de la décision d'investir.

*Mots-clés* : Tobit multivarié, Gains énergétiques espérés, Secteur résidentiel, Rénovation énergétique.

---

Aujourd'hui, en France, la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre sont au cœur des préoccupations. La législation française, lors du Grenelle de l'environnement, a fixé l'objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 75 % d'ici à 2050 et d'atteindre une consommation d'énergie de 50 kWh<sub>ef</sub>/m<sup>2</sup>/an. Le secteur résidentiel (avec le chauffage et l'eau chaude sanitaire, l'éclairage et les appareils électroménagers) consomme plus que n'importe quel autre secteur. Il représente aussi un potentiel impor-

tant d'économie d'énergie. Aujourd'hui, les nouvelles constructions avec les réglementations thermiques ne nous permettront pas d'atteindre les objectifs. Une solution semble alors envisageable : agir sur le remplacement des équipements et sur l'isolation du bâti grâce aux rénovations énergétiques. Il est possible de distinguer deux types de rénovations : les travaux de rénovation en économie d'énergie et les travaux de rénovation en réparation. Le marché pour les travaux en économie d'énergie représente un tiers du total du marché de la rénovation dans le secteur résidentiel privé (ADEME, 2009). Les rénovations les plus nombreuses sont les rénovations d'ouverture (notamment la mise en place de doubles vitrages) et le remplacement des équipements de chauffage. Selon l'Observatoire Permanent de l'amélioration ENergétique du Logement (OPEN 2007), en 2006, en France, ce sont 2,5 millions de logements qui ont été concernés pour un montant d'environ 13 milliards d'euros. Toujours selon l'OPEN, une rénovation est considérée comme satisfaisante énergétiquement (c'est-à-dire qu'elle améliore considérablement la qualité énergétique du logement) lorsque son montant moyen est approximativement de 20 000 euros.

## 1. Revue de littérature

Aujourd'hui, pour inciter les ménages à rénover, il existe différentes politiques publiques à l'échelle nationale comme la TVA à 5,5 %, le crédit d'impôt développement durable, le prêt à taux zéro ou des subventions de l'ANAH, .... Toutefois, il est possible de bénéficier de ces mesures uniquement si le ménage fait appel à un professionnel pour réaliser les travaux. En France, l'autoproduction est estimée à 60 % et il y a environ 1,5 million de ménages qui sont inéligibles aux aides publiques (OPEN, 2006). De plus, les ménages n'investissent pas de manière significative dans les mesures en économie d'énergie et ce, même si cela est profitable : c'est le paradoxe énergétique. Le paradoxe énergétique a été beaucoup étudié dans la littérature (Brown, 2001 ; Jaffe et Stavins, 1994 ; Sanstad *et alii.*, 1995 ; van Soest et Bulte, 2001) avec la plupart des auteurs qui soulignent l'importance des imperfections de marché comme explication à ce paradoxe. Dans un tel contexte, une meilleure compréhension des déterminants de la rénovation en économie d'énergie nous permettrait de mieux adapter les politiques publiques dans ce secteur. Effectivement, le succès d'une politique

publique en matière d'économie d'énergie est directement lié à la compréhension du comportement des ménages.

Les travaux relatifs aux facteurs qui déterminent la décision de rénover dans le secteur résidentiel tout en faisant une distinction entre les rénovations en économie d'énergie et en réparation sont relativement peu nombreux. Potepan (1989) a utilisé un modèle Logit pour estimer la probabilité qu'un propriétaire réalise des rénovations dans son logement. En tenant compte des propriétaires qui souhaitent déménager, il montre que l'activité de rénovation est un bien inférieur. La probabilité de rénover est positivement corrélée à l'augmentation des taux d'intérêt et négativement liée au revenu des individus. Toutefois, l'une des limites de son étude est qu'il ne traite pas des propriétaires qui ne désirent pas rénover. Ces résultats soulignent l'importance du statut d'occupation sur la décision de rénover. En effet, le propriétaire veut minimiser ses coûts énergétiques tout en valorisant son patrimoine tandis que le locataire n'a pas d'incitation à investir parce qu'il ne possède pas le logement. Cette situation fait référence au problème incitant-divergent (IEA, 2007). En France, 42 % des résidences principales sont occupées par des locataires : c'est donc 11,6 millions de logements qui sont susceptibles de ne pas être rénovés. Ce problème incitant-divergent a été discuté dans la littérature. En général, l'ensemble des études s'accorde sur le fait que les locataires sont peu enclins à investir (Arnott, Davidson, et Pines (1983) ; Rehdanz, 2007 ; Davis, 2010 ; Meier et Rehdanz, 2010). Diaz-Rainey et Ashton (2009), sur des données transversales britanniques, montrent à l'aide d'un modèle Tobit que 14 % des ménages qui ne rénovent pas motivent leur décision par leur statut d'occupation. Ils soulignent aussi l'importance de la prise en compte des politiques publiques dans la décision de rénovation. En s'intéressant à des mesures en efficacité énergétique (double vitrage, isolation des murs, isolation du toit, ampoule à économie d'énergie...), ils montrent que les instruments politiques en faveur de l'adoption d'équipement économiseur d'énergie (notamment les subventions pour les ménages dont les dépenses d'énergie dépassent 10 % de leur revenu) incitent à la rénovation. Bogdon (1996) analyse la probabilité d'effectuer des travaux soi-même ou de recourir à des contrats en distinguant les montants attribués pour chaque rénovation. Elle distingue 10 catégories de rénovation

(remplacement du toit, cuisine, isolation, ...) et estime des modèles Probit séparément pour chaque type de rénovation. Dans ces modèles, les variables explicatives permettent de décrire le ménage (âge, nombre d'adulte, revenu, ...) mais aussi l'habitat (année de construction, valeur de la maison, ...) et la compétence du ménage en matière de rénovation. Elle obtient que les variables socio-économiques sont des déterminants de la rénovation qui interviennent aussi sur le choix de recourir à un professionnel pour réaliser les travaux. Les ménages à hauts revenus ou les personnes seules ont une probabilité plus élevée de faire appel à une entreprise. Ainsi, une solution pour inciter les rénovations serait de mettre en place des programmes de formation à l'égard des propriétaires à faible revenu. Poortinga *et al.* (2003) en menant une analyse conjointe pour 23 mesures en économie d'énergie obtiennent que les ménages avec un niveau d'éducation faible sont plus susceptibles d'accepter des mesures en efficacité énergétique comparés à ceux avec un niveau d'éducation plus élevé. Plaut et Plaut (2010) analysent la décision de rénovation en essayant de cerner, d'une part, les facteurs qui incitent les ménages à rénover et, d'autre part, le choix d'un type de rénovation. Ils étudient ce problème empiriquement à l'aide d'une base de données américaine. Ils ont trois catégories de variables explicatives : celles relatives au ménage, celles qui décrivent le logement et des variables qui décrivent le voisinage. Ils ont recours à un modèle Logit pour étudier la probabilité de rénover. Ils montrent, en faisant une distinction entre rénover ou déménager, que lorsque les taux d'intérêt du marché sont élevés, les ménages préfèrent rénover. Les ménages qui préfèrent déménager le font souvent au profit d'un logement plus petit et plus ancien. Les auteurs obtiennent aussi que plus la valeur patrimoniale du logement est élevée, plus la probabilité de rénover est importante. De plus, il y a une corrélation forte entre le type de logement et la probabilité de rénover. Cette dernière est plus élevée dans le cas des maisons individuelles. Par contre, les variables de localisation ont un effet très modéré. En conclusion, ils montrent que la décision de rénovation peut être un substitut au déménagement. Malheureusement, dans leur étude, ils ne tiennent pas compte des différentes catégories de rénovation.

Dans ces études, les auteurs ont recours à des modèles de choix discrets. De plus, les études qui tiennent compte des caractéristiques économiques et financières des travaux sont relativement rares.

Cameron (1985) étudie la demande pour des équipements économiseurs d'énergie en tenant compte de l'efficacité énergétique de ces derniers. L'étude est basée sur des données collectées lors d'une enquête nationale sur la consommation énergétique. En utilisant un modèle Logit emboîté sur deux niveaux, elle montre que la demande est sensible aux changements dans le coût de l'investissement, aux prix de l'énergie et au niveau de revenu. Grösche and Vance (2009) analysent les déterminants de la rénovation énergétique en utilisant un modèle Logit emboîté et tentent de mesurer l'ampleur des effets d'aubaine. Les auteurs font la distinction entre 13 catégories différentes de rénovation énergétique (isolation du toit, des murs, des fenêtres, ...). L'avantage de ce modèle est qu'il permet de modéliser une décision où les choix offerts à un individu peuvent être regroupés grâce à leurs ressemblances tout en tenant compte des caractéristiques qui les différencient (cette méthode est aussi utilisée par Kwak, Yoo et Kwak (2010) pour mesurer le consentement à payer des ménages pour des investissements économiseurs d'énergie). Dans ce cas précis, le ménage choisit de rénover ou non et il a ensuite le choix entre différents types de rénovation. En utilisant des données allemandes et en étudiant l'impact des subventions, ils estiment l'effet d'aubaine à environ 50 %. Ils montrent aussi que les coûts de la rénovation et les gains attendus sont des variables déterminantes. Les avantages tirés d'une rénovation comme l'amélioration du confort, de la qualité de l'air ou les économies d'énergie réalisées sont des facteurs clés pour les ménages (Banfi *et al.*, 2008). Les ménages qui ont un coût d'utilisation de l'énergie élevé sont plus enclins à investir (Nair, Gustavsson, et Mahapatra, 2010).

Malheureusement, dans ces études, les auteurs observent seulement la décision d'investir dans des rénovations en économie d'énergie (c'est-à-dire si le ménage investit ou non). Par conséquent, les variables dépendantes sont limitées à une décision qui apporte moins d'informations que des données continues comme les dépenses. Un des premiers articles sur la décision de rénover en utilisant des dépenses a été écrit par Mendelsohn (1977). Dans son étude, en utilisant un modèle Tobit, les propriétaires ont le choix entre rénover ou ne rien faire. Il obtient comme résultat principal que les individus qui ont un revenu plus élevé vont dépenser plus en rénovation si le stock d'habitation est un bien normal. Par

contre, l'auteur ne fait pas de distinction entre les propriétaires qui ont un désir de mobilité et ceux qui souhaitent continuer d'occuper leur logement. Montgomery (1992), quant à elle, étudie les dépenses de rénovation en tenant compte de la mobilité des individus. En utilisant des données américaines, elle met en évidence que les ménages qui souhaitent améliorer considérablement la qualité de leur logement préfèrent déménager. Elle montre aussi que les ménages à revenu élevé et avec un haut niveau d'étude sont plus susceptibles d'améliorer leur logement. Finalement, plus le logement est ancien, plus les dépenses en rénovation sont élevées toute chose égale par ailleurs. Plus récemment, Rehdanz (2007) examine les déterminants qui influencent les dépenses d'énergie. Elle analyse l'impact des facteurs socio-économiques, des caractéristiques du bâti et des technologies utilisées sur la demande de chauffage. Pour cela, elle a recours à des données britanniques de panel de 1991 à 2005. Elle souligne que le statut d'occupation et l'âge ont une incidence sur la demande de chauffage. Les personnes plus âgées préfèrent accroître leur température de confort. Les personnes d'âge moyen ont généralement un taux de mobilité plus faible que les jeunes et une durée d'occupation espérée du logement plus élevée. Ce résultat est renforcé par leur comportement d'épargne. Dans une approche de cycle de vie, les individus qui épargnent le plus sont d'âge moyen (Mendelsohn, 1977). Ils ont donc tendance à dépenser plus en rénovation. Finalement, les personnes d'un âge avancé sont donc moins prédisposées à adopter des systèmes économiseurs d'énergie car (i) il existe une incertitude sur la durée d'occupation du logement (Mahapatra et Gustavsson, 2008) et (ii) elles sont moins informées sur les systèmes en efficacité énergétique (Linden *et al.*, 2006). Nair, Gustavsson et Mahapatra (2010) en utilisant des données de 2008 sur 3 000 propriétaires vivant dans des maisons individuelles montrent que les caractéristiques personnelles telles que le revenu ou l'éducation aussi bien que les facteurs contextuels (comme l'âge ou le confort) influencent les préférences des ménages pour un type de rénovation. Malheureusement, ces études ne tiennent pas compte des gains énergétiques potentiels sur la décision de rénover. En effet, aucun auteur n'a tenté d'expliquer directement les déterminants des dépenses en économie d'énergie en tenant compte des gains énergétiques espérés après une rénovation. De

plus, les études empiriques françaises qui analysent la décision d'investir dans des équipements économiseurs d'énergie sont en nombre très limité.

Ainsi, l'objectif de cette étude est d'estimer les déterminants des dépenses en rénovation. Nous souhaitons étudier l'effet des caractéristiques socio-économiques et des caractéristiques du bâti sur la décision de rénover dans un contexte français. Nous voulons aussi analyser, plus particulièrement, l'effet des gains énergétiques espérés sur le montant des dépenses en rénovation en matière d'économie d'énergie. Nous voulons donc répondre aux questions suivantes : quels sont les déterminants des dépenses en rénovation (en faisant une distinction entre les travaux de réparation et les travaux en économie d'énergie) ? Ces déterminants sont-ils différents selon le type de travaux ?

Pour répondre à ces questions, nous utilisons l'Enquête Logement 2006. Il est toutefois nécessaire d'enrichir cette enquête avec des données sur la consommation énergétique avant et après travaux. Pour cela, nous divisons le parc de logements en plusieurs catégories en fonction des caractéristiques du bâti (isolation du toit période de construction, zone climatique, ...) et du combustible principal utilisé pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Puis, nous estimons les consommations énergétiques de chaque catégorie (environ 2 100 catégories de logements au total) avant et après travaux. Nous considérons 8 catégories de rénovations. De plus, l'analyse des données est complexe pour deux raisons. Premièrement, environ 88 % des ménages n'ont pas entrepris de travaux en 2006. Deuxièmement, les dépenses entre les différentes catégories de travaux peuvent être interdépendantes. La censure et l'interdépendance s'analysent à travers un modèle Tobit multivarié (Amemiya, 1974 et Maddala, 1983).

Cette étude a deux contributions majeures. Premièrement, en France, les données sur la consommation énergétique ne sont pas disponibles. Ainsi l'estimation des consommations énergétiques avant et après travaux permet de pallier cette difficulté. Deuxièmement, nous tenons compte des gains énergétiques espérés dans l'analyse de la décision de rénovation en économie d'énergie. Nous obtenons comme résultats principaux que les dépenses de rénovation en réparation et en économie d'énergie ne sont pas expliquées par les mêmes déterminants. Si les travaux en économie d'énergie

sont réalisés dans des logements anciens situés dans des zones climatiques froides, les travaux en réparation sont entrepris dans des logements récents. Le fait d'être propriétaire a un impact positif et significatif sur les dépenses en rénovation. Par ailleurs, plus les gains énergétiques espérés sont élevés, plus les montants dépensés par les ménages pour les rénovations en économie d'énergie sont importants.

Le reste de l'article est organisé de la manière suivante. Dans une deuxième section, nous présentons les données et les variables. La troisième section présente le modèle et les résultats. Finalement, la quatrième section conclue.

## 2. Données et variables

Dans cette étude, nous utilisons l'Enquête Logement 2006 de l'INSEE réalisée auprès de 42 965 ménages. Cette enquête fournit des informations sur le parc de logement (confort, taille, statut d'occupation, dépenses de logements, zone géographique, ...), sur le système de chauffage (individuel ou collectif, type de combustible), sur les ménages (âge du répondant, niveau de diplôme) et sur les travaux réalisés l'année précédant l'enquête. Dans cette étude, nous souhaitons comprendre les déterminants des dépenses en rénovation. Nous faisons une distinction entre les travaux de rénovation en économie d'énergie (REE) et les travaux de rénovation en réparation (RR). Nous considérons 8 catégories de rénovation en fonction de la classification de l'observatoire OPEN. Nous distinguons les travaux en isolation : double vitrage, isolation des murs, isolation du toit, isolation du sol et les travaux de remplacement des équipements : introduction d'une Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC), introduction d'un insert, remplacement des équipements d'eau chaude sanitaire et remplacement des équipements de chauffage. Les différentes catégories de rénovation sont résumées dans le tableau 1. Toutefois, dans cette enquête, nous ne disposons pas d'information sur la consommation énergétique des ménages avant et après travaux. Nous avons donc créé de nouvelles variables.

Afin d'enrichir la base de données avec des informations sur la consommation énergétique, des estimations sont réalisées sur le logiciel de simulation PROMODUL. Ce logiciel utilise la méthode



Tableau 1. Les différentes catégories de rénovation

	Description
<b>Rénovation en économie d'énergie (REE)</b>	Ces travaux améliorent la qualité énergétique des logements
Rénovation de l'isolation (RI)	Double vitrage, isolation des murs, isolation du toit, isolation du sol
Rénovation de remplacement des équipements (RRE)	Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC), introduction d'un insert, remplacement des équipements d'eau chaude sanitaire et remplacement des équipements de chauffage
<b>Rénovation de réparation (RR)</b>	Travaux d'expansion, d'embellissement, de maintenance et de réparation

3CL<sup>1</sup> et permet d'enrichir la base de données avec de nouvelles informations. Afin de simuler avec le plus d'exactitude possible la consommation énergétique des logements, le parc de logements est divisé en fonction de ses caractéristiques. Nous faisons une distinction entre le type de logement (individuel ou collectif), les zones climatiques (4 zones climatiques, la zone 1 étant la plus froide), les périodes de construction (5 périodes), le type de vitrage (double vitrage ou non), le type d'isolation du toit (bon, intermédiaire, mauvais), le système de ventilation (VMC ou non), le combustible principal utilisé pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire (électricité, gaz, fuel). Les catégories sont résumées dans le tableau suivant (tableau 2). Au final, nous disposons de 2 160 catégories de logements. Pour chaque catégorie de logements, une simulation est réalisée avant travaux et après chacune des 8 rénovations énergétiques. Nous sommes en mesure de connaître la consommation énergétique avant travaux en kilowatt/heure (kWh) par mètre carré et par an d'énergie primaire et finale ainsi que la consommation énergétique après chaque type de rénovation en kilowatt/heure (kWh) par mètre carré et par an d'énergie primaire et finale. Nous calculons les gains énergétiques pour chaque type de rénovation en fonction des caractéristiques du logement.

Nous fusionnons les données obtenues avec celles de l'Enquête Logement. Cette étape est délicate et conduit à éliminer une partie importante de l'échantillon puisque de nombreux ménages n'ont

1. La méthode de calcul 3CL appliquée pour la réalisation des DPE (Diagnostics de Performances Énergétiques) est définie par l'arrêté du 15 septembre 2006.

pas renseigné l'enquête sur les caractéristiques du logement. Ce sont souvent des ménages qui vivent dans des logements collectifs avec un chauffage collectif. Au final, l'échantillon porte sur 17 212 ménages.

**Tableau 2. Les catégories de logements**

	Logements individuels	Logements collectifs
<b>Combustible principal</b>	Electricité, gaz, fioul	Electricité, gaz, fioul
<b>Zone climatique*</b>	4 zones climatiques (1 est la zone la plus froide)	4 zones climatiques (1 est la zone la plus froide)
<b>Périodes de construction</b>	5 périodes (avant 1974, de 1975 à 1981, de 1982 à 1989, de 1990 à 2001, après 2002)	5 périodes (avant 1974, de 1975 à 1981, de 1982 à 1989, de 1990 à 2001, après 2002)
<b>Type de vitrage</b>	Double vitrage ou simple vitrage	Double vitrage ou simple vitrage
<b>Ventilation</b>	VMC ou non	VMC ou non
<b>Isolation du toit</b>	Bon, intermédiaire, mauvais	Bon, intermédiaire, mauvais
<b>Type de chauffage</b>	Individuel	Individuel ou collectif
<b>Nombre total de catégories</b>	720	1 440
<b>TOTAL</b>	2 160	

\* Une carte est disponible en Annexe.

Source : A partir de l'Enquête Logement 2006 de l'INSEE.

Dans cette étude, nous voulons étudier les déterminants de la décision de rénover. Pour cela nous faisons la distinction entre les travaux de rénovation en isolation (RI), les travaux de rénovation de remplacement des équipements (RRE) et les travaux de réparation (RR). Les travaux d'isolation et les travaux de remplacement sont des travaux en économie d'énergie (REE). Ces variables dépendantes sont exprimées en logarithme.

Pour étudier la décision d'entreprendre des travaux de rénovation en économie d'énergie (plus spécifiquement le montant dépensé pour ce type de travaux), différentes variables sont introduites dans l'estimation. Trois principales catégories sont considérées :

#### – les caractéristiques socio-économiques des ménages

Dans les caractéristiques socio-économiques des ménages, nous considérons l'âge du répondant, le niveau de diplôme, le niveau de revenu et le statut d'occupation ;

### – les caractéristiques des logements

Pour isoler les déterminants des dépenses en rénovation, nous introduisons dans le modèle des données sur les périodes de construction, la surface, la zone climatique et le type de logement ;

### – les caractéristiques économiques et financières des travaux

Grösche et Vance (2009) ont souligné l'importance de tenir compte des variables économiques dans la décision de rénover en efficacité énergétique. Nous introduisons donc des variables sur le nombre de travaux, le fait d'avoir bénéficié d'un prêt et les gains énergétiques espérés à la rénovation. Les variables sont résumées dans le tableau en annexe.

En 2006, 28 % des ménages vivant en résidence principale ont entrepris des travaux de rénovation et seulement 4 % ont réalisé des travaux en efficacité énergétique (ces données sont légèrement plus faibles que celles constatées par l'OPEN qui avoisinent les 9 %). En moyenne, les ménages qui ont entrepris une rénovation ont dépensé 6 245 euros. Les ménages peuvent réaliser plusieurs types de rénovation en même temps. La consommation énergétique moyenne des logements avant rénovation pour ceux qui ont entrepris des travaux est de 183,6 kWh<sub>ef</sub>/m<sup>2</sup>/an tandis que la consommation énergétique moyenne des logements qui ont entrepris des travaux de réparation est de 178,7 kWh<sub>ef</sub>/m<sup>2</sup>/an. En moyenne, les rénovations en économie d'énergie sont effectuées dans des logements dont la consommation énergétique est plus élevée que la moyenne des logements (179 kWh<sub>ef</sub>/m<sup>2</sup>/an).

## 3. Modèle et résultats

L'analyse des données est compliquée pour deux raisons. D'une part, la majeure partie des ménages n'a reporté aucune dépense de rénovation en 2006. Ainsi, si l'on distingue par catégories de rénovation (rénovations d'isolation du bâti, rénovations de remplacement des équipements et rénovations de réparation), la part des ménages qui n'ont entrepris aucune rénovation est respectivement de 82,72 %, 97,02 % et 98,63 %. Dans ce cas, estimer les dépenses de rénovation en utilisant les moindres carrés ordinaires peut poser certains problèmes techniques et une régression Tobit (Heckman, 1979 ; Tobin, 1958 ; Amemiya, 1973) est plus appro-

prisée. D'autre part, un autre type de problème est l'interdépendance possible entre les trois catégories de rénovation.

La modélisation économétrique qui permet de tenir compte de la censure en zéro et de l'interdépendance est un modèle Tobit multivarié (Amemiya, 1974 et Maddala, 1983<sup>2</sup>). Ce modèle est une extension du modèle Tobit de régression simple. Avec un modèle Tobit multivarié, il est donc possible d'estimer conjointement les dépenses de rénovation d'isolation du bâti, les dépenses de remplacement des équipements et les dépenses de réparation tout en tenant compte de l'interdépendance entre ces trois catégories de rénovation. Dans la littérature, des auteurs ont déjà eu recours aux modèles Tobit multivarié. Par exemple, pour analyser les dépenses de consommation de lait tout en tenant compte de l'interdépendance entre les différentes catégories de lait (écrémé, demi-écrémé et entier), Cornick *et al.* (1994) utilisent un Tobit multivarié.

Dans notre étude, les résultats obtenus pour le modèle Tobit multivarié sont comparés avec ceux obtenus pour le modèle Tobit univarié. L'estimation est corrigée de l'hétéroscédasticité. Pour plus d'informations sur la robustesse des estimateurs du modèle Tobit à l'hétéroscédasticité, voir Maddala and Nelson (1975), Hurd (1979), Nelson (1981) et, Arabmazar et Schmidt (1981).

Les résultats du Tobit sont présentés dans le tableau 3 et ceux du Tobit multivarié dans le tableau 4. La significativité globale du modèle est analysée en utilisant un test du maximum de vraisemblance. La statistique de test du  $\chi^2$  est 923,42. Nous rejetons donc l'hypothèse nulle de non significativité des coefficients.

L'interdépendance entre les trois types de rénovation est testée en appliquant un test du rapport de vraisemblance. Le test utilise le fait que les coefficients entre les termes d'erreur  $\rho_{RI}$ ,  $\rho_{RE}$  et  $\rho_{RR}$  dans les trois équations de dépense sont contraints en zéro quand un modèle univarié est utilisé. La statistique de test de Student pour les coefficients  $\rho_{RI/RE}$ ,  $\rho_{RI/RR}$  et  $\rho_{RE/RR}$  est significative au seuil de 1 %, donc l'hypothèse d'indépendance des erreurs ( $\rho_{RI/RE} = 0$ ,  $\rho_{RI/RR} = 0$  et  $\rho_{RE/RR} = 0$ ) est rejetée. De plus, l'hypothèse nulle d'indépendance des dépenses des travaux de rénovation est testée en utilisant un test de rapport de vraisemblance logarithmique

---

2. Pour plus de détails, voir Greene (2003).

dans lequel le modèle restreint oblige les termes hors de la diagonale de la matrice de covariance à être égaux à zéro. Les statistiques qui en résultent sont statistiquement significatives (482,9), ce qui indique un rejet de l'hypothèse nulle. Il est clair à partir des résultats obtenus que les données doivent être analysées à l'aide d'un modèle Tobit multivarié.

Les variables de gains énergétiques ne sont pas introduites dans l'estimation sur le logarithme des dépenses en réparation car elles sont égales à zéro. De plus, plusieurs variables multiplicatives ont été introduites dans le modèle pour tester le problème de l'auto corrélation (entre le revenu et le niveau d'éducation par exemple). En utilisant un test du rapport de vraisemblance avec et sans ces multiplicatives, l'hypothèse nulle n'est pas rejetée et nous préférons les modèles sans multiplicatives. Nous n'avons donc pas de problème de multicolinéarité.

Les résultats montrent que, toutes choses égales par ailleurs, plus les individus sont diplômés, plus ils dépensent dans des rénovations en économie d'énergie (isolation et remplacement). Ces résultats sont cohérents avec ceux de Nair, Gustavsson et Mahapatra (2010) et Poortinga *et al.* (2003). En revanche, nous remarquons aussi que les individus qui ont un diplôme inférieur au baccalauréat dépensent plus que les individus sans qualification. Ces ménages exercent parfois des métiers techniques et manuels, ce qui leur permet d'auto-entreprendre des travaux.

Nous remarquons que le fait d'appartenir aux quintiles de revenu les plus élevés n'a pas d'effet sur la décision d'entreprendre des travaux en économie d'énergie. Les dépenses sont des montants bruts. Ainsi, il n'a pas été possible de déduire des dépenses le montant des aides publiques attribuées aux individus. Par contre, le fait d'appartenir aux quintiles les plus modestes (1 et 2) joue significativement et négativement sur le fait d'entreprendre des travaux de réparation. Des résultats similaires sont obtenus par Montgomery (1992). Compte tenu des résultats, l'effet du revenu serait à approfondir dans des recherches futures en parallèle de l'effet des politiques publiques. Ainsi, il serait possible de déterminer avec plus d'exactitude, d'une part, les bénéficiaires des aides publiques et d'autre part, l'effet du revenu sur la décision d'entreprendre des

travaux en économie d'énergie. Malheureusement, aujourd'hui, à notre connaissance, une telle enquête n'est pas disponible.

Tableau 3. Résultats de l'estimation - Tobit univarié

Variables	LRI	LRRE	LRR
<b>Les caractéristiques socio-économiques des ménages</b>			
Infbac	1,691* (0,890)	1,560 (1,371)	0,778' (0,432)
Bac	-1,132 (1,264)	0,251 (1,869)	-0,126 (0,578)
Bac+2	2,659** (1,263)	-0,193 (2,146)	-0,126 (0,650)
Supbac+2	1,189 (1,197)	3,589** (1,722)	-0,113 (0,579)
Quint1	1,211 (1,083)	1,534 (1,699)	-2,016*** (0,538)
Quint2	-0,674 (1,113)	-0,603 (1,741)	-2,762*** (0,535)
Quint3	0,351 (1,046)	2,306 (1,559)	-0,567 (0,498)
Quint4	0,064 (1,043)	0,697 (1,595)	-0,676 (0,487)
Avt30	0,286 (1,282)	0,532 (1,894)	-0,146 (0,654)
30-39	-0,238 (1,026)	-0,866 (1,564)	0,908' (0,499)
40-49	-0,084 (0,987)	1,175 (1,427)	0,904' (0,486)
50-64	-0,292 (0,947)	-2,035 (1,459)	0,456 (0,466)
Propriétaire	1,488** (0,707)	1,406 (1,049)	0,648' (0,343)
<b>Les caractéristiques des logements</b>			
Avt1974	2,063 (1,437)	-0,287 (2,073)	-2,612*** (0,609)
1974-1981	1,290 (1,665)	-0,336 (2,402)	-1,862** (0,731)
1982-1989	0,182 (1,731)	1,842 (2,405)	-2,788*** (0,765)
1990-2001	0,118 (1,621)	0,120 (2,288)	-2,775*** (0,693)
Surface	0,161*** (0,030)	0,239*** (0,036)	0,081*** (0,014)
Surface2	-0,0002** (0,0001)	-0,001*** (0,0001)	-0,0002*** (0,0001)
Climat1	1,957* (1,027)	3,297** (1,603)	0,242 (0,491)
Climat2	1,219 (0,991)	3,021* (1,545)	-0,050 (0,474)
Climat3	1,482 (1,145)	1,784 (1,816)	1,206** (0,538)
Ind	2,532*** (0,673)	2,173** (1,044)	0,638** (0,323)
<b>Les caractéristiques économiques et financières des travaux</b>			
NB	0,548** (0,250)	0,550 (0,369)	0,840*** (0,129)
NB2	-0,022 (0,019)	-0,031 (0,029)	-0,045*** (0,010)
Lgainsenergetiques	1,198*** (0,174)	0,745*** (0,253)	
Prêt	1,701* (0,992)	2,303(1,467)	2,021*** (0,492)
Constant	-54,343*** (2,858)	-68,271*** (4,007)	-20,578*** (1,254)
N	17 212	17 212	17 212
Log-likelihood	-3666,877	-1869,094	-12293,042

Notes : les écarts types corrigés de l'hétéroscédasticité sont entre parenthèses. \*, \*\*, et \*\*\* indiquent la significativité statistique des coefficients au seuil de 10%, 5% et 1% respectivement.

Source : Calculs de l'auteur.

Tableau 4. Résultats de l'estimation - Tobit multivarié

Variables	LRI	LRRE	LRR
<b>Les caractéristiques socio-économiques des ménages</b>			
Infbac	1,736* (0,883)	1,536 (1,366)	0,764* (0,432)
Bac	-0,947 (1,253)	0,477 (1,869)	-0,108 (0,574)
Bac+2	2,706** (1,243)	0,162 (2,100)	-0,160 (0,647)
Supbac+2	1,182 (1,190)	3,687* (1,738)	-0,144 (0,580)
Quint1	0,808 (1,081)	1,385 (1,715)	-2,055*** (0,538)
Quint2	-1,119 (1,112)	-1,091 (1,736)	-2,782*** (0,537)
Quint3	0,113 (1,040)	1,920 (1,564)	-0,546 (0,498)
Quint4	-0,034 (1,029)	0,610 (1,591)	-0,667 (0,483)
Avt30	0,324 (1,273)	0,388 (1,873)	-0,146 (0,650)
30-39	0,043 (1,027)	-0,738 (1,542)	0,947* (0,500)
40-49	0,142 (0,983)	1,464 (1,425)	0,977** (0,487)
50-64	-0,060 (0,946)	-1,784 (1,455)	0,452 (0,467)
Propriétaires	1,500** (0,708)	1,425 (1,037)	0,641* (0,342)
<b>Les caractéristiques des logements</b>			
Avt1974	2,337* (1,408)	-0,014 (2,055)	-2,467*** (0,618)
1974-1981	1,958 (1,632)	0,002 (2,372)	-1,620** (0,739)
1982-1989	0,313 (1,701)	1,902 (2,384)	-2,685*** (0,778)
1990-2001	-0,110 (1,589)	-0,128 (2,273)	-2,729*** (0,703)
Surface	0,172*** (0,028)	0,227*** (0,033)	0,083*** (0,007)
Surface2	-0,0002*** (0,0001)	-0,0004*** (0,0001)	-0,0001*** (0,0001)
Climat1	1,793* (1,019)	3,323** (1,577)	0,222 (0,487)
Climat2	1,228 (0,986)	3,053** (1,508)	0,005 (0,471)
Climat3	1,669 (1,137)	2,216 (1,770)	1,267** (0,536)
Ind	2,394*** (0,665)	2,185** (1,031)	0,606* (0,321)
<b>Les caractéristiques économiques et financières des travaux</b>			
NB	0,712*** (0,249)	0,761** (0,351)	0,867*** (0,124)
NB2	-0,032* (0,019)	-0,044 (0,027)	-0,047*** (0,010)
Lgainsenergetiques	1,275*** (0,174)	0,899* (0,249)	
Prêt	1,581(0,976)	2,226(1,464)	2,070*** (0,495)
Constant	-55,836*** (2,969)	-69,121*** (3,902)	-20,957*** (1,104)
	$\rho_{IM, ERW}$	$\rho_{IM, RW}$	$\rho_{ERW, RW}$
	0,479*** (0,036)	0,423*** (0,0234)	0,320*** (0,0324)
<b>H0 dépenses indépendantes <math>\chi^2(3)=488,9</math></b>			
N=17 212	LL =-17584,517	$H_0 B_1^b=0$	$\chi^2(80)=23,427$

Notes : les écarts types corrigés de l'hétéroscédasticité sont entre parenthèses. \*, \*\*, et \*\*\* indiquent la significativité statistique des coefficients au seuil de 10 %, 5 % et 1 % respectivement.

Source : Calculs de l'auteur.

Le statut d'occupation du logement est un déterminant des dépenses en rénovation. Le fait d'être propriétaire de son logement joue positivement et significativement, toutes choses égales par ailleurs, sur les dépenses en rénovation en isolation et en réparation. En revanche, le statut d'occupation n'a pas d'effet sur les dépenses en remplacement des équipements. Dans l'Enquête Logement 2006, nous ne disposons pas d'informations complémentaires sur les raisons qui ont conduit les ménages à remplacer leurs équipements. Il est possible que ces derniers décident de changer leurs appareils de chauffage et d'eau chaude sanitaire lorsqu'une panne survient. En France, les propriétaires sont dans l'obligation de remplacer ces équipements dans les logements loués lorsqu'une panne se produit. Ceci pourrait expliquer pourquoi le statut d'occupation n'a pas d'effet dans ce cas-là. D'une manière générale, les résultats confirment qu'il existe une différence significative dans les sommes dépensées en fonction du statut d'occupation du logement. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Arnott, Davidson, et Pines (1983), Rehdanz (2007), Davis (2010) et Meier et Rehdanz (2010). Il pourrait être intéressant d'approfondir ces résultats. En effet, en France, les locataires ont un revenu moyen inférieur à celui des propriétaires et vivent dans des logements moins bien isolés. Si les propriétaires décident d'investir uniquement dans les logements qu'ils occupent, cela signifie que 42,2 % des logements en France seraient susceptibles de ne pas être rénovés.

L'âge influence aussi les dépenses en rénovation. Les ménages dont la personne de référence se situe entre 30 et 49 ans comparés aux ménages dont la personne de référence est âgée de plus de 65 ans (qui ont aussi une mobilité plus faible) dépensent plus dans les travaux de rénovation en réparation. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Rehdanz (2007). Par contre, contrairement aux résultats obtenus dans la littérature (Mahapatra et Gustavsson, 2008 et Rehdanz, 2007), il n'y a pas d'effet de l'âge sur les dépenses de rénovation en économie d'énergie.

Si les caractéristiques socio-économiques des ménages et principalement le statut d'occupation, semblent être des déterminants des dépenses en rénovation énergétique, les caractéristiques des logements semblent aussi essentiels. Les dépenses de rénovation en isolation sont plus élevées, toutes choses égales par ailleurs, dans les zones climatiques les plus froides (1 et 2) comparées à la zone la



plus chaude (zone 4 qui correspond au bassin méditerranéen). Par ailleurs, plus la surface du logement est élevée, plus les dépenses, toutes choses égales par ailleurs, sont importantes. Toutefois, il y a un effet non linéaire de la surface, puisque la variable « surface au carré » joue négativement et significativement sur les dépenses en rénovation. Ceci implique que les dépenses augmentent dans un premier temps avec la surface jusqu'à un certain seuil, puis diminuent ensuite.

Les ménages qui vivent dans des maisons individuelles dépensent plus, toutes choses égales par ailleurs, que ceux qui vivent dans des logements collectifs. Ce résultat n'est pas surprenant. Compte tenu de la spécificité des logements collectifs avec un chauffage collectif en France (les assemblées de copropriétaires doivent voter les travaux à la majorité), nombreux sont les logements qui peuvent ne pas faire l'objet de travaux en économie d'énergie. De plus, dans les maisons individuelles, les ménages ont une meilleure connaissance de leur facture énergétique et donc des gains énergétiques potentiels procurés par une rénovation. Ces résultats sont dans la lignée de ceux de Plaut et Plaut (2010).

Les travaux en économie d'énergie ont lieu dans les bâtiments anciens (surtout en ce qui concerne l'isolation du bâti) tandis que les travaux de réparation sont entrepris dans des logements récents. Ces logements sont souvent bien isolés puisqu'ils ont fait l'objet d'une réglementation thermique. Des travaux de remplacement des équipements et des travaux d'isolation ne semblent alors par nécessaires. Les ménages dépensent plus, toutes choses égales par ailleurs, quand les logements sont anciens et donc mal isolés. Les études dans la littérature ont obtenu des résultats similaires. Nair, Gustavsson et Mahapatra (2010) ont montré que les individus qui vivent dans des logements qui ont plus de 35 ans sont plus enclins à entreprendre des travaux majeurs de rénovation en économie d'énergie comme le remplacement et l'isolation des murs extérieurs.

Les caractéristiques économiques et financières des travaux sont aussi des déterminants des dépenses en rénovation. Le nombre de travaux joue positivement et significativement quel que soit le type de rénovation. Toutefois, le carré du nombre de rénovation joue négativement et significativement sur le montant dépensé. Cela peut mettre en évidence deux tendances. Premièrement, les

ménages qui entreprennent plusieurs travaux préfèrent dépenser moins (et éventuellement effectuer des travaux qui vont leur procurer moins de gains énergétiques). Deuxièmement, avec le nombre de travaux, le coût des travaux diminue puisque les professionnels sont plus disposés à réduire le prix des biens dans le cas de rénovations groupées.

Finalement, plus les gains énergétiques espérés sont élevés, toutes choses égales par ailleurs, plus les ménages dépensent dans les travaux de rénovation. Cela signifie que le consentement à payer des ménages est plus élevé dans le cas où la différence entre la consommation théorique avant travaux et la consommation théorique après travaux est importante. Ce résultat est cohérent avec ceux de Grösche et Vance (2009), Banfi *et al.* (2006) et Nair, Gustavsson et Mahapatra (2010). Toutefois, il peut exister un paradoxe entre les arbitrages *ex-ante* et les comportements observés *ex-post*. Effectivement, les ménages qui entreprennent une rénovation énergétique pourraient ne pas profiter des gains énergétiques en totalité : *c'est l'effet rebond*. L'effet rebond apparaît si un investissement en économie d'énergie (comme le double-vitrage) entraîne un changement dans le comportement des ménages (augmentation de la température moyenne des logements) qui compense les effets bénéfiques de la technologie sur la consommation d'énergie. Il est possible de distinguer un effet rebond « direct », c'est-à-dire, directement imputable au bien concerné par la mesure en économie d'énergie (Khazzoom, 1980 ; Berkhout *et al.*, 2000) et un effet rebond indirect, qui résulte d'une hausse de la demande en énergie au niveau macroéconomique (Saunders, 2011 ; Berkhout *et al.*, 2000). Dans une telle perspective, des ménages qui entreprennent des travaux de rénovation pour des raisons « de rentabilité énergétique » ne réaliseront pas pour autant des économies d'énergie<sup>3</sup>.

En matière de politiques publiques, il pourrait être intéressant par le biais de campagnes d'information d'insister sur les pertes subies (ou les gains espérés non réalisés) lorsque les ménages n'investissent pas. Les campagnes d'information qui mettent en évidence les gains énergétiques espérés sont parfois moins efficaces

---

3. Une revue de la littérature sur ce sujet est disponible dans l'article de Sorell *et al.* (2009). Les auteurs concluent à un effet rebond autour des 30 % dans les pays de l'OCDE.

que celles qui soulignent les pertes. Les ménages sont plus susceptibles d'éviter une perte que de réaliser un gain (Kahneman et Tversky, 1979).

D'une manière générale, si les dépenses pour les rénovations en réparation et les rénovations en isolation sont généralement bien expliquées, cela n'est pas le cas pour les travaux de remplacement des équipements. Pour rappel, dans l'Enquête Logement 2006, nous ne disposons pas d'information sur la vétusté des équipements. De plus, nous ne connaissons pas les motifs de remplacement des équipements. Cela peut signifier que les ménages n'entreprennent pas ce type de travaux dans l'optique de réaliser des économies d'énergie. Dans une telle situation, mettre en place des politiques publiques peut s'avérer nécessaire. À titre d'exemple, un système de *bonus malus*, identique à celui qui a été mis en place pour les véhicules, pourrait être envisageable.

#### 4. Conclusion

Dans cet article, notre objectif principal était d'analyser les dépenses des ménages pour les travaux de rénovation en faisant une distinction entre les travaux de réparation et les travaux en économie d'énergie (remplacement et isolation). Nous avons voulu étudier l'impact des caractéristiques socio-économiques des ménages et des caractéristiques du bâti sur la décision de rénover. De plus, nous avons voulu saisir plus particulièrement si les caractéristiques économiques et financières des travaux, comme les gains énergétiques espérés à la rénovation, étaient des déterminants des dépenses de rénovation en économie d'énergie. Pour cela, nous avons dû enrichir l'Enquête Logement avec de nouvelles variables. Les gains énergétiques espérés ont été estimés à l'aide d'un logiciel de simulation. En calculant la consommation théorique avant travaux et la consommation théorique après travaux pour huit types de rénovation et pour plus de deux mille catégories de logements, nous avons été en mesure de calculer les gains énergétiques espérés. Les dépenses de rénovation sont analysées à l'aide d'un modèle Tobit multivarié pour tenir compte de la censure et de l'interdépendance. Finalement, les dépenses de rénovation en réparation et en économie d'énergie ne sont pas expliquées par les mêmes déterminants. Si les travaux en économie d'énergie sont

réalisés dans des logements anciens situés dans des zones climatiques froides, les travaux en réparation sont entrepris dans des logements récents. Le fait d'être propriétaire joue positivement et statistiquement sur les dépenses en rénovation. Par ailleurs, plus les gains énergétiques espérés sont élevés, plus les montants dépensés par les ménages pour les rénovations en économie d'énergie sont importants.

Toutefois, il peut exister un paradoxe entre les arbitrages *ex-ante* et les comportements observés *ex-post*. Dans de futures recherches, il conviendrait d'évaluer l'ampleur de l'effet rebond dans la perspective d'adapter les politiques publiques. Par exemple, compte tenu que les ménages sont plus susceptibles d'éviter une perte que de réaliser un gain, il pourrait être intéressant par le biais de campagnes d'information d'insister sur les pertes subies (ou les gains espérés non réalisés) lorsque les ménages n'investissent pas tout en les sensibilisant à l'existence de ces effets rebonds. À l'avenir, il serait donc intéressant d'approfondir ces questions.

### Références bibliographiques

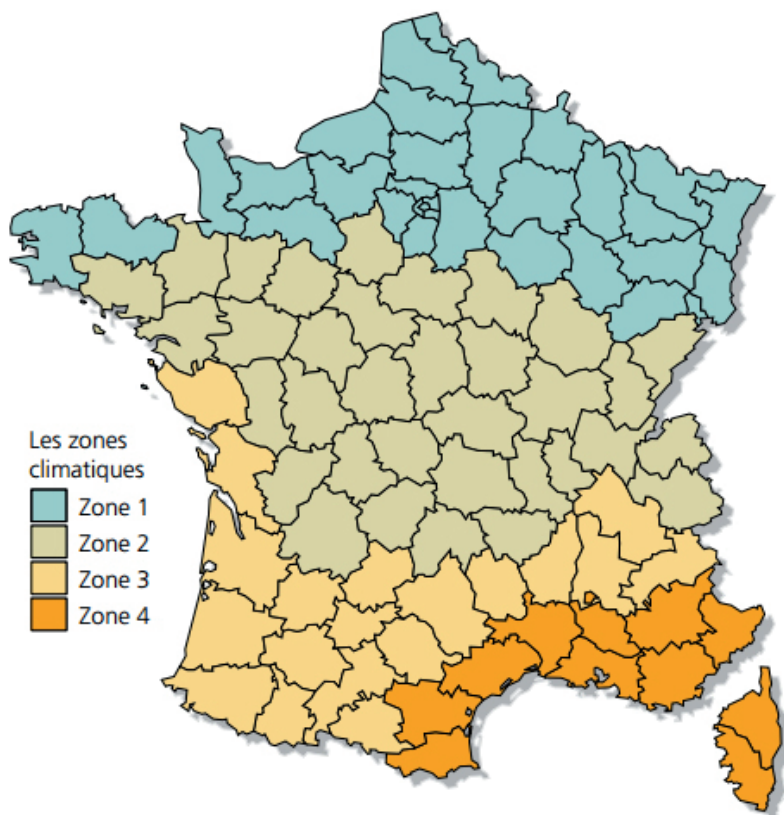
- ADEME et Tns-SOFRES, 2009, *Maîtrise de l'énergie - Bilan 2009 - Phase 1- Attitudes et comportements des particuliers*, Note de Synthèse.
- Amemiya T., 1973, « Regression Analysis When the Dependent Variable Is Truncated Normal », *Econometrica*, 41(6) : 997-1016.
- Amemiya T., 1974, « Multivariate Regression and Simultaneous Equation Models When the Dependent Variables Are Truncated Normal », *Econometrica*, 42(6) : 999-1012.
- Arabmazar A. et P. Schmidt, 1981, « Further Evidence on the Robustness of the Tobit Estimator to Heteroskedasticity », *Journal of Econometrics*, 17(2) : 253-58.
- Arnott R., R. Davidson et D. Pines, 1983, « Housing Quality, Maintenance and Rehabilitation », *Review of Economic Studies*, 50 : 162-467.
- Banfi S., M. Farsi, M. Filippini et M. Jakob, 2008, « Willingness to Pay for Energy-Saving Measures in Residential Buildings », *Energy Economics*, 30(2) : 503-16.
- Berkhout P. H. G., J. C. Muskens et J. W. Velthuisen, 2000., « Defining the rebound effect », *Energy Policy*, 28(6-7) : 425-432.
- Bogdon A. S., 1996, « Homeowner Renovation and Repair: The Decision to Hire Someone Else to Do the Project », *Journal of Housing Economics*, 5(4) : 323-50.

- Brown M. A., 2001, « Market Failures and Barriers as a Basis for Clean Energy Policies », *Energy Policy*, 29(14) : 197-207.
- Cameron T. A., 1985, « A Nested Logit Model of Energy Conservation Activity by Owners of Existing Single Family Dwellings », *The Review of Economics and Statistics*, 67(2) : 205-11.
- Cornick J. et T. L. Cox., 1994, « Fluid Milk Purchases: A Multivariate Tobit Analysis », *American Journal of Agricultural Economics*, 76(1) : 74.
- Davis L. W., 2010, « Evaluating the Slow Adoption of Energy Efficient Investments: Are Renters Less Likely to Have Energy Efficient Appliances? », *NBER Working Paper*, (16114).
- Diaz-Rainey, Ivan et Ashton John, K, 2009, « Domestic Energy Efficiency Measures Adopter Heterogeneity and Policies to Induce Diffusion », *Working Paper SSRN*.
- Greene, W.H., 2003, *Econometric Analysis*, 5th ed. Upper Saddle River, NJ Prentice-Hall.
- Grösche P. et C. Vance, 2009, « Willingness to Pay for Energy Conservation and Free-Ridership on Subsidization: Evidence from Germany », *Energy Journal*, 30(2) : 135-53.
- Heckman J. J., 1979, « Sample Selection Bias as a Specification Error », *Econometrica*, 47(1) : 153-61.
- Hurd M., 1979, « Estimation in Truncated Samples When There Is Heteroscedasticity », *Journal of Econometrics*, 11(2-3) : 247-58.
- International Energy Agency, 2007, « Mind the gap - Quantifying principal agent problems in energy efficiency », In *support of the G8 Plan of Action*. [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/mind\\_the\\_gap.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/mind_the_gap.pdf)
- Jaffe A. B. et R. N. Stavins, 1994, « Energy-Efficiency Investments and Public Policy », *Energy Journal*, 15(2) : 43-65.
- Kahneman D. et A. Tversky, 1979, « Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk », *Econometrica*, 47(2) : 263-91.
- Khazzoom J. D., 1980, « Economic Implications of Mandated Efficiency in Standards for Household Appliances », *Energy Journal* 1(4) : 21-40.
- Kwak S-Y, S-H Yoo et S-J Kwak, 2010, « Valuing Energy-Saving Measures in Residential Buildings: A Choice Experiment Study », *Energy Policy*, 38(1) : 673-77.
- Linden A-L, A. Carlsson-Kanyama et B. Eriksson, 2006, « Efficient and Inefficient Aspects of Residential Energy Behaviour: What Are the Policy Instruments for Change? » *Energy Policy*, 34(14) : 1918-27.
- Maddala, G. S. and F. D. Nelson, 1975, « Specification Errors in Limited Dependent Variable Models », *National Bureau of Economic Research Working Paper Series*, 96.

- Maddala G.S., 1983, *Limited-Dependent and Qualitative Variables in Econometrics*, Cambridge University Press, New York.
- Mahapatra K. et L. Gustavsson, 2008, « An Adopter-Centric Approach to Analyze the Diffusion Patterns of Innovative Residential Heating Systems in Sweden », *Energy Policy*, 36(2) : 577-90.
- Meier H. et K. Rehdanz, 2010, « Determinants of Residential Space Heating Expenditures in Great Britain », *Energy Economics*, 32(5) : 949-59.
- Mendelsohn R., 1977, « Empirical Evidence on Home Improvements », *Journal of Urban Economics*, 4(4) : 459-68.
- Montgomery C., 1992, « Explaining Home Improvement in the Context of Household Investment in Residential Housing », *Journal of Urban Economics*, 32(3) : 326-50.
- Nair G., L. Gustavsson et K. Mahapatra, 2010, « Factors Influencing Energy Efficiency Investments in Existing Swedish Residential Buildings », *Energy Policy*, 38(6) : 2956-63.
- Nelson, F. D., 1981, « A Test for Misspecification in the Censored Normal Model », *Econometrica* 49(5): 1317-1329.
- OPEN, 2007, « Résultats de la campagne 2007 », <http://www.cebtपालसा.asso.fr/documentsPublic/open.pdf>
- Plaut S. et P. Plaut, 2010, « Decisions to Renovate and to Move », *JRER*, 32 (4) : 461-484.
- Poortinga W, L. Steg, C. Vlek et G. Wiersma, 2003, « Household Preferences for Energy-Saving Measures: A Conjoint Analysis », *Journal of Economic Psychology*, 24(1) : 49.
- Potepan M. J., 1989, « Interest Rates, Income, and Home Improvement Decisions », *Journal of Urban Economics*, 25(3) : 282-94.
- Rehdanz K., 2007, « Determinants of Residential Space Heating Expenditures in Germany », *Energy Economics*, 29(2) : 167-82.
- Sanstad A., C. Blumstein et S.E. Stoff, 1995, « How High Are Option Values in Energy-Efficiency Investments? », *Energy Policy*, 23(9) : 739-43.
- Saunders H., 2011 « Historical Evidence for Energy Consumption Rebound in 30 US Sectors and a Toolkit for Rebound Analysts », *The Selected Works of Harry D. Saunders*, Available at: [http://works.bepress.com/harry\\_saunders/9](http://works.bepress.com/harry_saunders/9)
- Sorrell S., J. Dimitropoulos et M. Sommerville, 2009, « Empirical estimates of the direct rebound effect: A Review », *Energy Policy*, 37(4) : 1356-1371.
- Tobin J. 1958, « Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables », *Econometrica*, 26(1) : 24-36.
- van Soest D. P. et E.H. Bulte, 2001, « Does the Energy-Efficiency Paradox Exist? Technological Progress and Uncertainty », *Environmental and Resource Economics*, 18(1) : 101-12.

## Annexe

Graphique. Les zones climatiques françaises



Source : ADEME.

**Tableau. Description des variables**

Variables	Nom	Définitions	Unités
<b>Variables dépendantes</b>			
Dépenses de rénovation en isolation	LRI	Montant des dépenses de rénovation pour l'isolation	En euros et en logarithme
Dépenses de rénovation en remplacement des équipements	LRRE	Montant des dépenses de rénovation pour le remplacement des équipements	En euros et en logarithme
Dépenses de rénovation en réparation	LRR	Montant des dépenses de rénovation en réparation	En euros et en logarithme
<b>Variables indépendantes</b>			
<i>Caractéristiques socio-économiques des ménages</i>			
<i>Niveau de diplôme</i>			
Sans qualification	Ref	Ménages sans qualification	0/1
Inférieur au baccalauréat	Infbac	Ménages dont la qualification est inférieure au baccalauréat	0/1
Baccalauréat	Bac	Ménages avec le baccalauréat	0/1
Baccalauréat plus deux années	Bac+2	Ménages avec deux années d'études supérieures baccalauréat	0/1
Supérieur au baccalauréat plus deux années	Supbac+2	Ménages avec un diplôme supérieur au baccalauréat plus deux années	0/1
Quintile de Revenu	Quint	Variable binaire introduite pour chaque quintile de revenu (5 quintiles)	0/1
<i>Classe d'âge</i>			
Moins de 30 ans	Avt30	Ménages âgés de moins de 30 ans	0/1
Entre 30 et 39 ans	30-39	Ménages âgés entre 30 et 39 ans	0/1
Entre 40 et 49 ans	40-49	Ménages âgés entre 40 et 49 ans	0/1
Entre 50 et 64 ans	50-64	Ménages âgés entre 50 et 64 ans	0/1
Plus de 65 ans	Ref	Ménages âgés de plus de 65 ans	0/1
Statut d'occupation	Propriétaire	Variable binaire introduite pour les propriétaires	0/1



Variables	Nom	Définitions	Unités
<b>Caractéristiques des logements</b>			
<i>Périodes de construction</i>			
Avant 1974	<b>Avt1974</b>	Avant 1974	0/1
De 1974 à 1981	<b>1974-1981</b>	De 1974 à 1981	0/1
De 1982 à 1989	<b>1982-1989</b>	De 1982 à 1989	0/1
De 1990 à 2001	<b>1990-2001</b>	De 1990 à 2001	0/1
Après 2002	<b>Ref</b>	Après 2002	Ref
Surface	<b>Surface</b>	Surface	Surface
Surface au carré	<b>Surface2</b>	Surface au carré	Surface2
<i>Zone climatique</i>			
Zone climatique 1	<b>Climat1</b>	Ménages qui vivent dans la zone climatique 1	0/1
Zone climatique 2	<b>Climat2</b>	Ménages qui vivent dans la zone climatique 2	0/1
Zone climatique 3	<b>Climat3</b>	Ménages qui vivent dans la zone climatique 3	0/1
Zone climatique 4	<b>Ref</b>	Ménages qui vivent dans la zone climatique 4	0/1
Maisons individuelles	<b>Ind</b>	Ménages qui vivent dans des maisons individuelles	0/1
<b>Caractéristiques économiques et financières des travaux</b>			
Nombre de travaux	<b>NB</b>	Nombre de travaux	continus
Nombre de travaux au carré	<b>NB2</b>	Nombre de travaux au carré	continus
Gains énergétiques	<b>Lgainsenergetiques</b>	Consommation d'énergie avant travaux moins consommation d'énergie après travaux	kWh <sub>ef</sub> /m <sup>2</sup> /an en logarithme
Prêt	<b>Prêt</b>	Variable binaire quand le ménage a bénéficié d'un prêt bancaire.	0/1