



**HAL**  
open science

## Valeur verte et approches spatialisées de la maîtrise de la demande d'énergie.

Pierre Voye

► **To cite this version:**

Pierre Voye. Valeur verte et approches spatialisées de la maîtrise de la demande d'énergie.. Économie et finance quantitative [q-fin]. Université de Bourgogne - Franche Comté, 2020. Français. ⟨NNT : ⟩. ⟨tel-02508976⟩

**HAL Id: tel-02508976**

**<https://hal.science/tel-02508976v1>**

Submitted on 18 Mar 2020

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

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



HAL Authorization

UNIVERSITE BOURGOGNE FRANCHE-COMTE  
Ecole Doctorale Droit, Gestion, Economie et Politique (ED 593)

THÈSE

Pour obtenir le grade de  
Docteur de l'Université Bourgogne Franche Comté  
Discipline : Sciences Économiques

Pierre VOYÉ

**Valeur verte et approches spatialisées de la maîtrise de la  
demande d'énergie**

Sous la direction de Catherine BAUMONT

Thèse soutenue publiquement le 3 juillet 2019

Membres du jury :

Marc Baudry	Professeur à l'université Paris Nanterre (Rapporteur)
Catherine Baumont	Professeur à l'université de Bourgogne (Directrice de thèse)
Dorothee Charlier	Maître de conférences HDR à l'université de Savoie Mont Blanc (Rapporteur)
Masha Maslanskaïa-Pautrel	Maître de conférences à l'université d'Angers
Frédéric Lantz	Professeur à l'Institut Français du Pétrole
Jean-Eudes Moncomble	Secrétaire général du Conseil Français de l'Énergie
Mouez Fodha	Professeur à l'Université de Paris 1



La thèse a reçu le soutien financier de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et du conseil Régional de Bourgogne Franche-Comté.

Elle s'inscrit dans le programme « Energie, Environnement et Société » de la Stratégie Recherche Développement Innovation 2014-2020 de l'ADEME et dans le Plan d'Action Régional pour l'Innovation SHS « ATTRACT » du conseil Régional de Bourgogne Franche-Comté.



L'approche spatialisée de la valeur verte, et plus particulièrement celle des deuxième et troisième chapitres s'inscrivent également dans le programme de recherche « Energie et Territoire » du Conseil Français de l'Energie dans le cadre du projet HABITER<sup>1</sup> qu'il a soutenu.



Merci à l'Université de Bourgogne Franche-Comté, au Laboratoire d'Economie de Dijon et à l'Université de Technologie Belfort-Montbéliard pour leur soutien logistique et financier.



---

<sup>1</sup> Recherches sur l'Évaluation Hédonique des Interactions Habitat-Energie-Territoire



*«Même qu'on se dit souvent  
Qu'on aura une maison  
Avec des tas de fenêtres  
Avec presque pas de murs  
Et qu'on vivra dedans  
Et qu'il fera bon y être  
Et que si c'est pas sûr  
C'est quand même peut-être »*  
Jacques Brel, *Ces gens là*.



## Remerciements

Cette thèse est le fruit d'un long labeur qui n'aurait pas abouti sans l'encadrement, l'aide et le soutien de nombreuses personnes que je tiens à remercier.

Je souhaite tout d'abord remercier sincèrement Catherine Baumont, ma directrice de thèse, pour son encadrement. Je la remercie pour la confiance et le soutien qu'elle m'a accordé depuis avant même le début de mon doctorat. Je la remercie également pour ses nombreux conseils, sa disponibilité, et de m'avoir permis de réaliser ce projet de thèse.

Je remercie Dorothée Charlier et Marc Baudry d'avoir accepté d'évaluer mon travail en tant que rapporteurs. Je remercie aussi Masha Maslanskaïa-Pautrel, Frédéric Lantz, Jean-Eudes Moncomble et Mouez Fodha qui ont accepté d'examiner mon travail de thèse.

Je remercie chaleureusement Masha Maslanskaïa-Pautrel et Florian Fizaine, co-auteurs des articles scientifiques présentés dans cette thèse. Ils m'ont aidé à avancer dans mon travail de recherche et ont su renouveler sans cesse ma curiosité scientifique.

Mes remerciements vont aussi aux financeurs qui ont rendu possible ce travail de thèse. Je remercie l'Ademe, qui en plus de cofinancer cette thèse met en relation les doctorants, permettant d'inscrire notre recherche en environnement dans un ensemble cohérent et de générer des débats passionnants. Je remercie plus particulièrement Marie-Laure Nauleau, mon ingénieur référent de l'Ademe, pour ses conseils. Je remercie aussi le conseil Régional de Bourgogne d'avoir su nous faire confiance pour ce travail de thèse et de l'intérêt qu'il porte pour les questions abordées dans cette thèse.

Mes remerciements vont aussi au laboratoire d'Economie de Dijon, pour l'intégration dans l'équipe, et les moyens qui m'ont été alloués pour travailler dans de bonnes conditions et pour participer aux conférences. Je remercie l'ensemble de l'équipe pour les conseils qu'ils m'ont donné tout au long de mon doctorat. De même, je remercie également l'UTBM pour l'accueil et pour l'opportunité d'enseigner qui m'ont été offerts.

Je remercie mes collègues doctorant, pour les conseils mais également pour les nombreux moments conviviaux que nous avons passés ensemble.

Je souhaite remercier bien entendu ma famille qui a toujours été là pour moi, et ce même dans les moments les plus difficiles. Il est évident que sans eux je ne serai pas allé au bout de mon doctorat.

Merci à mes proches d'avoir été là pour moi, pour me reconforter et me donner le moral. Merci à mes amis pour tous ces moments de joie.



## Préambule

### Articles acceptés à la publication ou soumis dans le cadre de cette thèse :

Le chapitre 2 a fait l'objet d'un document de travail n°2017-13 de la French Association of Environmental and Resource Economics puis d'un article publié dans la *Revue D'économie Politique*, en 2018, co-écrit avec Florian Fizaine et Catherine Baumont.

Fizaine F., Voyé P., Baumont C, 2018, Does the literature support a high willingness to pay for green label buildings? An answer with treatment of publication bias, *Revue d'Economie Politique*, 2018, 128 (2018/5): 1013-1046

Le chapitre 3 fait l'objet d'un document de travail co-écrit avec Catherine Baumont et Masha Maslianskaïa-Pautrel, actuellement en révision pour la série des WP de la FAERE.

## Sommaire

<b>Remerciements</b> .....	<b>vii</b>
<b>Préambule</b> .....	<b>ix</b>
<b>Introduction générale</b> .....	<b>13</b>
1. La maîtrise de la demande d'énergie .....	13
2. Concept et enjeux .....	15
3. Promouvoir la valeur verte pour réduire les consommations d'énergie.....	21
Bibliographie :.....	29
Annexe A :.....	32
<b>1. Chapitre 1: Energy management: interactions between the choice of location, energy services, and transport</b> .....	<b>33</b>
1.1 Introduction.....	35
1.2 Literature review and motivations.....	36
1.3 Choice of location and energy consumption model.....	42
1.4 Data and methods of estimation .....	55
1.5 Results .....	62
1.6 Conclusion .....	72
Bibliography .....	<b>73</b>
Appendix 1.A: Graphic results for energy consumption .....	79
Appendix 1.B: Graphic results for energy expenditure .....	81
<b>2. Chapitre 2: Does the literature support a high willingness to pay for green label buildings? An answer with treatment of publication bias</b> .....	<b>83</b>
2.1 Introduction.....	85
2.2 Data and processing method .....	87
2.3 Methodology of estimation .....	90
2.4 Results .....	97
2.5 Discussion and recommendations .....	103
2.6 Conclusion .....	107
Bibliography.....	108
Meta-analysis bibliography.....	111
Appendix 2.A: Description of the selection process of the studies for the meta-analysis .....	115
Appendix 2.B: Changes in mean effect size as a function of the number of estimations included in the meta-analysis (decreasing precision).....	116
Appendix 2.C: Relationship between the share of our sample citing the study and the precision of the study.....	117

Appendix 2.D: Relationship between precision of the study and the SJR of the review publishing the study.....	118
<b>3. Chapitre 3: Hedonic estimation of the green value of residential housing .....</b>	<b>119</b>
3.1 Introduction.....	121
3.2 Green value estimation .....	122
3.3 Study area and data.....	130
3.4 Spatial analysis.....	140
3.5 Results and discussions.....	143
3.6 Conclusion.....	151
Bibliography.....	153
<b>4. Chapitre 4 : De la valeur verte à la maîtrise de la demande d'énergie : l'enjeu de l'accessibilité aux logements verts .....</b>	<b>157</b>
4.1 Introduction.....	159
4.2 Valeur verte et politiques publiques de la maîtrise de la demande d'énergie .....	160
4.3 Choix résidentiels et performance énergétique : cadre empirique.....	167
4.4 Choix résidentiels des ménages et politiques publiques de la maîtrise de la demande d'énergie.....	172
4.5 Conclusion.....	181
Bibliographie :.....	184
<b>Liste des figures.....</b>	<b>187</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>188</b>
<b>Table des matières.....</b>	<b>189</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>193</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>193</b>



# Introduction générale

Le secteur de l'immobilier est un important consommateur d'énergie, représentant 45% de la consommation finale d'énergie en 2012 (ADEME, 2013) et est responsable de 25% des émissions de gaz à effet de serre (UNEP, 2016). Parmi ces émissions, 70% sont imputables au secteur résidentiel et les 30% restants environ au secteur tertiaire. La part des consommations d'énergie du secteur immobilier reste stable depuis une vingtaine d'années (ADEME, 2013) malgré le déploiement de politiques d'aides à la rénovation énergétique (prêt à taux-zéro par exemple) et le renforcement des Réglementations thermiques.

Une explication souvent apportée à la relative stabilité des consommations énergétiques du secteur résidentiel est à rechercher dans ce que l'on appelle la seconde transition démographique (Van de Kaa, 2002). On observe conjointement une diminution de la taille moyenne des ménages (de 2,7 en 1984 à 2,3 en 2013 selon l'Insee (2017)) et une augmentation de la taille des logements (91 mètres carrés aujourd'hui contre 82 en 1984). En outre, contrairement aux autres secteurs très consommateurs d'énergie, le secteur résidentiel est délicat à réguler. Hormis la construction neuve, il est impossible de légiférer directement sur le comportement de consommation des ménages. Finalement, la politique d'offre mise en place au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle a rendu l'énergie relativement abordable, et il apparaît difficile d'augmenter les prix de l'énergie, notamment au regard de la question de la précarité énergétique.

Tous ces éléments ont conduit à ce que le secteur résidentiel soit devenu la cible clé de la maîtrise de la demande d'énergie. Comment inciter les ménages à acheter un logement économe ? Comment favoriser et massifier la rénovation des logements énergivores ? Quel est l'impact des choix résidentiels des ménages sur les consommations d'énergie ?

Pour introduire plus généralement ce sujet, nous allons dans un premier temps présenter le contexte de la maîtrise de la demande d'énergie dans lequel s'inscrit le travail de la thèse. Ensuite, nous développerons les concepts et les enjeux transversaux développés tout au long des chapitres. Une dernière partie présente de manière succincte les quatre chapitres de la thèse en y présentant la problématique soulevée, la méthodologie pour y répondre et les résultats trouvés.

## 1. La maîtrise de la demande d'énergie

Le travail élaboré dans la thèse s'inscrit dans le cadre de la transition énergétique et plus particulièrement celui de la maîtrise de la demande d'énergie (Loi relative à la transition énergétique de 2015). Celle-ci s'impose pour trois raisons principalement.

Tout d'abord, l'objectif est de réduire l'empreinte environnementale du secteur résidentiel. En diminuant les consommations énergétiques, cela permet au secteur de s'affranchir d'une partie de la production d'énergies fossiles lourdement émettrices de gaz à effets de serre. De manière

similaire, la maîtrise de la demande d'énergie permet de favoriser les énergies renouvelables par une demande plus facilement recouvrable par l'offre verte, et cette réduction de la demande est d'autant plus importante que ces énergies sont le plus souvent intermittentes.

Le second objectif de la maîtrise de la demande d'énergie est d'ordre sécuritaire. La question de l'indépendance énergétique est un enjeu majeur et notamment sur les questions d'approvisionnement, que ce soit à travers l'import d'énergie fossile, d'uranium ou encore de terres rares.

Le troisième objectif est la lutte contre la précarité énergétique. Dans le cadre de la loi sur la transition énergétique de 2015, le 5<sup>ème</sup> pilier fondateur est de « garantir la cohésion sociale et territoriale en assurant l'accès de tous à l'énergie » et le 6<sup>ème</sup> est la « lutte contre la précarité énergétique ». De nombreux ménages font face aujourd'hui à de nombreuses difficultés pour payer leurs factures d'énergie. La volatilité des prix de l'énergie et la probable croissance des coûts de l'énergie à moyen et long termes risquent d'aggraver la situation de ces ménages dans le futur.

Dans le secteur résidentiel, il est possible d'agir sur deux canaux différents pour maîtriser la demande d'énergie. Le premier canal d'action porte sur les comportements de consommations des ménages via une politique d'information. Cette dernière préconise le plus souvent les comportements à adopter afin de réduire les consommations d'énergie et ainsi l'emprunte environnementale. Pour que l'approche comportementale porte ses fruits, cela implique une démarche volontaire des ménages. De plus, il faut une constance des comportements, difficile à tenir dans le temps. Finalement, les consommations énergétiques sont relativement peu influencées par les comportements de consommations des individus (Santin *et al.*, 2009 ; Abrahamse et Steg, 2009).

L'autre canal d'action de la maîtrise de la demande d'énergie, que l'on pourrait qualifier de « structurel », cherche à modifier les contraintes techniques dans lesquelles les ménages consomment de l'énergie. Le premier levier a été la réglementation sur les équipements consommateurs d'énergies (ampoules, électroménager, radiateurs...). Le second levier est la constitution d'un parc immobilier « vert », c'est-à-dire des logements ayant une très bonne performance énergétique.

Ainsi l'enjeu primordial concerne la massification des logements verts : faisant suite au plan de rénovation énergétique de l'habitat de 2013 et à la loi sur la transition énergétique de 2015, l'objectif est que, chaque année, 500 000 logements anciens soient rénovés. L'acquisition d'un tel logement pour un ménage passe par la construction neuve ou la rénovation énergétique. Pour la construction neuve, les différentes réglementations thermiques depuis 1974 révisent à la hausse les standards d'efficacité énergétique. Bien que ces mesures permettent d'amener sur le marché immobilier de nombreux logements ayant une très bonne qualité énergétique, la construction neuve reste cependant largement insuffisante pour atteindre une réduction effective des consommations d'énergie du secteur résidentiel. En effet, chaque année la construction neuve représente seulement 1,1% du parc immobilier (Insee, 2017). C'est pourquoi dans le cadre de la maîtrise de la demande d'énergie, les politiques se sont focalisées sur la rénovation énergétique.

Le but est alors d'arriver à une rénovation massive des logements en France. Avec un objectif annoncé de 500 000 logements rénovés par an à partir de 2017, cela doit permettre d'atteindre

une réduction des consommations énergétiques de 38% des bâtiments construits à l'horizon 2020, selon la loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement. L'enjeu est de taille et l'objectif ambitieux. La question centrale est donc la promotion efficace de la rénovation énergétique et une effectivité des réductions des consommations d'énergie.

Le cœur de la thèse est de comprendre comment inciter les ménages à vivre dans un logement économe, que ce soit par la rénovation énergétique ou par la construction. Nous présentons maintenant les concepts mobilisés dans le cadre de la thèse ainsi que les enjeux associés à la maîtrise de la demande d'énergie.

## 2. Concept et enjeux

### 2.1. Efficacité énergétique et services énergétiques

L'efficacité énergétique est un élément transversal à l'ensemble de la thèse. L'efficacité énergétique est indissociable de la notion de services énergétiques et plus précisément des modes de production et de consommation de ces derniers qui seront au cœur du Chapitre 1 de la thèse.

Comme nous l'avons évoqué ci-dessus, la maîtrise de la demande d'énergie nécessite une amélioration de l'efficacité énergétique des logements. Dans le cadre de la thèse, nous concentrons notre attention sur le Diagnostic de Performance Energétique (DPE) qui synthétise les informations sur la performance énergétique d'un logement (voir annexe A).

L'efficacité énergétique d'un logement ne peut être comprise qu'au regard de la notion des services énergétiques car l'énergie n'est pas consommée pour elle-même mais pour les services qu'elle fournit. L'énergie n'est en réalité qu'un intrant pour produire des services énergétiques. De fait, la demande d'énergie est une demande dérivée des demandes de services énergétiques (Trotta, 2018 ; Filippini et Hunt, 2012).

Dans le cadre résidentiel, les services énergétiques des ménages sont nombreux (Haas *et al.*, 2008 ; Sovacool, 2011) : la régulation de la température (chauffage, climatisation), l'éclairage, les loisirs (télévision, radio), la cuisine, eau chaude sanitaire... La production de ces services énergétiques se fait avec de l'énergie et du capital : logement, isolation, équipements, électroménagers... Cela se traduit par une combinaison entre l'énergie consommée et les caractéristiques, au sens large, des logements.

Finalement, on peut définir l'efficacité énergétique comme le rapport entre la quantité d'énergie utilisée et la quantité de services énergétiques produite. L'amélioration de l'efficacité énergétique passe par une amélioration des technologies transformant l'énergie en services énergétiques.

Et dans le cadre de la thèse, nous appellerons *technologie de consommation* les conditions dans laquelle les ménages consomment les services énergétiques. Ainsi la technologie de consommation regroupe des éléments techniques tels que la performance énergétique, les équipements

électroménagers ou encore les sources d'énergie. Ces éléments sont intégrés dès le Chapitre 1 de la thèse, en faisant appel au cadre appelé *household production theory*.

## **2.2. La valeur verte**

Les deuxième et troisième chapitres de la thèse s'intéressent à la valeur verte. La valeur verte correspond à la valeur supplémentaire d'un bien immobilier lié à ses performances énergétiques (Cerqual, 2011 ; Chotard *et al.*, 2011). Il s'agit d'un outil intéressant pour promouvoir la construction neuve et la rénovation énergétique. Nous présentons ici la théorie de la valeur verte, son rôle dans la maîtrise de la demande d'énergie du secteur résidentiel et les labels énergétiques existants.

### **2.2.1. Approche économique de la valeur verte**

La performance énergétique d'un bien immobilier est valorisée par le marché : il s'agit de la valeur verte. Cette valorisation est en fait la réalisation monétaire de plusieurs phénomènes. La valeur verte est en premier lieu le résultat de la capitalisation des économies d'énergies futures. En effet, comme la consommation théorique d'un logement vert est plus faible, la différence future de consommation avec un logement plus énergivore va être capitalisée en partie dans son prix.

Cependant, un logement économe en énergie offre d'autres nombreux avantages. La vacance des logements ayant une bonne performance énergétique est réduite (Chotard *et al.*, 2011). Un logement rénové est aussi gage d'une meilleure qualité de vie, avec par exemple un meilleur confort thermique permis par une meilleure isolation du logement (Dwaikat et Ali, 2016). Concernant le secteur tertiaire, la valorisation verte peut avoir pour origine une amélioration de la productivité, une baisse du turn-over et de l'absentéisme lié à l'amélioration des conditions de travail (Fuerst et McAllister, 2011 ; Eichholtz *et al.*, 2010). Enfin, l'image de l'entreprise est valorisée lorsqu'elle effectue des actions en faveur de l'environnement (Eichholtz *et al.*, 2010).

Une dernière source importante et souvent sous-estimée est le fait que la rénovation énergétique ralentit la dépréciation du capital immobilier. Un logement rénové évite une décote liée à l'obsolescence du capital. Cette décote évitée sera d'autant plus grande que les prix de l'énergie augmentent et que les logements verts deviennent la norme sur le marché immobilier. On peut s'attendre à ce qu'au fur et à mesure que les logements verts sont plus nombreux, les logements anciens et énergivores subissent une violente décote. Ainsi, la valeur verte combine une plus-value immobilière et la valeur d'une décote future évitée.

Les sources de la valeur verte sont donc multiples et dépassent la capitalisation des économies d'énergies. Cela peut donner lieu à plusieurs forces d'incitations à investir dans la valeur verte. La valeur verte est un retour sur investissement ne nécessitant pas de vivre dans le logement pour pouvoir jouir des fruits de l'investissement. La valeur verte permet en quelque sorte de sécuriser les investissements d'efficacité énergétique du secteur immobilier.

La reconnaissance de cette valeur verte peut être un levier financier important si elle est prise en compte par les banques et les assurances (Chotard *et al.*, 2011). Effectivement, si les banques intègrent la valeur verte, elles pourraient favoriser ce type d'investissement immobilier et donner un accès privilégié aux ménages accédant à un logement vert. De même, les assurances pourraient prendre en compte la diminution du risque d'obsolescence des biens verts dans leurs calculs du risque.

Pour ces différentes raisons, la valeur verte est un élément clé pour stimuler et développer le secteur de l'immobilier vert.

### **2.2.2. Conditions d'émergence de la valeur verte**

Pour que la valeur verte se développe sur le marché immobilier, il y a deux conditions d'émergence théoriques (Chotard *et al.*, 2011). La première est le nécessaire équilibre entre l'offre et la demande sur le marché immobilier, afin que les prix révèlent pleinement les caractéristiques des logements. En effet, la valeur verte ne peut émerger que si les prix discriminent correctement les logements selon leurs qualités énergétiques. La tension du marché joue ainsi un rôle clé dans la formation de la valeur verte. Si le marché immobilier est trop tendu, c'est-à-dire avec une offre largement insuffisante pour couvrir la demande, alors tous les logements seront au prix fort, même les logements les plus énérgivores. Dans ce cas-là, il ne s'agit pas pour les ménages d'avoir un logement avec des caractéristiques précises, mais juste d'avoir un logement. Au contraire si le marché immobilier présente une demande insuffisante par rapport à l'offre, les logements verts ne pourront se vendre plus cher sous peine de ne trouver acquéreur et devront donc être soldés.

La seconde condition d'émergence de la valeur verte est la nécessaire connaissance de l'efficacité énergétique des logements par les acteurs du marché. L'information sur la performance énergétique d'un logement doit être connue pour que cette dernière soit valorisée par le marché. Or, comme nous l'avons souligné, la performance énergétique d'un logement est un élément complexe avec de multiples facettes. Cette problématique explique le développement des labels synthétisant l'information sur la performance énergétique des logements.

### **2.2.3. La labellisation énergétique des logements**

En France, c'est le Diagnostic de Performance Energétique (DPE) qui est le plus connu par les acteurs. Introduit en 2006, il est devenu obligatoire de l'afficher lors de transactions immobilières depuis 2010. Le diagnostic se compose de deux échelles (voir annexe A). Tout d'abord, une échelle de performance énergétique, avec des classes allant de A (logement très performant) à G (énérgivore). L'étiquette de performance énergétique mesure la consommation d'énergie théorique par mètre carré. La deuxième échelle donne une estimation des émissions de gaz à effet de serre en volume par mètre carré. Cette estimation est basée sur l'estimation des consommations d'énergies avec un facteur de transformation dépendant des sources d'énergies

du logement. Son caractère secondaire fait que cette échelle est utilisée rarement pour mesurer la qualité environnementale d'un logement.

La France a vu se développer également d'autres labels témoignant de la performance énergétique des logements. Il y a les BBC (Bâtiment Basse Consommation), le label HQE (Haute Performance Énergétique), Minergie, Effinergie... Cependant ces labels sont secondaires sur le marché : ils ne sont pas obligatoires et certains d'entre eux sont devenus des normes, comme le BBC dans le cadre de la Réglementation Thermique 2012.

Dans le reste du monde, les labels se sont auparavant développés dans les années 1990 aux États-Unis (Leed/ Energy Star) et en priorité pour le secteur tertiaire. La certification s'est imposée en Europe avec sa version uniformisée *Energy Performance Certificate* dont le DPE en est la déclinaison Française. Finalement les années 2010 ont vu l'émergence des labels en Asie.

On constate que les différents labels dans le monde ne sont pas uniformes, que ce soit dans leurs simples présentations (classes multiples, grilles, système d'étoiles, score) ou problème plus délicat dans leurs constructions (des critères différents ou un score d'efficacité énergétique calculé d'une manière spécifique). Certains labels sont aussi obligatoires comme dans le cadre Européen, alors que d'autres répondent d'une démarche volontaire des propriétaires immobiliers. Cette pluralité rend délicate l'évaluation de la performance des labels énergétiques et appelle la communauté scientifique à analyser chacun des labels. À développer des analyses à ce sujet. La meta-analyse réalisée dans le Chapitre 2 répond à cet enjeu.

### **2.3. Enjeux**

La maîtrise de la demande d'énergie est sujette à trois enjeux que nous développons ici.

#### **2.3.1. L'effet rebond**

L'augmentation de la productivité des services énergétiques s'accompagne le plus souvent de l'effet rebond, aussi nommé paradoxe de Jevons (1865). L'effet rebond, théorisé par Sorrell et Dimitropoulos (2008), est la différence observée entre les consommations théoriques et effectives des ménages suite à une amélioration de la performance énergétique de leur logement.

Comme indiqué précédemment (cf. infra 2.1), améliorer l'efficacité énergétique d'un logement revient à améliorer la productivité du système de production des services énergétiques, ce qui correspond à un effet revenu pour le ménage. En effet, ce dernier a besoin de moins de ressources énergétiques pour consommer un même niveau de services énergétiques. Cet effet revenu se traduit tout d'abord par une augmentation directe de la consommation des services énergétiques. Par exemple, Galvin (2014) observe que l'effet rebond pour les pays d'Europe de l'Est est plus fort (entre 50 et 100%) que pour le reste de l'Europe (moins de 50%) ; ce qu'il attribue à une amélioration du confort thermique plus importante pour ces pays.

A cet effet rebond que l'on peut qualifier de direct, il y a l'effet rebond indirect qui est le résultat d'une augmentation de la demande pour d'autres biens et services (Chtinis *et al.*, 2013) du fait des moyens dégagés suite à une amélioration de la performance énergétique. Or ces derniers nécessitent la plupart du temps des intrants énergétiques pour être produits ou utilisés. Si on pense plus particulièrement aux transports, tous les autres biens et services sont également concernés.

En définitive, l'effet rebond est la conséquence d'un changement de comportement de consommation de la part des ménages suite à une amélioration de la performance énergétique de leur logement (Chitnis *et al.*, 2013). Les ménages vont consommer plus de services énergétiques ou consommer plus d'autres produits.

Limiter l'effet rebond est un enjeu majeur pour réduire les consommations d'énergie du secteur résidentiel. Il réduit l'efficacité des rénovations énergétiques, ce qui implique de réaliser des efforts supplémentaires pour maîtriser la demande d'énergie. Si l'effet rebond direct a fait l'objet de nombreuses études (Greening *et al.*, 2000), l'effet rebond indirect reste en retrait, notamment par la difficulté à le mesurer (Freire-González, 2017) et à comprendre l'ensemble des effets interactifs dans l'ensemble de l'économie (Van den Bergh, 2011).

Dans le cadre de la thèse, nous nous intéressons au lien potentiel entre l'énergie consommée pour les services énergétiques et pour le transport. Le lien entre ces deux consommations énergétiques est le choix de localisation. En effet, ce dernier détermine à la fois les consommations d'énergie pour le transport et pour les services énergétiques. Les choix de localisation résidentielle sont donc un enjeu de la maîtrise de la demande d'énergie.

### **2.3.2. Choix de localisation et consommation d'énergie**

Les choix de localisation sont un enjeu important pour la maîtrise de la demande d'énergie du secteur résidentiel. La littérature a tout d'abord montré que les consommations pour le transport dépendent des formes urbaines (Newman et Kenworthy, 1989 ; Brownstone et Golob, 2009). Si le lien entre les formes urbaines et les consommations d'énergie pour le transport est bien établi dans la littérature, le lien avec les consommations d'énergie du secteur résidentiel est en retrait (Lampin, 2013). Ce lien peut s'expliquer par trois phénomènes (Ewing et Rong, 2008).

Choisir une localisation revient tout d'abord à choisir un logement ayant des caractéristiques qui vont influencer les consommations d'énergie (taille du logement, isolation, type de logement, âge du bâtiment...). Aussi, la localisation du logement va également déterminer les sources d'énergie auxquelles le ménage a accès (gaz de ville, réseau de chaleur urbain, fioul domestique...). Or les énergies ont des propriétés différentes en termes de rendement et d'émissions de gaz à effet de serre (Lampin, 2013). Finalement, la localisation du logement va influencer la consommation d'énergie du ménage via le phénomène d'îlot de chaleur urbain. La densité urbaine influence les températures locales modifiant les besoins énergétiques des logements.

Au regard de ces éléments, la localisation des logements est un enjeu clé pour les consommations d'énergie des ménages. Par conséquent, il doit être pris en compte pour assurer la maîtrise de la demande d'énergie du secteur résidentiel et du transport.

### 2.3.3. La précarité énergétique

Un dernier enjeu important dans le cadre de la maîtrise de la demande d'énergie est la précarité énergétique. Selon sa définition restrictive, c'est-à-dire un ménage consommant plus de 10% de son revenu en énergie, il y a en France 2.8 millions de ménages en situation de précarité énergétique (ONPE<sup>2</sup>, 2016). Cette définition est critiquée pour ses lacunes à identifier les ménages qui souffrent du froid ou les ménages limitant leur consommation d'énergie à cause de difficultés financières (Hills, 2011 ; Legendre et Ricci, 2015 ; Charlier *et al.*, 2015). Une seconde définition, incluant notamment les ménages éprouvant des difficultés à se chauffer, permet d'identifier 5,1 millions de ménages en situation de précarité énergétique (ONPE, 2016).

Un axe possible pour réduire les consommations d'énergie des ménages est l'augmentation des prix de l'énergie. Or une telle éventualité aggraverait la situation des ménages vulnérables. A l'opposé, rénover les logements appartenant aux ménages modestes permet de lutter contre la précarité énergétique.

Cependant, la précarité énergétique présente deux difficultés pour la maîtrise de la demande d'énergie. Premièrement, la valeur verte surenchérit les logements économes en énergie, excluant l'acquisition de ces derniers par les ménages aux revenus modestes. De même, le coût élevé des travaux de rénovation énergétique, 25 410 euros en moyenne en 2014 selon l'Ademe (OPEN, 2015), empêchent les ménages aux revenus modestes de rénover leur logement.

Ainsi il apparaît que la maîtrise de la demande d'énergie exclut les ménages les plus modestes du marché immobilier vert.

Le risque supplémentaire pour ces ménages est l'enfermement dans la précarité. En effet, la présence de nombreux logements verts sur le marché immobilier, et ainsi de l'évolution des normes énergétiques vers plus de performance énergétique, peut entraîner une décote forte des logements énergivores. Or, cette dévalorisation immobilière peut conduire à un phénomène de « *spatial lock-in* » (Chan, 2001). Ce phénomène, que l'on pourrait traduire par « enfermement spatial », arrive lorsque le logement d'un ménage connaît une forte dévalorisation, empêchant le ménage de changer de logement sans perdre de l'argent.

Le second enjeu concerne l'effet rebond qui se retrouve renforcé pour les rénovations énergétiques de logements appartenant aux ménages les plus modestes. En effet, ces derniers en raison de difficultés financières limitent leurs consommations d'énergie, phénomène que l'on peut qualifier d'effet « prébond » (Sunikka-Blank et Galvin, 2012). Par exemple, les ménages en situation de précarité énergétiques peuvent ne pas se chauffer suffisamment. Dès lors que ces ménages améliorent l'efficacité énergétique de leur logement, ils ne se privent plus pour

---

<sup>2</sup> ONPE - Observatoire National de la Précarité Energétique

consommer pleinement les services énergétiques nécessaires et ainsi l'effet rebond en est d'autant plus grand.

Dans la thèse, la précarité énergétique n'est pas à proprement parlé, traitée de manière directe. Elle est abordée à travers les caractéristiques des ménages et leur choix de localisation résidentielle incluant la possibilité d'acquérir un logement plus performant énergétiquement.

Pour répondre aux différents enjeux de la maîtrise de la demande d'énergie que nous venons de présenter, nous étudions l'impact des choix de localisation des ménages sur les consommations d'énergie. Nous analysons également dans quelle mesure la valeur verte peut servir d'outil pour maîtriser la demande d'énergie du secteur résidentiel.

### **3. Promouvoir la valeur verte pour réduire les consommations d'énergie**

Nous présentons maintenant les travaux réalisés dans la thèse, chapitre par chapitre, pour répondre à la problématique de la maîtrise de la demande d'énergie du secteur résidentiel. Pour chaque chapitre, nous présentons les enjeux, la méthodologie employée et les principaux résultats.

#### **3.1. Chapitre 1 : Energy management: interactions between choice of location, energy services and transport**

Afin de maîtriser la demande d'énergie du secteur résidentiel, il est important de comprendre l'entière des déterminants de la consommation d'énergie. Or, comme nous l'avons vu dans la section précédente, les choix de localisation des ménages impliquent une consommation d'énergie pour le transport et pour consommer des services énergétiques (Lampin, 2013 ; Ewing et Rong, 2008). En effet, le choix d'un logement implique un ensemble de contraintes et de besoins de consommation d'énergie : l'efficacité énergétique du logement, l'utilisation d'équipements électroménagers et l'accès à des sources d'énergies. Les conséquences des choix de localisation en matière de consommations d'énergie ont jusqu'à présent été peu étudiés (Lampin, 2013). Or les interactions possibles entre le choix de localisation et les consommations d'énergie peuvent affecter l'efficacité et l'équité d'une politique visant à réduire les consommations d'énergie (cf. 2.2 et 2.3)

Afin de répondre à cette problématique, nous développons dans un premier temps un modèle théorique de choix de localisation résidentiel des ménages incorporant les consommations énergétiques. Dans la seconde partie de ce premier chapitre, nous réalisons une étude empirique pour analyser les déterminants de la consommation d'énergie des ménages.

### *Modélisation des choix de localisation et de consommations énergétiques des ménages*

Nous développons un modèle de microéconomie urbaine de choix de localisation résidentiel des ménages qui s'appuie sur deux pans théoriques. Tout d'abord nous considérons un modèle monocentrique de la ville selon lequel les ménages choisissent une localisation autour du centre-ville où se concentrent la totalité des emplois (Muth, 1969 ; Mills, 1967). Cette modélisation permet de rendre compte du choix de localisation des ménages comme le résultat d'un arbitrage entre coût de transport et coût du logement.

Notre modèle théorique introduit les consommations d'énergie du ménage grâce à la théorie de la production des ménages (Becker, 1965 ; Lancaster, 1966). Les ménages consomment de l'énergie et du capital (foncier et équipements) pour produire des services énergétiques. En introduisant ainsi les consommations d'énergie dans le modèle de microéconomie urbaine du choix de localisation résidentiel, nous transformons le coût du logement par un coût de la résidentialité : outre le coût du logement, les ménages doivent également supporter les coûts énergétiques.

Ce modèle théorique montre que les choix de localisation des ménages sont alors le fruit d'un arbitrage entre coût de transport et coût résidentiel dans lequel la localisation du ménage va conditionner sa consommation de services énergétiques et par conséquent sa demande d'énergie. En retour, son choix de localisation va dépendre de ses besoins de services énergétiques et des contraintes qu'il a pour les produire.

Une première conséquence est que les choix de localisations possibles du ménage sont réduits car l'énergie est une contrainte supplémentaire. A l'équilibre, la taille de la ville est plus petite qu'en l'absence de prise en compte de la consommation de services énergétiques. Ensuite, la densité de la ville (la forme urbaine), qui est le résultat d'une agrégation des choix de localisation des ménages, dépend du prix de l'énergie et de la performance énergétique des logements : plus l'énergie est chère et plus les logements ont une bonne performance énergétique, plus la ville est compacte.

Afin d'approfondir l'analyse et de confirmer ces résultats, nous procédons à une analyse empirique des déterminants de la consommation énergétique des ménages.

### *Méthodes et données*

Afin d'étudier les déterminants des consommations d'énergie du ménage, nous développons une approche économétrique « *bottom-up* ». Pour cela, nous avons extrait de la base données *Phébus*<sup>3</sup>, un échantillon de 5405 ménages pour l'année 2012. Nous avons deux variables expliquées que sont les consommations et les dépenses d'énergie des ménages.

En variables explicatives, nous avons tout d'abord les caractéristiques du logement (certificat DPE, nombre de pièces, localisation), et du ménage (revenu, classe sociale, enfants,..). Nous avons également des variables caractérisant les technologies de consommation des services

---

<sup>3</sup> Phébus signifie Performance de l'Habitat, Équipements, Besoins et USages de l'énergie. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/enquete-performance-de-lhabitat-equipements-besoins-et-usages-de-lenergie-phebus>

énergétiques (nombre d'équipement électroménagers, sources d'énergie...) et les comportements de consommations des ménages (préférences pour le confort, présence dans le logement). Finalement, nous avons les dépenses d'énergie en transport des ménages.

Nous estimons les consommations et les dépenses d'énergie des ménages par les MCO et par des régressions quantiles. Ces dernières offrent l'avantage de pouvoir analyser les déterminants pour l'ensemble de la distribution des consommations d'énergie.

### *Résultats*

Les principaux déterminants de la consommation énergétique des ménages est l'efficacité énergétique du logement et les caractéristiques du ménage, notamment le revenu et la présence d'enfants dans le ménage. D'ailleurs, les régressions quantiles nous permettent d'observer que l'effet du revenu est plus important pour les premiers quantiles alors que c'est la qualité énergétique du logement qui domine pour les derniers quantiles.

Nous trouvons également que la localisation du logement et la technologie de consommation des services énergétiques impactent la demande d'énergie du ménage. Ceci confirme le premier résultat de notre modèle théorique.

Nous observons également l'existence d'un effet rebond indirect entre les consommations d'énergie pour le transport et pour les services domestiques. En effet, nous trouvons une élasticité de substitution de l'ordre de 1.4% entre ces deux consommations énergétiques. Cet élément confirme l'importance de considérer les choix de localisation pour la maîtrise de la demande d'énergie.

Ce premier chapitre permet de pointer l'importance d'améliorer l'efficacité énergétique des logements pour réduire la demande d'énergie du secteur résidentiel. La valeur verte est un outil majeur pouvant permettre d'atteindre cet objectif en favorisant les rénovations énergétiques et la construction neuve. C'est pourquoi la question de la valeur verte est au cœur des deux chapitres suivants.

### **3.2. Chapitre 2: Does the literature support a high willingness to pay for green label buildings? An answer with treatment of publication bias**

*Ce chapitre a fait l'objet d'une publication dans la Revue d'Economie Politique. Il a été réalisé en collaboration avec Florian Fizaine et Catherine Baumont.*

La valeur verte est un outil incitatif pouvant favoriser l'amélioration de l'efficacité énergétique du parc immobilier. Pour que la valeur verte puisse jouer un rôle incitatif, il est nécessaire qu'elle soit suffisamment importante. Or, nous avons vu que la valeur verte possède des conditions d'émergence (cf. 2) qui pourraient empêcher son développement sur le marché immobilier. C'est pourquoi nous nous interrogeons dans ce chapitre sur l'existence de la valeur verte telle qu'elle a

été étudiée dans la littérature scientifique. Nous nous intéressons également aux facteurs pouvant accroître ou diminuer la valeur verte.

Pour répondre à ces interrogations, nous réalisons une méta-analyse de la valeur verte. La méta-analyse est « l'analyse des analyses » (Borenstein *et al.*, 2009 ; Glass, 1976). En d'autres termes, il s'agit d'une revue méthodique de la littérature pour laquelle sont récupérées les données clés des études : la taille d'un effet estimé (effect size) et les conditions dans laquelle les études ont été réalisées (échantillon, méthode,..). Une fois ces données récoltées, les résultats de la littérature sont analysés à l'aide d'outils statistiques.

La méta-analyse présente de nombreux avantages par rapport à une synthèse de la littérature. En effet, par la rigueur scientifique imposée par la méthode, la méta-analyse est transparente, tend à l'objectivité, et elle est répliquable (Stanley, 2005). La méta-analyse permet aussi d'étudier et d'expliquer la variabilité des résultats trouvée dans les articles, et ce notamment par des variables au-delà du cadre des études (par exemple l'influence géographique ou historique). Finalement, la méta-analyse offre l'opportunité d'étudier la présence de biais de publication dans la littérature.

#### *Méthodologie de la méta-analyse*

Nous conduisons une méta-analyse de la valeur verte des secteurs résidentiel et tertiaire. Pour cela, nous avons recherché un grand ensemble d'articles scientifiques ayant estimé la valeur verte immobilière par la méthode des prix hédoniques. Nous avons sélectionné la littérature, publiée ou non, parue après 2000, et écrite en Anglais ou Français. A l'issue de la sélection, nous avons récoltés des informations sur 54 articles.

Pour chacun de ces articles, nous avons récolté les valeurs estimées de la valeur verte ainsi que les écarts-types, ce qui nous permet de traiter la question du biais de publication. Nous avons également prélevé les caractéristiques de l'étude (nombre d'auteurs, année de publication...), du label énergétique (obligatoire, ancienneté...), et de l'échantillon (taille, année, pays...). Nous avons finalement extrait des informations sur la méthodologie employée (estimateur, traitements statistiques, variables explicatives...). Avec l'ensemble de ces modérateurs, nous estimons la valeur verte trouvée dans la littérature et nous expliquons la variabilité des résultats.

#### *Résultats de la méta-analyse*

Nous trouvons que la valeur verte existe et qu'elle est en moyenne de 8%. Cependant, nous observons l'existence d'un biais de publication entraînant une surestimation de la valeur verte : une fois ce biais corrigé, la valeur verte n'est plus que de 4% en moyenne.

Une grande partie de l'hétérogénéité des résultats est expliquée par la zone géographique de l'étude, que l'on pense être en partie imputable au contexte de régulation du label (obligatoire ou volontaire) et au contexte socio-économique du pays. Ainsi, la valeur verte est plus forte pour l'Europe et pour le secteur tertiaire.

La variabilité de la valeur verte s'explique aussi par l'inclusion de variables spatiales et de variables décrivant les aménités. Nous trouvons également que la valeur verte a tendance à baisser dans le temps et, a priori, cela pourrait s'expliquer par un marché immobilier morose depuis la crise des *subprimes* de 2008.

Ainsi, nous montrons dans ce chapitre que la valeur verte existe et que certaines conditions favorisent son émergence. Cependant, nous trouvons également que la valeur verte du secteur résidentiel est plus faible. Les études de la valeur verte sur le marché résidentiel en France sont peu nombreuses et dans notre thèse nous apportons une contribution à cette littérature dans le Chapitre 3.

### **3.3. Chapitre 3: Hedonic estimation of the green value of residential housing**

Pour le secteur résidentiel, la valeur verte permet de favoriser la construction neuve et la rénovation de logements. En effet, la valeur verte permet de capitaliser sur les investissements réalisés pour améliorer la performance énergétique d'un logement. Pour que la valeur verte se développe, il est cependant nécessaire que cette dernière soit reconnue sur le marché immobilier.

Nous nous demandons dans ce chapitre si la valeur verte est reconnue par les acteurs du marché immobilier. Nous nous intéressons également au processus de formation des prix immobiliers et de diffusion spatiale de la valeur immobilière qui pourraient jouer un rôle dans la diffusion de la valeur verte. Pour répondre à ces interrogations, nous estimons la valeur verte dans un modèle de prix hédoniques du secteur résidentiel, sur l'aire urbaine de Dijon.

#### *Méthode et données*

La méthode hédonique, originellement théorisée par Rosen (1974), est une méthode qui décompose les prix selon les caractéristiques des logements. Ainsi, cette méthode attribue un prix à chaque caractéristique. Cette méthode nous permet ainsi d'identifier la valeur associée aux caractéristiques vertes du logement. Pour notre modèle, nous considérons que l'étiquette énergétique du logement synthétise les informations sur la performance énergétique du logement.

La littérature en économétrie spatiale a très vite et très largement documenté le fait que les marchés immobiliers sont marqués par une forte autocorrélation spatiale des prix ainsi que par l'hétérogénéité spatiale des attributs (cf. pour une revue de la littérature, Baumont, 2009). Ne pas prendre en compte la dépendance spatiale peut conduire à des estimations biaisées et à un estimateur inefficace. Grâce à l'introduction de matrices de pondérations spatiales, nous pouvons corriger ces biais et prendre en compte les interactions spatiales entre les ventes immobilières proches.

Pour estimer la valeur verte, nous disposons de données sur les transactions immobilières de 1082 maisons et 1423 appartements, vendus au cours des années 2013 et 2014 dans l'aire urbaine

de Dijon. Cet échantillon est extrait de la base de données de notaires Perval<sup>4</sup> et nous donne des informations sur les prix de transactions ainsi que les caractéristiques des logements.

Pour chaque observation, nous avons le montant de la transaction, qui est la variable dépendante de notre modèle. Notre variable d'intérêt est l'étiquette énergétique DPE qui synthétise la qualité énergétique du logement. En variables de contrôles, nous avons les caractéristiques des logements telles que la superficie, le nombre de salles de bain ou encore le nombre de pièces. Nous connaissons également la localisation précise du logement, ce qui nous permet de calculer les matrices d'interactions spatiales à partir des distances entre chaque logement. Cela nous permet également de construire des variables géographiques à l'aide des SIG (Système d'Information Géographique). Ainsi nous calculons la proximité des logements au centre-ville, aux gares et aux zones urbaines sensibles. Nous caractérisons également l'environnement proche des logements en termes d'aménités locales et de taux d'équipements de l'IRIS<sup>5</sup>.

### *Résultats*

Si nous n'observons pas d'effet significatif pour les lettres A et B, en raison d'une présence très faible dans l'échantillon, nous trouvons des effets significatifs pour les autres niveaux du DPE. Ainsi, toute chose égale par ailleurs, une maison ayant un DPE C a un prix de vente supérieur de 9.75% comparé à une maison ayant un DPE D. Les résultats montrent également une forte dévalorisation des logements les plus énergivores (DPE F et G). Par exemple, un appartement dont le DPE est G sera vendu 11.5 % moins cher qu'un appartement avec un DPE D. Cet écart est plus fort pour les maisons avec une dévalorisation immobilière de 30% pour les maisons ayant un DPE G.

Nous trouvons également que la localisation des logements joue un rôle clé dans la formation des prix immobiliers. D'une part, les variables caractérisant l'environnement local et l'accessibilité du logement impactent fortement la valeur immobilière. D'autre part, nous montrons l'existence d'un effet multiplicateur spatial qui impacte le prix des logements sur l'ensemble de l'aire urbaine. Le prix d'un bien immobilier dépend des prix des biens immobiliers aux alentours. Cela induit qu'une estimation par les Moindres Carrés Ordinaires conduit à une sous-estimation de la valeur verte.

Ce chapitre montre que la labellisation énergétique est valorisée par les ménages. La question est dorénavant celle de l'adéquation des politiques publiques pour favoriser l'adoption de logements économes par le plus grand nombre de ménages.

---

<sup>4</sup>La base de données Perval regroupe l'ensemble des transactions immobilières en France. Pour plus d'information : <https://www.perval.fr/>

<sup>5</sup> L'IRIS (Ilots Regroupés pour l'Information Statistique) est un découpage infra-communal de l'INSEE. Pour plus d'informations : <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1523>. L'IRIS peut être considéré comme le « quartier » dans lequel se situe le logement.

### 3.4. Chapitre conclusif: De la valeur verte à la maîtrise de la demande d'énergie : L'enjeu de l'accessibilité aux logements verts

Si les chapitres précédents permettent de montrer l'existence d'une valeur verte, ce n'est pas un instrument suffisant pour répondre aux enjeux de la massification des logements verts. Nous nous intéressons dans ce chapitre aux politiques d'incitations et d'aides à la rénovation énergétique. Nous nous intéressons aux dispositifs déployés pour lutter contre la précarité énergétique et pour favoriser les rénovations des logements énergivores : prêt à taux zéro, tva 5.5%, aide Anah, Crédit d'impôts transition énergétique(CITE), certificats d'efficacité énergétique (CEE) et chèque énergie...

Nous interrogeons la pertinence de ces politiques à double titre. Dans une première partie, il s'agit en quelque sorte de faire un bilan des résultats de la thèse par rapport à la pertinence de ces politiques. Dans une seconde partie, nous interrogeons la pertinence de ces politiques vis-à-vis des déterminants des choix résidentiels des ménages. Pour cela, nous conduisons une analyse empirique des choix résidentiels des ménages : nous modélisons la probabilité pour un ménage de vivre dans un logement économe ou énergivore. Pour chacun de ces travaux, nous discutons les implications en termes de politiques publiques.

#### *Méthode et données*

Nous estimons trois modèles probabilistes afin de comprendre les déterminants des choix résidentiels des ménages concernant la performance énergétique de leurs logements. Ces choix résidentiels sont la conséquence d'un choix de mobilité résidentiel (Debrand et Taffin, 2005) et d'un choix de rénovation du logement (Friege et Chappin, 2014). Le premier modèle mesure la probabilité de vivre dans un logement économe (étiquette DPE A B ou C) afin d'identifier les facteurs favorisant l'adoption de logements verts et les ménages les plus susceptibles d'accéder à ce type de logement. Le second modèle estime la probabilité de vivre dans un logement énergivore (DPE F ou G). L'objectif de ce modèle est d'identifier les facteurs aggravant le risque de vivre dans un logement énergivore et donc d'être davantage exposé à la précarité énergétique. Le dernier modèle estime la probabilité de vivre dans un logement avec une étiquette énergétique d'un cran supérieur. Ce dernier modèle cherche à identifier les facteurs qui expliquent les choix résidentiels en matière de performance énergétique pour l'ensemble de l'échelle DPE.

Les deux premiers modèles sont estimés à l'aide d'une régression logistique simple, le troisième modèle est estimé par une régression logistique ordonnée. Nous utilisons la base de données *Phébus* à partir de laquelle nous constituons un échantillon de 2345 ménages. Pour chacun de ces ménages, nous avons l'étiquette énergétique DPE du logement que nous utilisons pour construire les variables expliquées de nos trois modèles. En variables explicatives, nous avons les caractéristiques des ménages (l'âge, la taille du ménage, le nombre d'enfants), les caractéristiques socioéconomiques (revenu, classes socio-professionnelles...) et des variables caractérisant les besoins en logement du ménage (localisation, taille,...).

### *Résultats et conséquences pour les politiques publiques*

Nous trouvons que le revenu est le premier facteur influençant les choix résidentiels des ménages concernant la qualité énergétique de leur logement. Nous identifions également que les ménages localisés en milieu rural et dont la personne de référence est âgée ou au chômage, sont les ménages qui ont la plus grande probabilité de vivre dans un logement énergivore. Au contraire, la présence d'enfants dans le ménage et la taille du logement augmente la probabilité de vivre dans un logement économe.

Les estimations nous permettent de suggérer que les politiques d'aides à la rénovation énergétique devraient cibler en priorité les plus petits logements. Nous déduisons également l'importance de cibler les ménages précaires et pour cela de développer davantage des aides spécifiques à la rénovation énergétique et à la mobilité résidentielle afin de concilier la lutte contre la précarité énergétique et la maîtrise de la demande d'énergie. Le rôle majeur du revenu dans les choix résidentiels des ménages conduit finalement à suggérer le ciblage des politiques d'aides à la rénovation pour éviter les effets d'aubaines.

Dans la thèse, nous avons également identifié le rôle de la localisation du ménage comme déterminant des consommations d'énergie. Nous en déduisons que la localisation des logements devrait être prise en compte dans les dispositifs existants, que ce soit par un ciblage des logements à rénover ou des montants d'aides à allouer.

Pour conclure, la thèse s'inscrit dans le cadre de la transition énergétique et mobilise la microéconomie urbaine et des analyses économétriques variées afin de répondre aux enjeux imposés par la maîtrise de la demande d'énergie du secteur résidentiel. La thèse montre l'importance des choix de localisation pour la maîtrise de la demande d'énergie des ménages et met en exergue le rôle de la valeur verte pour favoriser le développement du parc immobilier vert.

## Bibliographie :

Abrahamse, W., Steg, L. (2009). How do socio-demographic and psychological factors relate to households' direct and indirect energy use and savings?. *Journal of Economic Psychology*, 30(5), 711-720.

Ademe (2013) Chiffres Clés du Bâtiment.

<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/chiffres-cles-batiment-edition-2013-8123.pdf>

Baumont, C. (2009). Spatial effects of urban public policies on housing values. *Papers in Regional Science*, 88(2), 301-326.

Becker, G. S. (1965). A Theory of the Allocation of Time. *The Economic Journal*, 493-517.

Borenstein M., Hedges L.V., Rothstein H.R. (2009), Introduction to Meta-Analysis. *Wiley*, Chichester, UK.

Brownstone, D., Golob, T. F. (2009). The impact of residential density on vehicle usage and energy consumption. *Journal of Urban Economics*, 65(1), 91-98.

CERQUAL (2011). Etude économique sur la valeur verte de l'immobilier de logements. Décembre 2011. 83 pages.

Chan, S. (2001). Spatial lock-in: Do falling house prices constrain residential mobility?. *Journal of Urban Economics*, 49(3), 567-586.

Charlier, D., Risch, A., Salmon, C. (2015). Les indicateurs de la précarité énergétique en France. *Revue française d'économie*, 30(4), 187-230.

Chitnis, M., Sorrell, S., Druckman, A., Firth, S. K., Jackson, T. (2013). Turning lights into flights: Estimating direct and indirect rebound effects for UK households. *Energy Policy*, 55, 234-250.

Chotard D., Million M., Berthon C., Laurenceau S., Giraudet L.G., (2011). Analyse préliminaire de la valeur verte pour les logements. *Ademe* .pp.261, hal-00799764.

Davis, L. W., Metcalf, G. E. (2016). Does better information lead to better choices? Evidence from energy-efficiency labels. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 3(3), 589-625.

Debrand, T., Taffin, C. (2005). Les facteurs structurels et conjoncturels de la mobilité résidentielle depuis 20 ans. *Economie et Statistique*, 381(1), 125-146.

Dwaikat L.N., Ali K.N. (2016). Green buildings cost premium: A review of empirical evidence. *Energy and Buildings* 110, 396–403.

Eichholtz, P., Kok, N., Quigley, J.M., 2010. Doing well by doing good? Green office buildings. *American Economic Review* 100, 2492–2509. doi:10.1257/aer.100.5.2492

- Ewing, R., Rong, F. (2008). The impact of urban form on US residential energy use. *Housing Policy Debate*, 19(1), 1-30.
- Filippini, M., Hunt, L. C. (2012). US residential energy demand and energy efficiency: A stochastic demand frontier approach. *Energy Economics*, 34(5), 1484-1491.
- Freire-González, J. (2017). A new way to estimate the direct and indirect rebound effect and other rebound indicators. *Energy*, 128, 394-402.
- Friege, J., Chappin, E. (2014). Modelling decisions on energy-efficient renovations: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 196-208.
- Fuerst, F., McAllister, P., 2011b. Green Noise or Green Value? Measuring the effects of environmental certification on office values. *Real Estate Economics* 39, 45–69. doi:10.1111/j.1540-6229.2010.00286.x
- Galvin, R. (2014). Estimating broad-brush rebound effects for household energy consumption in the EU 28 countries and Norway: some policy implications of Odyssee data. *Energy Policy*, 73, 323-332.
- Glass G.V. (1976). Primary, secondary, and meta-analysis of research. *Educational Researcher*, 5, 3–8.
- Greening, L. A., Greene, D. L., Difiglio, C. (2000). Energy efficiency and consumption—the rebound effect—a survey. *Energy Policy*, 28(6-7), 389-401.
- Haas, R., Nakicenovic, N., Ajanovic, A., Faber, T., Kranzl, L., Müller, A., Resch, G. (2008). Towards sustainability of energy systems: A primer on how to apply the concept of energy services to identify necessary trends and policies. *Energy Policy*, 36(11), 4012-4021.
- Hills, J. (2011). Fuel poverty: the problem and its measurement. *Centre for Analysis of Social Exclusion, LSE, 2011*.
- Insee (2017). Le parc de logements en France au 1<sup>er</sup> janvier 2017, Insee Focus n°103, 07/12/2017. Accessible sur : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3269496>.
- Jevons, WS (1865). The coal question. *London: Macmillan and Co.*
- Lampin, L. (2013). *Les déterminants spatiaux de la demande et de l'efficacité énergétiques*, Doctoral dissertation, Université Paris-Est.
- Lancaster, K. J. (1966). A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy*, 74(2), 132-157.
- Legendre, B., Ricci, O. (2015). Measuring fuel poverty in France: which households are the most fuel vulnerable?. *Energy Economics*, 49, 620-628.
- Mills, E. S. (1967). An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area. *The American Economic Review*, 57(2), 197-210.

- Muth, R. (1969). *Cities and Housing*. Chicago: University of Chicago Press.
- Newman, P. W., et Kenworthy, J. R. (1989). Gasoline consumption and cities: a comparison of US cities with a global survey. *Journal of the American Planning Association*, 55(1), 24-37.
- ONPE (2016). Analyse de la précarité énergétique à la lumière de l'Enquête Nationale Logement (ENL) 2013. *ADEME*.
- OPEN (2015). OPEN : Observatoire permanent de l'amélioration énergétique du logement. Campagne 2015. *ADEME*.
- Rosen, S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy*, 82(1), 34–55.
- Santin, O. G., Itard, L., Visscher, H. (2009). The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. *Energy and buildings*, 41(11), 1223-1232.
- Sorrell, S., Dimitropoulos, J. (2008). The rebound effect: microeconomic definitions, limitations and extensions. *Ecological Economics*, 65(3), 636-649.
- Sovacool, B. K. (2011). Conceptualizing urban household energy use: climbing the “energy services ladder”. *Energy Policy*, 39(3), 1659-1668.
- Stanley, T.D., 2005. Beyond publication bias. *Journal of Economic Surveys*. 19, 309–345.
- Sunikka-Blank, M., Galvin, R. (2012). Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption. *Building Research & Information*, 40(3), 260-273.
- Trotta, G. (2018). Factors affecting energy-saving behaviours and energy efficiency investments in British households. *Energy Policy*, 114, 529-539.
- UNEP (2016). Sustainable buildings and construction programme, accessed on December 2017 at: <http://web.unep.org/10yfp/programmes/sustainable-buildings-and-construction-programme>
- Van den Bergh, J. C. (2011). Energy conservation more effective with rebound policy. *Environmental and Resource Economics*, 48(1), 43-58.
- Van de Kaa, D. J. (2002). The idea of a second demographic transition in industrialized countries. *Birth*, 35, 45.

## Annexe A : Le Diagnostic de Performance Energétique

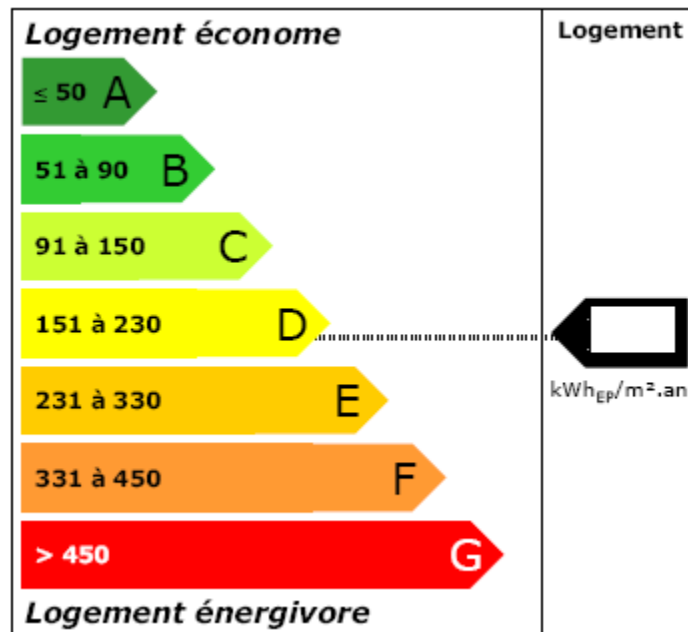


Figure 0.1 : DPE - Energie

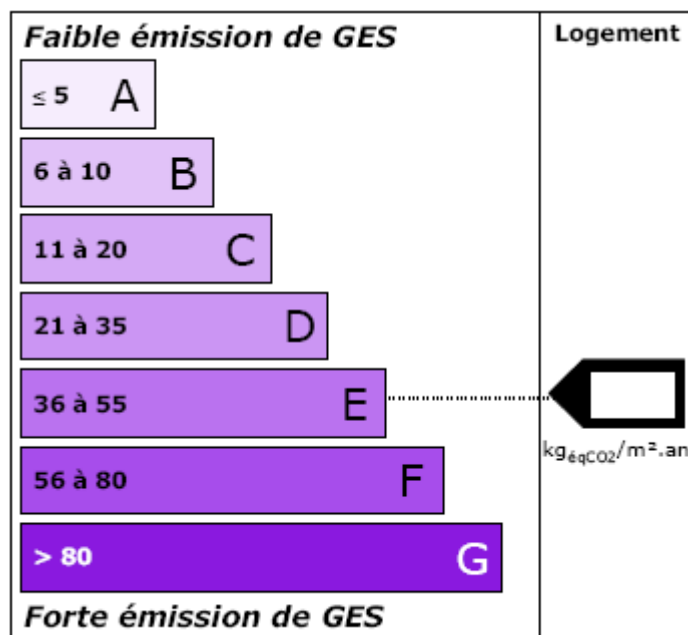


Figure 0.2 : DPE - Emissions

# 1. Chapitre 1: Energy management: interactions between the choice of location, energy services, and transport

## Sommaire du chapitre

1. Introduction.....	35
2. Literature review and motivations .....	36
2.1. Energy services and choice of location .....	37
2.2. Determinants of energy demand.....	38
3. Choice of location and energy consumption model .....	42
3.1. Theoretical framework.....	42
3.1.1. Household residential equilibrium in the monocentric city .....	43
3.1.2. Energy services and the household production theory.....	44
3.1.3. The household's optimization problem .....	45
3.2. Household spatial equilibrium and energy demand.....	46
4. Data and methods of estimation.....	55
4.1. Purpose of the empirical study .....	55
4.2. Sample and data .....	55
4.3. Estimation strategy .....	61
5. Results.....	62
5.1. OLS estimates of energy consumption and expenditures .....	62
5.2. Quantile regression.....	66
5.2.1. The case of energy consumption.....	66
5.2.2. The case of energy expenditures .....	69
5.3. Discussion and policy implications .....	71
6. Conclusion .....	72
Bibliography.....	73
Appendix 1.A: Graphic results for energy consumption .....	79
Appendix 1.B: Graphic results for energy expenditure .....	81



## 1.1 Introduction

In the context of the energy transition, while aiming at reducing carbon dioxide emissions and promoting alternative ways of producing energy, it appears to be important to manage the energy demand, and in particular the residential sector one. Indeed, the residential sector represented 25.4% of the final energy consumption in the European Union in 2015 (Eurostat, 2017), and this share has remained quite stable for the last two decades. Furthermore, the residential sector seems to offer great opportunities for energy savings (Filippini *et al.* 2014).

As widely accepted in the literature (Trotta, 2018; Fouquet, 2014; Filippini and Hunt, 2012), the demand for energy is “*a derived demand for the production of energy services*” (Blasch *et al.*, 2017). Energy services refer to a lot of services including heating, lightning, heating, or cooking. The energy services households consume are indeed produced by themselves using as inputs energy and capital (a dwelling and appliances). In France, two thirds of the energy consumed by households are for heating, 16% for electric appliances, 10% for hot-water-system, and 6% for cooking (Ademe, 2015).

In order to preserve the level of energy services produced while reducing energy consumption, one can improve the productivity of energy services. This is why we have seen the development of energy-efficiency labels both for appliances and buildings.

However, it is also important to consider households’ characteristics, since households have different ways to produce energy services, different needs and may respond differently to technological changes. For instance, in the case of an increase in energy prices, some households may reduce their production of energy services while others may invest in energy-efficiency. As pointed out by Blasch *et al.*, and co-authors (2017), understanding the role of behavior in energy efficiency is a key to achieve energy management.

The impacts of housing attributes and household characteristics on energy consumption have been studied by a wide literature (see among others, Swan and Ugursal, 2009). However, most of the papers do not take into account the spatial determinants of energy consumption (Lampin, 2013).

What kinds of spatial determinants can we think about?

- Literature has shown a strong existing link between *urban form* and energy consumption, both theoretically and empirically (Büchs and Schnepf, 2013; Ewing and Rong, 2008; Newman and Kenworthy, 1989; Lampin, 2013; Holden and Norland, 2005; Estiri, 2016). However, this literature was mainly focused on the link between urban density and the energy used for transportation (Lampin, 2013).
- Ewing and Rong (2008) showed that the energy consumption of a household is affected by its *location* in three ways. In fact, the type of energy used in a dwelling is highly correlated with its location. The location of the dwelling also affects its characteristics (size, insulation, age of the building...), which in return impacts the energy needed to obtain energy services. Finally, urban density also affects energy consumption in reason to variations in local temperature (urban heat island).

Gathering up these elements, we can say that, the location choice of a household will greatly determine the technology at his disposal to produce the energy services it consumes.

The consumption of energy services appears to be closely linked to the choice of location. This is why we want to further study the interaction between households' choice of location and energy consumption both for transportation and energy services.

How the choice of location affects the energy consumption for transportation and for energy services? In return, does the need for energy services have repercussions on urban density? Does a link between the energy consumed for transportation and for energy services exists? If so, the reduction of the energy consumed in one sector could lead to increased consumption in the other sector, and so mitigate the energy savings.

To answer these questions, we first develop a theoretical framework and then we estimate an energy demand function. Our theoretical model is an urban model of residential choice of location based on urban microeconomics. The choice of location is the result of a trade-off between the cost of transportation and the cost of land. In this model, we add households' energy consumption using the household production theory: households consume the energy services they produce using energy as an input. Our model combines energy consumption for transportation and for energy services, which allows us to analyze the impacts of energy price and energy demand on the price of land and on the spatial equilibrium.

Our theoretical results linked residential choice, transportation, and energy consumption and we further question these links with an empirical analysis. We estimate the energy consumption and energy expenditure of households using quantile regressions on a sample of 1344 households drawn from the French database *Pbébus*. This latter gives us information on the dwelling characteristics, the household composition, and on how households consume energy services.

We find that housing characteristics are the first determinant of energy consumption. However, the technology of producing energy services and household characteristics shape energy demand. Some variables, such as income, have varying effect according to the quantiles. Finally, we estimate an indirect rebound effect of 1.4% between energy consumption and energy consumed for transportation.

Our motivations and the general framework are presented in section II. The theoretical model is developed in section III. Section IV introduces the data and the methodology we use to empirically look at the relationship between energy consumption, the technology of production of energy services and transportation costs. Results of the regressions are discussed in section V and section VI concludes.

## **1.2 Literature review and motivations**

In this section, after introducing our motivations, we present the context of our theoretical model. Afterwards, we discuss energy demand literature.

### 1.2.1 Energy services and choice of location

In the context of energy management, we are interested in fully understanding the determinants of energy consumption. Literature has shown that the location of the dwelling impacts the energy demand of the household (Lampin, 2013; Ewing and Rong, 2008; Liu and Shen 2011) in three ways. First, urban density affects energy demand through urban heat island. Secondly, the size and type of dwelling are closely linked to urban density. Finally, the sources of energy at the disposal of households vary according to the location.

Choosing a location involves multiple costs for the household: a cost of transportation and an energy cost to consume energy services. The size of the dwelling will imply a quantity (number of appliances) and how energy services are produced. The quality of insulation, the type of dwelling (apartment *vs* detached house) will drive the amount of energy needed to cool or heat the dwelling.

Clearly, the potential interactions between the choice of location and energy demand are large and important. This is why we think energy policies should take into account the location of dwellings. We have identified two major issues that confirm this assertion.

The first one is the rebound effect originally called the *Jevon's paradox* or alternatively backfire effect. The rebound effect has been theorized by Sorrell and Dimitropoulos (2008) and is the gap between the actual and expected energy consumption following an increase in energy-efficiency. The rebound effect can be thought in terms of an income effect with households consuming more energy services as the efficiency to get them increase. This first definition is also known as the direct rebound effect.

However, as presented by Van den Bergh (2011), the rebound effect can concern whole economy by numerous canals, going from an increase in the consumption of energy services to a change in preferences for instance. Here we are interested in the “indirect” rebound effect on other sectors and more specifically on the transport sector. We suspect that as energy is saved to produce energy services, households will consume more other goods or services, and one of these could be transportation. If this indirect effect is observed, it would mean that energy management policies could be less efficient to reduce energy consumption.

The second issue comes from the global cost of living associated to the location choice. The global cost of living adds the energy needs for the dwelling and the energy needs for transportation and housing services. Since these costs are linked, the household may have to bear great difficulties if a rise in energy bills occurs. If one part of the global housing cost increase, it may affect the consumption of other dimensions. For example, if a household suffers from energy poverty and if the dwelling is located in the countryside, it could induce transportation poverty for these households. This example shows how cumulated difficulties could arise due to the link between energy and transport poverty.

In the perspective of energy management, these two elements show us the importance of understanding clearly the interactions between energy demand and the households' choice of location.

In order to answer to this problem, we first develop a residential choice of location model. Using a traditional urban economics framework that models the choice of location in a monocentric city, we include energy consumption via the household production theory. Our model allows us to find a spatial equilibrium and the demand for energy services.

### 1.2.2 Determinants of energy demand

We complement our theoretical analysis with an empirical analysis by estimating energy demand. There are two main approaches to estimate energy demand: bottom up using disaggregated data or top down using aggregated data. Top down models are common because of the availability of data and because they offer good results for prediction, in part due to the “inertia” present in this kind of model (Swan and Ugursal, 2009). However, this approach lacks to explore and identify individuals’ factors affecting energy consumption. This is why we chose to develop a bottom-up approach since it allows us to address the effect of occupants’ behavior and characteristics on energy consumption.

For bottom-up approaches, there are three main methods to estimate energy demand: engineering, neural network<sup>6</sup> and statistical approach (Swan and Ugursal, 2009; McLoughlin *et al.*, 2012; Zhao and Magoulès, 2012). The statistical approach uses real consumption data (bill), so it let the observer understand the determinants of consumption and how households react to changes. As pointed out by Belaid (2016), using disaggregated data offer great opportunities to fully understand the determinants of energy consumption. All of these elements lead us to choose a statistical approach.

Table 1.1 summarizes the literature estimating energy demand using a statistical bottom-up approach. We selected the papers published after 2000. Table 1.1 presents for each paper the data employed, the dependent variable, the explanatory variables used and the main results.

Literature has first shown that the first determinants of energy consumption are dwelling characteristics (McLoughlin, *et al.*, 2012; Huebner *et al.*, 2016). Dwelling characteristics regroup elements such as the insulation, the type of dwelling (detached house and apartments), the size of the dwelling... These effects are quite well-established as they are central in engineering models and are at the source of energy prediction for policies (for example to estimate the certificate of a dwelling).

Household characteristics are important factors of energy consumption (Brounen *et al.*, 2012; Jones and Lomas, 2015; Cayre *et al.*, 2011). For example, households with seniors and teenagers are known to have superior energy consumption. Socioeconomics factors also play a determinant role in energy consumption. There is an actual debate about how behavior affects energy demand. Santin *et al.* (2009) showed that behavior affects significantly energy consumption (4.2% of the variability), but it remains a secondary factor behind dwelling characteristics and household composition.

---

<sup>6</sup> For a complete review of these methods, Swan and Ugursal (2009) present a comprehensive review of the different methods.

**Table 1.1: Literature estimating energy consumption**

<b>Authors, year of publication</b>	<b>Method</b>	<b>Data: period, country, sample</b>	<b>Dependent variable</b>	<b>Explanatory variables</b>	<b>Main results</b>
Tiwari, 2000	OLS	1988, India, 6358 hsh	Electricity	Dwelling characteristics, price, demographics, income,	Inelastic to income and price, PE: -0.7, Income Elasticity: 0.34
Halvorsen and Larsen, 2001	OLS	1976-1993, Norway, 900-1400 hsh	Energy	Appliances, dwelling characteristics, hsh characteristics	Dwelling size (+) and appliances (+)
Leth-Petersen and Togeby, 2001	FE (panel)	1984-1995 Denmark, 4820 buildings	Energy per square meter	The energy source, building size	Importance of building regulations. Conditional price Responses are small
Larsen and Nesbakken, 2004	OLS (CDA)	1990, Norway, 1453 hsh	Electricity	Appliances, dwelling characteristics, hsh characteristics	Effects of appliances (+). Different results found according to the methodology employed.
Poortinga <i>et al.</i> , 2004	OLS	1999, Netherlands, 455 hsh	Energy	Values, environmental concern, hsh characteristics	Income (+), hsh size (+). “Family, Health, and Safety”(+). Environmental concern and other values don’t impact energy use.
Yoo <i>et al.</i> , 2007	Bivariate model	2005, South Korea, 380 hsh	Electricity expenditures	Appliances, income, average price, dwelling and hsh size	PE : 0.2463 , income elasticity: 0.0593, appliances(+), dwelling size (+)
Abrahamse and Steg, 2009	OLS	2002-2003, Netherlands, 189 hsh	Estimated energy consumption	Socio-demographic, Behavior	Income (+), hsh size(+), No effect of psychological variable
Santin <i>et al.</i> , 2009	OLS	2000, Netherlands, 15,000 houses	Energy for heating (MJ)	Building and hsh characteristics, and behavior	Occupant characteristics and behavior affect energy use (4.2%). Building characteristics are the first determinant (42%)
Kaza, 2010	Quantile regression	1987-2005, US, 4382 hsh	Heating consumption	Dwelling, climate, hsh characteristics, price.	Varying effect of price, climate, dwelling and hsh characteristics at the tails of the energy use distribution.
Leahy and Lyons, 2010	OLS	2004-2005, Ireland, 6884 hsh	Energy	hsh characteristics, dwelling characteristics, location.	Major role of heating and water systems. Importance of taking into account appliances.
Alberini and Filippini, 2011	GMM LSDVC	1995-2007, US, 48 states	Electricity	Hsh size, heating and cooling days, price and income	Short-run price elasticities: 0.08 and -0.15 Long-run price elasticities: -0.45 and -0.75
Alberini <i>et al.</i> , 2011	GMM	1997-2007, US, 98,772 hsh	Gas and electricity	dwelling and occupant characteristics	Short-run price elasticity -0.860, Long run price elasticity -0.736

*Reading notes: hsh stands for household, PE for price elasticity. Signs in the “Main results” column mean the paper found a positive or negative correlation of the variable with the dependent. Article published before 2000 were not included. Only papers using econometrical regression were included.*

Table 1.1 (continue): Literature estimating energy consumption

Authors, Year of publication	Method	Data: period, country, sample	Dependent variable	Explanatory variables	Main results
Bernard <i>et al.</i> , 2011	Pseudo-panel FE	1989 to 2002, Canada, 25 cohorts	Energy	Price, income, location	Short and long-run PE are significant. Electricity and gas are substitutes, fuel and electricity are complements.
Dilaver and Hunt, 2011	STSM, UEDT	1960-2008, Turkish, annual data	Electricity	Hsh total final consumption expenditure prices	Short-run PE: 0.09, long-run PE: 0.38, Short-run consumption expenditures elasticity: 0.38. Long-run: 1.57
Fillipini, 2011	LSDV	2000-2006, Swiss, 22 cities	Peak and off-peak demand	Price, lag consumption, days of cooling and heating	Short-run PE is inelastic. Long-run PE >1. Peak and off-peak electricity are substitutes.
Ndiaye Gabriel, 2011	OLS	2007, Canada, 62 smart meters	Electricity	Dwelling characteristics, hsh characteristics	Fuel used, Tenure, number of occupants (+), occupancy (+), air conditioner (+)
Wiesmann <i>et al.</i> , 2011	OLS	2005-2006, Portugal, 278 hsh	Electricity per capita	Income, dwelling characteristics	Low influence of income (+), Appliances (+), dwelling size (-)
Brounen <i>et al.</i> , 2012	OLS	2008-2009, Netherlands, 300 000 hsh	Gas and electricity	Dwelling characteristics, hsh characteristics	The first determinant of electric consumption is household composition and the dwelling characteristics for gas.
Carter <i>et al.</i> , 2012	Heckman two-step	1997, Barbados, 130 hsh	Electricity	Price, income, energy services system	Price elasticities vary according to the energy system (solar, heating system..)
Chong, 2012	Panel regression	1998-2009, US, 5,303,019hsh	Electricity per day	temperature, dwelling characteristics	Temperature response for buildings varies by vintage. Air conditioning in new buildings exceeds energy savings
McLoughlin, <i>et al.</i> , 2012	OLS	2009, UK, 4200 hsh	Electrical parameters	Dwelling and occupant characteristics	Dwelling types, Old hsh (+) and main appliances (+) play a key role in electric consumption.
Sanquist <i>et al.</i> , 2012	PCA and OLS	2001 and 2005, US, 4382 hsh	Electricity	lifestyle and hsh characteristics	Lifestyle factors explain 40% of the variance.
Bedir <i>et al.</i> , 2013	OLS	2008, Netherlands, 304 hsh	Electricity	appliances, dwelling and household characteristics	Duration of appliance use(37% of variance), dwelling and household characteristics are important predictors
Blázquez <i>et al.</i> , 2013	GMM	2000-2008, Spain, 47 provinces	Electricity	Price, income, and weather conditions	Short and long-run own PE are negative (<1), though almost inelastic, weather impacts electricity consumption

Reading notes: hsh stands for household, PE for price elasticity. Signs in the "Main results" column mean the paper found a positive or negative correlation of the variable with the dependent. Article published before 2000 were not included. Only papers using econometrical regression were included.

Table 1.1 (continue): Literature estimating energy consumption

Authors, Year of publication	Method	Data: period, country, sample	Dependent variable	Explanatory variables	Main results
Büchs and Schnepf, 2013	OLS	2009, UK, 24,446 hsh	Expenditure	Hsh characteristics	Significant impact of hsh characteristics and location.
Kavousian <i>et al.</i> , 2013	Weighted regression	2010, US, 1628 hsh	Peak and idle	Dwellings and hsh characteristics appliances, climate	Weather, location and floor area are the strongest factors, followed by nb of occupants (peak) and appliances(idle)
Zhou and Teng, 2013	OLS	2007-2009, China, 5979 hsh	Electricity	Appliances, dwelling size, and hsh characteristics	PE :0.35, -0.5 and income elasticities :0.14, 0.33. Importance of appliances, demographic variables, and dwelling size.
Romero-Jordán <i>et al.</i> , 2014	DIFF-GMM	1998-2009, Spain, 18 Regions	Electricity	Price, income, climate, past consumption,	Short-run PE: 0.26. Long-run PE 0.37, Short-run income elasticity:0.31, Long-run income elasticity:0,43
Valenzuela <i>et al.</i> , 2014	Quantile regression	2010, US, 294,416 hsh	Energy per square meter	Hsh characteristics, dwelling characteristics	Hsh characteristics play a role (hsh composition). Dwelling characteristics are great determinants of energy consumption.
Jones and Lomas, 2015	Probit Model	2009-2010, UK, 315 homes	Probability to be a high demand for energy dwelling	Socio-economic and dwelling characteristics	Presence of teenagers (+) and presence of electric system (only electric system) (+)
Belaïd, 2016	OLS	2006, France, 43000 hsh	Electricity and gas	Price hsh characteristics, dwelling characteristics	Price is the first determinant followed by dwelling characteristics. Hsh characteristics, appliances, location affect energy usage.
He and Reiner, 2016	MLE	2008-2009, China, 1748 hsh	Electricity per capita	Urban/rural, income, hsh characteristics	Higher income levels lead to income sensitivity of energy consumption
Huebner <i>et al.</i> , 2016	Lasso	2011-2012, UK, 845 hsh	Energy, non-heating electricity	Dwellings hsh characteristics, appliances	Appliances (+) and hsh size (+)
Salari and Javid, 2016	Two-step system estimator	2005-2013, US, 48 states	Electricity and gas	Price, income, hsh characteristics, weather, dwelling size.	Significant impact of socio-economic and hsh characteristics. short-run PE are negative(<1)
Xie <i>et al.</i> , 2016	OLS (PCA)	2014, China, 815 hsh	Electricity	Building, appliances, hsh characteristics, comfort	Building and appliances are important determinants. Hsh characteristics have limited influence. Comfort plays a role.
Schulte and Heindlb, 2017	Quadratic expenditure system	1993-2008, Germany, 60,000 hsh	Electricity expenditure	Total expenditure, hsh size.	PE -0.4310, Expenditure elasticity: 0.4., Price response smaller for low-income.
Singh <i>et al.</i> , 2018	OLS	2005, India, 1026 hsh	Electricity	Price, appliances, hsh size, demographics	PE: -0.72, importance of air conditioners (+), weak effect of demographic variables (+)

Reading notes: hsh stands for household, PE for price elasticity. Signs in the "Main results" column mean the paper found a positive or negative correlation of the variable with the dependent. Article published before 2000 were not included. Only papers using econometrical regression were included.

Income and price elasticities of energy demand have been widely studied (Belaïd, 2016; Alberini *et al.*, 2011). Energy consumption appears to be quite inelastic to income changes and prices changes. Most of the time, elasticities found in the literature are inferior to 1 but are not negligible (Romero-Jordán *et al.*, 2014; Zhou and Teng, 2013; Dilaver and Hunt, 2011). He and Reiner (2016) show that income has a different effect according to the level of income. They observe that higher income levels lead to income sensitivity, and lower incomes are not sensitive to variations as they are only consuming basic energy services.

Another important factor which has emerged quite recently in the literature are appliances (Huebner *et al.*, 2016; Larsen and Nesbakken, 2004; Xie *et al.*, 2016). The important idea is that energy is not consumed *per se* but to obtain energy services (Blasch *et al.*, 2017; Flaig 1990): then appliances are used to produce energy services using energy. In the same way, Leahy and Lyons (2010) showed the importance of the energy system, and therefore the importance of the technology of consumption on energy demand.

Another topic recently treated by the literature is the consequence of the location of the dwelling on energy consumption (Belaïd 2016; Büchs and Schnepf 2013). These papers empirically demonstrate that location of the household impact energy consumption through urban density and access to sources of energy.

In our empirical model, we try to take into account all of these factors. We focus our analysis on the technical constraints (the way households produce energy services) and the spatial determinants of energy consumption.

### **1.3 Choice of location and energy consumption model**

In this section, we first present the theoretical framework bearing our model. This model combines the standard households' location model (Alonso, 1964; Muth, 1969; Mills, 1967) and the household production theory (Becker, 1965; Lancaster, 1966). Afterwards, we develop and solve our model and finally discuss the main results.

#### **1.3.1 Theoretical framework**

We model the household's choice of location using an urban economics approach. Energy consumption of households is modelled as energy input to produce energy services.

### 1.3.1.1 Household residential equilibrium in the monocentric city

The standard households' location model (Alonso, 1964; Muth, 1969; Mills, 1967) assumes a mono-centric city in which households have to choose a location and a consumption bundle. The city is homogeneous (featureless plain) except for the city-center, called the Central Business District (CBD), which concentrates all the jobs. Therefore, households have to commute every day to the CBD to work, and so have to bear a transportation cost  $T(D)$  which is an increasing function in the distance  $D$ .

Households are identical in terms of income  $Y$  and preferences. Preferences are represented by a utility function  $U(X, Q)$ , where  $X$  denotes the composite good, and  $Q$  the amount of land. The utility function  $U$  is assumed twice differentiable, increasing in its terms and strictly quasi-concave. The composite good has a price set to one (numeraire) (Fujita 1989, Alonso 1964) and the land  $Q$  is bought at a price  $R(D)$ , which in urban economics is the land rent.

Household's location choice and the consumption bundle are driven by utility maximization:

$$\text{Max}_{X, Q} U(X, Q) \quad (1.1)$$

Subject to:

$$Y = T(D) + R(D)Q + X \quad (1.2)$$

Let  $L$  be the Lagrange function and  $\lambda$  its multiplier associated with the constraint (1.2):

$$L(X, Q; \lambda) = U(X, Q) + \lambda(Y - T(D) - R(D)Q - X) \quad (1.3)$$

Solving for this model, we find the first order conditions:

$$\frac{\delta U(X, Q)}{\delta X} - \lambda = 0 \quad (1.4)$$

$$\frac{\delta U(X, Q)}{\delta Q} - \lambda R(D) = 0 \quad (1.5)$$

$$-\lambda \left( \frac{\delta R(D)}{\delta D} Q + \frac{\delta T(D)}{\delta D} \right) = 0 \quad (1.6)$$

From (1.4) and (1.5) we obtain the marginal rate of substitution between  $X$  and  $Q$ :

$$\frac{\frac{\delta U(X, Q)}{\delta X}}{\frac{\delta U(X, Q)}{\delta Q}} = \frac{1}{R(D)} \quad (1.7)$$

As usual in microeconomics, the marginal rate of substitution between goods (1.5) equals the ratio of their prices.

By substituting  $\lambda$  in (1.4), we get from (1.6) the spatial equilibrium condition:

$$\frac{\delta R(D)}{\delta D} Q = - \frac{\delta T(D)}{\delta D} \quad (1.8)$$

Equation (1.8) defines the spatial equilibrium condition when at each location the marginal cost of transportation offsets the marginal reduction of the price of land. Since  $T$  is an increasing function in  $D$ , then the *r.h.s.* of equation (1.8) is negative. Therefore, the equation (1.8) holds if the price of land  $R(D)$  is decreasing with the distance  $D$ . This means that at the optimal location, choosing a location marginally further (resp. closer) from the city center implies an increase (resp. decrease) in commuting costs which is compensated by the saving (resp. spending) in the housing costs.

In the standard model, the housing costs are limited to the price of land  $R(D)$ . In our theoretical model, we add to the housing costs the energy needed to produce energy services. To do so, we mobilize the household production theory.

### 1.3.1.2 Energy services and the household production theory

The household production theory is originally attributed to Becker (1965), but other authors worked on the same hypothesis earlier (Mincer, 1963; Reid, 1934). According to Becker (1965), most of the results derived from the traditional consumer framework are only consequences of the budget constraint. The ambition of this new approach of the consumer is to discriminate the effect of preferences from what relates to the budget constraint.

This theory assumes that households are producers of their own utility: they produce services using capital, labor, and goods as inputs. This type of model implies that households are subject to two constraints: a budget constraint (equation (1.11)) and a technological constraint (equation (1.12)).

Household production theory has been widely used in health economics (Grossman, 2000), considering health (longevity or being not ill) as a service produced by goods (drug, vaccines,

smoking...). This theory was also linked to the hedonic theory by Lancaster (1966) and Muellbauer (1974). Recently, this theory has been used to model the energy consumption of households in order to measure energy efficiency (Filippini and Hunt, 2012).

Energy services are domestic commodities such as lightning, cooking, space heating, leisure activities, cooling, etc. (Haas *et al.*, 2008; Hunt and Ryan 2015; Sovacool 2011). Some authors consider transportation as an energy service (Le Gallic *et al.*, 2016; Haas *et al.*, 2008) but we do not because we consider transportation at the spatial step (see below, § 3.1.1): since we develop our model in the urban economics framework, transportation costs are in the budget constraint.

In our production model households consume the energy services  $ES$  they produce with two inputs: an amount of energy  $E$  and a level of housing quality<sup>7</sup>  $Q$ . For simplicity we assume that this production function takes a Cobb-Douglas form, with the elasticity parameters  $\alpha + \beta = 1$ , and with  $\gamma$  an efficiency parameter:

$$ES(E, Q) = \gamma E^\alpha Q^\beta \quad (1.9)$$

Note that equation (1.9) is a technological combination of inputs  $E$  and  $Q$ , representing the household's ability to produce energy services. Energy is purchased at a given price  $P_E$ . For a constant amount of housing  $Q$ , the amount of quality varies. As for the urban model, the price of housing quality,  $R(D)$  depends on the distance to the CBD.

The household production theory lets us introduce energy consumption in the technological constraint, and therefore in the household optimization problem. We can now develop our model integrating energy consumption in the household's choice of location.

### 1.3.1.3 The household's optimization problem

Finally, the household's optimization problem is to maximize the utility (equation 1.10) subject to two constraints: a budget constraint (equation 1.11) and a technological constraint (equation 1.12).

$$\text{Max}_{ES, X, D} U(ES, X) = X^\varphi ES^\rho \quad (1.10)$$

---

<sup>7</sup>  $Q$  can be thought as a general index of the energy quality of a dwelling: insulation, cooking equipment, quality of appliances...

Subject to:

$$Y - T(D) = X + P_E E + R(D)Q \quad (1.11)$$

$$ES = \gamma E^\alpha Q^\beta \quad (1.12)$$

Where  $\varphi$  and  $\rho$  are preference parameters<sup>8</sup>, with  $\varphi + \rho = 1$ .

Note that the objective function (1.10) is defined on the commodity space (produced by households) and the budget constraint (1.11) is defined in the good space. The technological constraint (1.12) links the two spaces (Lancaster, 1966), which gives the transformation process from goods to commodities.

Solving this system will first give us the optimal cost function for the production of energy services. We will also be able to find the shadow cost of producing one additional unit of  $ES$ . Finally, we will find the spatial equilibrium and the demand for  $ES$  and  $X$ .

### 1.3.2 Household spatial equilibrium and energy demand

According to the household production theory, the optimization problem - which gives the spatial equilibrium of the household and the energy demand in our case - follows a two-steps process (Muellbauer 1974; Pollak and Wachter 1975).

In the first step, the cost of producing energy services is minimized and brings to the optimal cost function which is added in the budget constraint. The second step simply solves the utility maximization problem subject to the transformed budget constraint.

*First step: minimizing the cost of production of energy services*

In the first step, we minimize the cost of producing energy services<sup>9</sup> (1.11) subject to the technological constraint (1.12)

Denote  $C^*(ES, R(D), P_E)$  the optimal cost function to produce the energy services  $ES$  given the price of energy  $P_E$  and the price per unit of housing  $R(D)$  for a housing located in  $D$ .

$C^*$  is the solution of the following optimization problem:

$$\text{Min}_{E, Q} R(D)Q + P_E E \quad (1.13)$$

---

<sup>8</sup> Notice that this function is twice differentiable and also households have a preference for diversity.

<sup>9</sup> Since the problem does not depend on the level of  $Y-T(D)$  and  $X$ , we

Subject to:

$$ES = \gamma E^\alpha Q^\beta \quad (1.14)$$

Let  $L$  be the Lagrange function and  $\lambda$  its multiplier associated with the constraint (13):

$$L(E, Q; \lambda) = R(D)Q + P_E E - \lambda(\gamma E^\alpha Q^\beta - ES) \quad (1.15)$$

We have the following first order conditions:

$$\frac{\delta L(E, Q; \lambda)}{\delta \lambda} = \gamma E^\alpha Q^\beta - ES = 0 \quad (1.16)$$

$$\frac{\delta L(E, Q; \lambda)}{\delta E} = P_E - \lambda \gamma Q^\beta \alpha E^{\alpha-1} = 0 \quad (1.17)$$

$$\frac{\delta L(E, Q; \lambda)}{\delta Q} = R(D) - \lambda \gamma E^\alpha \beta Q^{\beta-1} = 0 \quad (1.18)$$

Using (1.17) and (1.18) we find:

$$\frac{P_E}{R(D)} = \frac{\alpha Q}{\beta E} \quad (1.19)$$

Solving this system we find the optimal cost function:

$$C^*(ES, R(D), P_E) = \frac{ES}{\gamma} \left( \frac{R(D)}{\beta} \right)^\beta \left( \frac{P_E}{\alpha} \right)^\alpha \quad (1.20)$$

As expected, the optimal cost function increases with the prices  $P_E$  and  $R(D)$  (Pollak 2003) and with the level of output  $ES$ . Following Shephard's lemma (Shephard 1970), we can find the demand for  $E$  and  $Q$  by deriving the cost function by its prices.

Denote  $E^*(P_e, R(D), ES)$  the conditional demand for energy and  $Q^*(P_e, R(D), ES)$  the conditional demand for housing quality:

$$E^*(P_e, R(D), ES) = \frac{\delta C^*(ES, R(D), P_E)}{\delta P_E} = \frac{ES}{\gamma} \left( \frac{\alpha R(D)}{\beta P_E} \right)^\beta \quad (1.21)$$

$$Q^*(P_e, R(D), ES) = \frac{\delta C^*(ES, R(D), P_E)}{\delta R(D)} = \frac{ES}{\gamma} \left( \frac{\beta P_E}{\alpha R(D)} \right)^\alpha \quad (1.22)$$

Demands for E and Q and the optimal cost function will depend on the location  $D$  of the household. Therefore, the choice of location will impact the household's energy demand. Also, the price of energy will impact as well as the demand for housing quality. In the same way, if the price of land increases, then the conditional demand for energy will increase as households substitute housing for energy.

By deriving the cost function (1.20) by  $ES$ , we find the shadow cost of producing  $ES$ :

$$\frac{\delta C^*(ES, R(D), P_E)}{\delta ES} = \frac{1}{\gamma} \left( \frac{R(D)}{\beta} \right)^\beta \left( \frac{P_E}{\alpha} \right)^\alpha \quad (1.23)$$

Equation (1.20) is also the marginal cost of producing energy services. The marginal cost is naturally an increasing function of its inputs, the price of energy and the price of land. Note that the *r.h.s.* of equation (1.20) not only depends on prices but also on the technology parameters ( $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$ ). Everything else being equal, an improvement in the technology parameters implies a reduction of the marginal cost. Finally, the marginal cost changes with the location of the household through the housing prices  $R(D)$ .

### *Second step: the spatial equilibrium of the household*

Once we have found the optimal cost function, we solve the spatial and economic step of the residential choice. The household maximizes his utility by choosing where he lives (a location at a distance  $D$  from the CBD) and what he consumes (a quantity of energy services  $ES$  and an amount of the composite good  $X$ ).

After having log-linearized the utility function (equation 1.10), the household's program taking into account the optimal cost function (equation 1.20) is then written as follows:

$$\text{Max}_{ES, X, D} U(ES, X) = \varphi \ln(X) + \rho \ln(ES) \quad (1.24)$$

Subject to:

$$Y - T(D) = \frac{ES}{\gamma} \left( \frac{R(D)}{\beta} \right)^\beta \left( \frac{P_E}{\alpha} \right)^\alpha + X \quad (1.25)$$

Let  $L$  be the Lagrange function and  $\lambda$  its multiplier associated with the budget constraint (1.25):

$$L(ES, X; \lambda) = \varphi \ln(X) + \rho \ln(ES) + \lambda \left( Y - T(D) - \frac{ES}{\gamma} \left( \frac{R(D)}{\beta} \right)^\beta \left( \frac{P_E}{\alpha} \right)^\alpha - X \right) \quad (1.26)$$

We get the following first order conditions:

$$\frac{\delta L(ES, X; \lambda)}{\delta ES} = \frac{\rho}{ES} - \frac{\lambda}{\gamma} \left( \frac{R(D)}{\beta} \right)^\beta \left( \frac{P_E}{\alpha} \right)^\alpha = 0 \quad (1.27)$$

$$\frac{\delta L(ES, X; \lambda)}{\delta X} = \frac{\varphi}{X} - \lambda = 0 \quad (1.28)$$

$$\frac{\delta L(ES, X; \lambda)}{\delta \lambda} = Y - T(D) - \frac{ES}{\gamma} \left( \frac{R(D)}{\beta} \right)^\beta \left( \frac{P_E}{\alpha} \right)^\alpha - X = 0 \quad (1.29)$$

$$\frac{\delta L(ES, X; \lambda)}{\delta D} = -\lambda \left( T + \frac{ES}{\gamma} \frac{\delta R(D)}{\delta D} \left( \frac{P_E \beta}{\alpha R(D)} \right)^\alpha \right) = 0 \quad (1.30)$$

Using equation (1.27) and (1.28) we obtain:

$$\frac{\frac{\delta U(ES, X)}{\delta ES}}{\frac{\delta U(ES, X)}{\delta X}} = \frac{1}{\gamma} \left( \frac{R(D)}{\beta} \right)^\beta \left( \frac{P_E}{\alpha} \right)^\alpha \quad (1.31)$$

Equation (1.31) shows the standard economic condition at the equilibrium: the marginal rate of substitution between the composite good and the energy services equals the ratio of their prices: As the price of the composite good  $X$  is 1, the *r.h.s.* of the equation is in fact the price of the energy service:  $P_{ES}$ .

$P_{ES}$  is then the marginal cost of production of one unity of energy services. It depends on the energy price  $P_E$ , the price  $R(D)$  at the distance  $D$  and the technology of production.

Substituting in (1.29), we then find the Marshallian demand for  $ES$  (denoted  $ES^*(P_E, Y)$ ) and for  $X$  (denoted  $X^*(Y)$ )

$$ES^*(P_E, Y) = (Y - T(D)) \gamma \rho \left( \frac{\beta}{R(D)} \right)^\beta \left( \frac{\alpha}{P_E} \right)^\alpha \quad (1.32)$$

$$X^*(Y) = (Y - T(D))\phi \quad (1.33)$$

The demand for  $X^*$ (equation 1.33) is simply the net income multiplied by the preference parameter.

The demand for energy services  $ES^*$  (equation 1.32) is a combination of the inverse of its marginal cost multiplied by the net income and the preference parameter.

Table 1.2 summarizes the comparative static for these two demands according to the variations in parameters: income, transportation, distance and the preference for ES.

**Table 1.2: Static comparative**

Function/ Variable	Y	T	D	$\rho$
ES*	+	-	-	+
X*	+	-	-	-

As expected, the consumption of  $ES^*$  and  $X^*$  will increase if a rise in income occurs. At the opposite, a rise in cost of transportation or a change for a further location will decrease the demand for  $ES$  and  $X$ . A change in the preference for  $ES$  will naturally increase the demand for  $ES$  and reduce the demand for other goods.

The equation (1.30), shows the spatial equilibrium and is written as follows:

$$-T = \frac{\delta R(D)}{\delta D} \frac{ES}{\gamma} \left( \frac{P_E \beta}{\alpha R(D)} \right)^\alpha \quad (1.34)$$

The *l.h.s.* of (1.34) is negative and in the *r.h.s.* all parameters and quantities are positive. Therefore the spatial derivative  $\frac{\delta R(D)}{\delta D}$  is negative. It means that the price of land is a decreasing function of the distance.

The equation (1.34) defines the condition of the spatial equilibrium: if the household moves one unit of distance from the CBD, the marginal increase in the expenditure of transport is exactly compensated by a marginal increase in the expenditure of energy services.

Since households maximize their utility, this equilibrium gives the rent function as a solution of the differential equation. To do so, we consider the rent values at the bounds of the city.

We can either set the rent at the city-center  $D=0$  or at the outer limit of the city  $D = D_{lim}$ . We know that  $R(0) = R_{max}$  and that  $R(D_{lim}) = R_a$  where  $R_a$  is the value of the agricultural land. Without loss of generality, we can set  $R_a = 0$  and  $R(D_{lim}) = 0$ .

Considering the center of the city gives the equation (1.35) and the outer limit of the city  $D_{lim}$  gives equation (1.36).

$$R(D) = \left( R_{max} - \frac{\beta^\beta DT \gamma P_E^\alpha \alpha^\alpha}{ES} \right)^{1/\beta} \quad (1.35)$$

$$R(D) = \left( \frac{-\beta^\beta (D - D_{lim}) T \gamma (P_E * \alpha)^\alpha}{ES} \right)^{1/\beta} \quad (1.36)$$

Equation (1.35) indicates how the size of the city evolves according to the different parameters. Equation (1.36) allows to analyze the urban density since the size of the city is fixed. Both of these equations let us analyze the gradient of the price of land.

The rent function (1.35) decreases with  $D$ , starting at  $R_{max}$  at the CBD by definition, and reaching 0 when the fraction equals  $D_{lim}$ . Equation (1.36) decreases with  $D$  reaching 0 at  $D_{lim}$ .

In order to understand the impact of the main parameters on the spatial equilibrium, we implement a comparative static analysis. The different figures below present some illustrative variations of the rent function induced by a change in cost of transportation  $T$  (Figure 1.1 and 1.2), in the amount of energy services  $ES$  consumed (Figure 1.3 and 1.4), in the price of energy  $PE$  (Figure 1.5 and 1.6), and in the technology parameters  $\alpha$  and  $\beta$  (Figure 1.7 and 1.8).

We set  $R_{max}$  and  $D_{lim}$  to 1 in these examples for simplicity. For the initial situation, we consider that energy and housing quality have the same importance for the production of energy services so they are both set to 0.5. We assume that the production is efficient so  $\gamma = 1$ . We fixed the prices of energy to 1 and the quantity of  $ES$  to 1 as well. For each Figure, we draw the initial state, and the effects of doubling and halving the variable of interest.

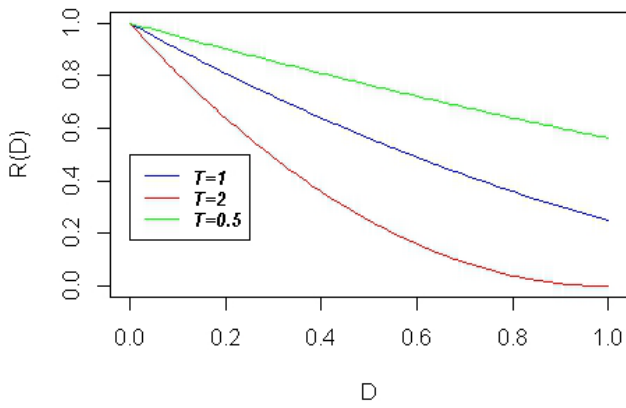


Figure 1.1: Impact of transport on city-size

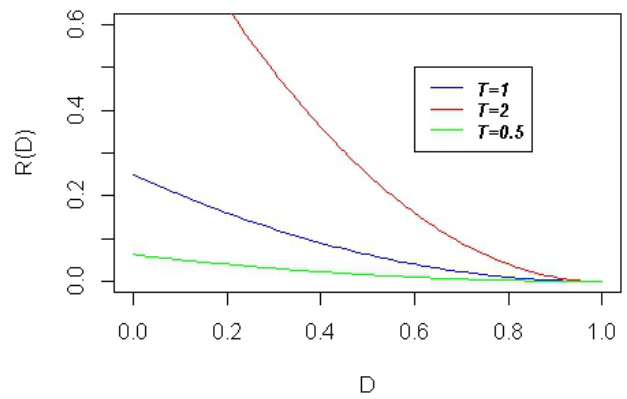


Figure 1.2: Impact of transport on urban density

Like in the standard urban model, an increase in the cost of transportation is associated with a reduction in the size of the city, higher densities, and housing costs. Also, the gradient of  $R(D)$  appears to be steeper as  $T$  increases.

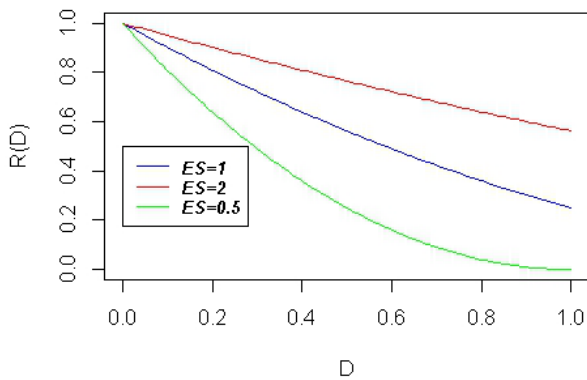


Figure 1.4: Impact of ES on city-size

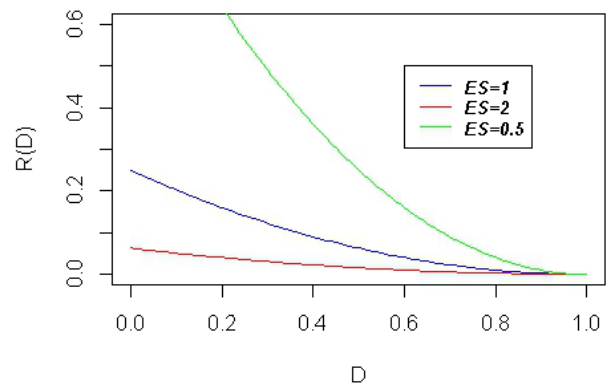


Figure 1.3: Impact of ES on urban density

An increase in the energy services consumed, which could be a consequence of higher incomes, implies an increase in the size of the city since households need more housing to produce energy services. If the limit of the city is fixed, then households substitute housing for energy to produce more energy services. Since energy is not limited, households will more easily consume more energy than housing if they want to produce more energy services.

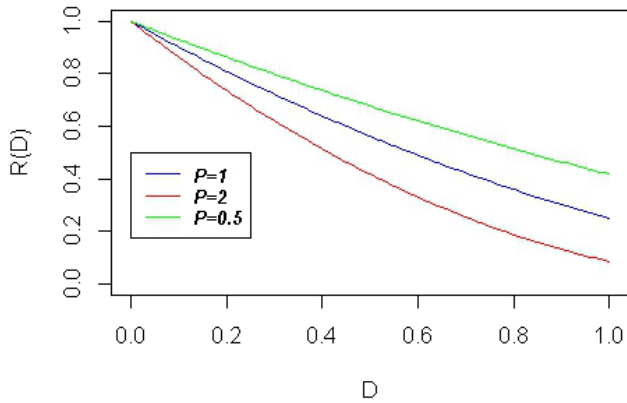


Figure 1.5: Impact of energy price on city-size

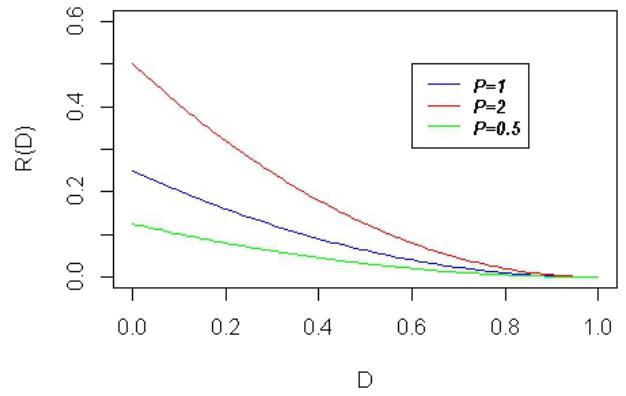


Figure 1.6 : Impact of energy price on urban density

If a rise in energy price happens, it will result in the densification of the city as households will substitute energy for cheaper housing in the production of energy services. If the limit of the city is not fixed, an increase in energy price results in a shrink of the city. The cost of energy reduces the range of possible locations for households as the bid rent for housing is higher.

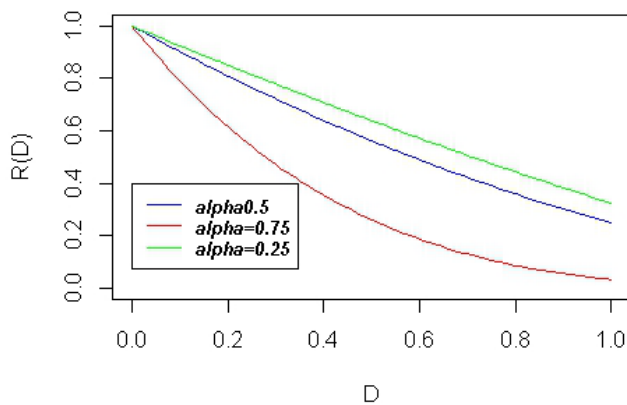


Figure 1.8: Impact of efficiency parameters on city-size

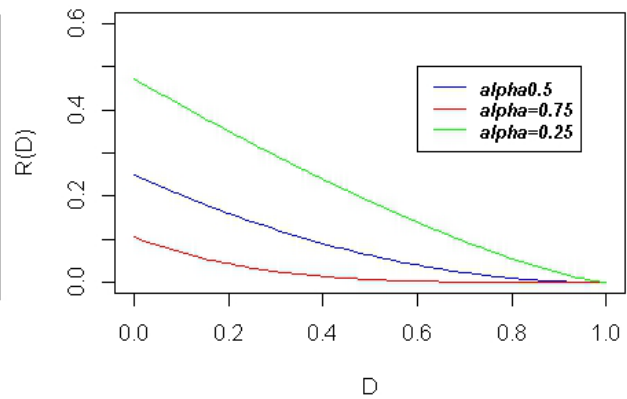


Figure 1.7: Impact of efficiency parameters on urban density

Finally, concerning the parameters of technology  $\alpha$  and  $\beta$ , we observe that as housing become an important factor to produce energy services, the price of land increases and the city expands. This means that increasing the energy-efficiency of housing can lead to a reduction in the size of the city.

In order to analyze the impact of the energy transition on the economy, we have focused on the urban microeconomics framework to take into account energy in the household's residential choices. The residential equilibrium is determined by a trade-off between housing and transport, two sectors at the core of the energy transition. Since energy is needed to produce energy services, the price of energy will impact the quality of the dwellings. Also, the price of energy will also impact the household's budget due to the commuting costs households have to bear, which depends on the location of the dwelling.

Our model integrated these two aspects and we showed the interactions between energy consumption, the production of energy services, the choice of location and the commuting costs. As energy and housing are inputs for the consumption of energy services, the choice of location and so the choice of a dwelling are important determinants of the energy consumed for energy services as well the energy consumed for transport. Also, the technology of producing energy services greatly affects urban equilibrium.

The price of energy will impact differently households according to their location and the technology of production at their disposal. This is of great importance in terms of energy policy: since modifying the price of energy will affect differently households as they have different marginal costs.

The introduction of energy in our model narrowed the set of possible locations for households. The need for energy services is an additional constraint for the households. Introducing this constraint gives some directions to understand how energy poverty is linked to the household's choice of location. Also, this additional cost could lead to spatial lock-in issues where households could not change their location in reason to their lack of resources.

Finally, our model transforms the residential cost by adding an energy cost. As the cost of transport is mainly composed of energy cost, our model is consistent with the tradeoff between energy consumed for transport and energy consumed for energy services. This means that a reduction in the energy consumed for energy services could lead to an increase in the energy consumed for transport. This trade-off could be a source of an indirect rebound effect between the two sectors: an increase in energy-efficiency could bring a rise in the demand for transportation.

In order to complete our theoretical analysis, we propose in the next sections to empirically study some links established by our model. However, our empirical investigation is constrained by the available data. For instance, we cannot model the demand for energy services (1.32) due to a lack of precise data on the energy services consumed. Also, we cannot take into account the price of energy. We use the theoretical findings in equation (1.21) and (1.32) to estimate an energy demand model. Section 4 presents the data and the strategy of estimation and section 5 the results of estimations.

## 1.4 Data and methods of estimation

In this section, we first detail the purpose of our empirical study, and then we present the data and our estimation strategy.

### 1.4.1 Purpose of the empirical study

Our empirical analysis is focused on estimating the energy demand. Equations (1.21) and (1.32) showed some important determinants of the energy demand: income, transportation costs, preferences for energy services, the location of the dwelling, technology parameters for the production of energy services, and the housing quality of the dwelling.

Through this estimation, we want to further question the link between transport, energy services, and housing.

Our estimations have 4 goals.

- First, we have information on the energy efficiency of the dwelling, the housing characteristics, and the household's consumption behavior. Therefore, we can study the relative importance of these factors for energy consumption, which is an important step for demand-side energy management.
- Secondly, we want to study the impact of the technology of consumption on energy consumption. To do this, we have information on the number of appliances, the number of sources of energy, and the electric rate subscribed. As we have seen in section II, literature has not yet focused deeply on this subject, though it is an important topic for energy management.
- Our third point concerns the location of the dwelling. As a proxy variable for this, we know if the dwelling is located in a city or in a rural area. This variable represents both the distance to the city center and the urban density. Therefore, we expect this variable to have an impact and on energy consumption.
- Finally, we have information on the transport expenditures of the household. This allows us to estimate a short-run elasticity of substitution between the energy consumed for transport and for the production energy services. The existence of a relation between these two spheres of energy consumption would indicate the existence of an indirect rebound effect which could be larger in the long-term.

### 1.4.2 Sample and data

Our sample of 1344 observations is drawn from the *Phébus*<sup>10</sup> database. This database is the result of a national survey conducted in 2013 and dealt about the energy consumption of over 5400

---

<sup>10</sup> *Phébus* stands for « Performance de l'Habitat, Équipements, Besoins et USages de l'énergie» which could be translated into "Dwelling performance, appliances, energy needs and energy usages". For more information, see

households for the year 2012. More precisely, *Phebus* was conducted in two waves. The first one gathered detailed data about the characteristics of the household, the characteristics of the dwelling, some energy practices, and the energy consumed both for services and for transport. The second survey aimed at estimating the energy certificate (DPE – Diagnostic de Performance Energétique) of the dwelling by the collection of information on the physical structures of the dwelling. Then, the energy certificates were estimated using the 3 CL method<sup>11</sup>. If the respondent was missing for the second wave, the energy certificate was instead estimated with the energy bills.

To gather the information we need, we first selected the households who were surveyed twice, eliminating from the dataset certificates estimated using energy bills. Also, in order to have a homogeneous dataset, we excluded apartments and the houses using energy for professional purposes. Eventually, we removed from our dataset households that couldn't provide sufficient information to get a precise estimation of the total yearly energy consumption. Once excluded incomplete observations and outliers (Cook's distance < 0.05), we obtain a sample of 1344 households. For each observation, we have detailed information on the energy consumed by the household, the housing characteristics, the household characteristics, and his energy behavior, that is how he consumes energy.

### *The dependent variables*

We are interested in two dependent variables: the total energy consumed and the total energy expenditures, in one year.

Since the energy certificate is the result of the estimated energy consumed per square meter (energy intensity), we considered the two dependent variables per square meters.

We note *EC* the total energy consumed per year divided by the surface area of the dwelling. We note *EE* the total energy expenditure per year divided by the surface area of the dwelling.

In order to calculate *EE* and *EC*, we gather information about the sources of energy, the amount of energy consumed for each source, and the bills associated with these consumptions. For the energy expenditures, we simply added the different bills. Concerning the energy consumption, we first converted each amount of energy consumed in kWh before adding them up. Table 1.4 gives the descriptive statistics of the dependent variables

As we have a skewed distribution, we decided to log transform the variables.

*Our explanatory variables* can be classified into four dimensions: the characteristics of the housing, the characteristics of the household, behavioral variables, and the technology of producing energy services. Table 1.3 describes these variables and Table 1.4 gives the descriptive statistics.

---

<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/enquete-performance-de-lhabitat-equipements-besoins-et-usages-de-lenergie-phebus>.

<sup>11</sup> This method estimates a « standard » consumption according to multiple elements such as the heating system, insulation, the climate zone, heat losses, the presence of air-conditioners... For more information, see <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2012/10/17/ETLL1234842A/jo/texte>

**Table 1.3: Description of the variables**

	Variable	Description
Endogenous variables		
	EE	Natural log of energy expenditure in euros per square meter per year
	EC	Natural log of energy consumption in kWh per square meter per year
Exogenous variables		
<b>Housing characteristics</b>		
Certificate	<i>AB/C/D/E/F/G</i>	Calculated by the 3CL method (D is the reference modality)
Room	<i>Nb.rooms</i>	Number of rooms in the house
Location	<i>Rural</i>	House is located in a rural area, as defined by the urban unit (Insee)
	<i>Smallcity</i>	House is located in an urban unit with less than 50 000 inhabitants (Reference modality)
	<i>BigCity</i>	House is located in an urban unit with more than 50 000 inhabitants
<b>Household Characteristics</b>		
Age	<i>40&lt;/i&gt;/<i>40-50/50-60/60-70/+70</i></i>	Age of the reference person (50-60 is the reference modality)
Gender	<i>Woman</i>	The reference person is female (Male is the reference modality)
Composition	<i>Single</i>	The household is composed of one adult
	<i>Couple</i>	The household is composed of multiple adults without children (Reference modality)
	<i>SingleParent</i>	The household is composed of one parent with at least one child
	<i>Children</i>	The household is composed of at least 2 adults and one child
Tenure	<i>Homeowner</i>	House is own by the household (Rent is the reference modality)
Income	<i>Income</i>	Natural log of income
Professional occupation	<i>Farmer</i>	The reference person is a farmer
	<i>Business.Owner</i>	The reference person own his business or is a craftsman
	<i>Executive</i>	The reference person is an executive (Reference modality)
	<i>Intermediate</i>	The reference person is a middle manager
	<i>Employee</i>	The reference person is an employee
	<i>Worker</i>	The reference person is a worker
	<i>NonWorking</i>	The reference person is inactive: unemployed or retired
<b>Technology of consumption</b>		
Electricity tariffs	<i>SingleRate</i>	Household registered to a fixed rate
	<i>Peak/Off-Peak</i>	Household registered to a Peak/Off-Peak tariff (Reference modality)
Sources of energy	<i>OneEnergy</i>	Household has access to only one source of energy
	<i>TwoEnergies</i>	Household has access to two sources of energy
	<i>ThreeEnergies</i>	Household has access to three or more sources of energy
Appliances	<i>Nb.appliances</i>	Number of appliances owned by the household
<b>Household Behavior</b>		
Preferences	<i>Comfort</i>	Household declared a strict preference for comfort over saving
	<i>Indifferent</i>	Household declared no preference between comfort and saving (Reference modality)
	<i>Savings</i>	Household declared a strict preference for saving over comfort
Hours of vacancy	<i>Lessthan4</i>	The house is vacant less than 4 hours a day
	<i>Between4&amp;8</i>	The house is vacant between 4 and 8 hours a day
	<i>Morethan8</i>	The house is vacant more than 8 hours a day
Transport costs	<i>FuelExp</i>	Natural logarithm of gas expenditure

### *The housing characteristics*

Concerning the characteristics of the house, our approach is to consider that energy certificates measured via the 3CL method compile at best the dwelling characteristics impacting energy consumption. It means that energy certificates are here used as a proxy variable for the characteristics of the dwelling. It also means that to avoid a great risk of endogeneity, we do not add in our model variables used in the 3CL estimates (such as insulation, heating system, climate, etc.).

This approach will be not consistent with the engineering model because it leads to a loss in precision of how the energy services are produced. However, recalling that our aim is to explore the energy links with the choice of location of the households, our approach is to focus on other determinants of energy consumption. Therefore, we accept the loss in precision since we can explore the various determinants of energy consumption. Moreover, this approach helps us dealing with the multicollinearity problem as we significantly reduce the number of variables.

The energy certificate variable is described by 5 five items (Table 1.4): the labels *A* and *B* are regrouped in a single modality because there are too few houses in our sample with these energy levels. We used the label *D* as the reference modality.

To complete the description of the dwellings, we add two variables available in the *Phébus* database. On one hand, we have the number of rooms in the house (*Room*) and on the other hand, we distinguish the type of urban area in which the house is located (*Location*): a rural area (*Rural*), a small city (*SmallCity*) or a big city (*BigCity*).

### *Household characteristics*

Looking at the household characteristics, many variables, typically used in urban economic, are available in the database: age, gender, household composition, income, tenure. We selected the variables to avoid multicollinearity issues and to bring a good balance between the type of household and their preferences for housing characteristics. The household composition gives a detailed picture of the household, and with the number of rooms, it captures as well the household's size. The age of the reference person indicates his position in the life cycle. The gender of the reference person (*Gender*) and the land tenure (*Homeowner*) are also included to identify the potential effects of these characteristics on energy consumption since they can alter household preferences. Socioeconomics characteristics are documented by the household's annual disposable income (*Income*) and by the professional occupation of the reference person. The latter is divided into 6 professional groups following the French classification “*PCS*” (Classification of professions and Socio-Professional) (See Table 1.3). Note that since the number of unemployed people is low in our sample and because of multicollinearity between age and retirement, we grouped retired people and unemployed people in the “*NonWorking*” category.

### *Production technology of energy services*

The interest of the *Phébus* survey is to bring information about some explanatory factors of the energy consumption in the house which can be used as input of the energy services production function (equation (1.32)). The point of interest is to link the behavior of the household and some facilities in his dwelling. Typically, we expect the number of appliances (*Nb.appliances*) to be positively correlated with the energy consumed. The capacity of the household to optimize its consumption under a set of technology constraints can be captured by the number of energy sources. We expect that the energy consumed may be positively affected by the number of energy sources, but should reduce the energy expenditures if the household can optimize the way he produces energy services, using the less expensive energy. Finally, we consider the type of electricity tariff subscription (*SingleRate*): we expect that a “peak/off peak” tariff decreases the energy expenditures since households can switch their production of energy services when electricity is cheaper.

### *Household behavior*

We are finally interested in how households consume energy. The first variable that explains the way households consume energy is through the time of presence of individuals in the house (*hours of vacancy*). We expect the energy consumption and expenditure to be lower when households let their house vacant for a long time during the day. Also, the *Phébus* database provides us stated *preferences* regarding whether households prioritize comfort over energy savings. If they do so, we expect them to consume more energy.

As we are interested in the link between energy services and transport costs, we add in our model the energy expenditures for transport (*FuelExp*). All of the fuel costs of the dwelling are summed up. This information will give us a possible indirect rebound effect between these two energy sectors. Thus, we expect this variable to have a negative sign as energy costs for transports reduce the net income.

Price of energy is known to be a long-term driver of energy consumption. Unfortunately, we do not have the price in our database. However, as we have only one year of consumption, prices have not evolved much for the period. Also, prices would not really reflect the cost of energy consumption as households may have different flat rates and different ways to consume energy services. We tried to compute an average cost using the volume consumed divided by the expenditures but it did not improve our model and could imply problems of endogeneity.

Table 1.4: Descriptive statistics

Continuous variables		Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
	<i>EE</i>	1.562	11.490	15.260	16.650	20.080	49.990
	<i>EC</i>	3.292	112.500	159.700	179.300	226.200	647.100
	<i>Nb.rooms</i>	1	4	5	4.743	5	8
	<i>Income</i>	5054	25980	37850	41640	51060	220700
	<i>Nb.appliances</i>	1	8	10	9.964	12	15
	<i>FuelExp</i>	1	840	1440	1902	2602	12590

Discrete Variables	Variable	Number	%	Discrete Variables	Variable	Number	%
Energy Certificate	<i>AB</i>	31	2,31%	Professional occupation	<i>Homeowner</i>	1158	86,16%
	<i>C</i>	179	13,32%		<i>Farmer</i>	16	1,19%
	<i>D</i>	370	27,53%		<i>Business.Owner</i>	46	3,42%
	<i>E</i>	422	31,40%		<i>Executive</i>	148	11,01%
	<i>F</i>	195	14,51%		<i>Intermediate</i>	161	11,98%
	<i>G</i>	147	10,93%		<i>Employee</i>	107	7,96%
Location	<i>Rural</i>	436	32,44%	<i>Worker</i>	196	14,58%	
	<i>SmallCity</i>	416	30,95%	<i>NonWorking</i>	670	49,85%	
	<i>BigCity</i>	492	36,61%	Electricity tariffs	<i>SingleRate</i>	601	44,72%
Age	<i>40&lt;</i>	171	12,72%		<i>Peak/Off-Peak</i>	743	55,28%
	<i>40-50</i>	292	21,72%	Sources of energy	<i>OneEnergy</i>	163	12,13%
	<i>50-60</i>	278	20,68%		<i>TwoEnergies</i>	775	57,66%
	<i>60-70</i>	328	24,40%		<i>ThreeEnergies</i>	406	30,21%
Gender	<i>+70</i>	275	20,46%	Preferences	<i>Comfort</i>	385	28,65%
	<i>Woman</i>	364	27,08%		<i>Indifferent</i>	606	45,09%
Composition	<i>Single</i>	221	16,44%	<i>Savings</i>	353	26,26%	
	<i>Couple</i>	498	37,05%	Hours of vacancies	<i>Lessthan4</i>	836	62,20%
	<i>SingleParent</i>	87	6,47%		<i>Between4&amp;8</i>	298	22,17%
	<i>Children</i>	538	40,03%		<i>Morethan8</i>	210	15,63%

### 1.4.3 Estimation strategy

Recall that we estimate two energy indicators - the energy expenditure EE and the energy consumption EC - associated with the domestic housing sector regarding our theoretical framework. Our estimation strategy is developed in 2 steps. Results will be interpreted in section 5.

In the first step, we estimate the two models using an OLS estimator (cf. Table 1.5) and perform usual tests regarding heteroscedasticity and multicollinearity. The Breusch Pagan tests indicate the presence of heteroscedasticity for our OLS estimates, so we use correction of standard errors (Zeileis 2004). The Variance Inflation Factors of our variables remain inferior to 5, suggesting the absence of multicollinearity. This step is interesting in order to compare our results to the rest of the literature and to our subsequent models.

Then in a second step, we use quantile regressions (cf. Table 1.6 and Table 1.7). Quantile regression uses conditional quantiles instead of the conditional mean in linear regression. This step is motivated by at least three reasons.

- First of all, as pointed out by Valenzuela *et al.* (2014), quantile regressions are robust to skewed distribution and to outliers, which is frequent when dealing with energy consumption data.
- Our second motivation is to observe the impacts of the variables on the entire distributions of energy expenditure and energy consumption and not only as a trend: according to the quantile, some impacts may change or become significant or even have an opposing effect (Kaza 2010). Since we introduce a technology constraint to produce energy services, we cannot forget that the technology could be more or less restrictive: then we may suspect different results according to the quantiles.
- Our final motivation concerns public policies and more specifically targeting. As pointed out by Kaza (2010), if households respond differently to changes, policies should target differently households in order to remain efficient and fair. For instance, in the case of energy management, it would be detrimental to worsen energy poverty or to have no reduction in consumption for the biggest consumer of energy.

To our knowledge, two papers use quantile regressions to estimate the demand for domestic energy: Kaza (2010) and Valenzuela *et al.* (2014).

The estimates presented in the article of Kaza (2010) aimed at understanding precisely the role of price and climate on energy consumption. He found strong variations of the effects of these variables at the tails of the distribution. For instance, he found that a one dollar increase in energy prices would reduce 3 times more the energy consumption at the upper tail of the distribution than at the lower one.

The second paper (Valenzuela *et al.*, 2014) studies the effects of housing characteristics and household composition on monthly energy consumption. The authors found that the contributions of some factors such as the number of people in the dwelling, the age reference person, the absence of a central air conditioner, or even tenure, are stronger for the higher quantiles. They pointed out the need to have alternative strategies for energy management since

factors influence differently energy consumption according to the amount of energy consumed by households.

These papers didn't investigate the question of spatial determinants and of the technology constraints. Our empirical model includes the location of the house, some constraints for the production of energy services and finally questions the relationship between transport costs and energy consumption.

## 1.5 Results

Results for the OLS are presented in Table 1.5. Table 6 shows the results of the quantile regression for energy consumption EC, while the results for the energy expenditures EC are showed in Table 1.7. Graphical results for the quantile regressions are in Appendix A and B.

The continuous variables were log-transformed so they can be directly interpreted as elasticities. Though, the elasticity from a dummy variable is calculated using Halvorsen and Palmquist (1980) transformation :  $\exp(\hat{\beta}) - 1$ .

### 1.5.1 OLS estimates of energy consumption and expenditures

Results for OLS estimates of EC and EE can be seen respectively in the second and the third column of Table 1.5.

For both models, housing characteristics are the first determinant. Indeed, the energy performance of a dwelling, as evaluated by the DPE label and given by the variable "*Certificate*", has a partial  $R^2$  of 7%. Higher quality houses are associated with less energy expenditures and less energy consumed. For instance, households living in a dwelling labeled G will consume 43% more than a household living in dwelling labeled D.

Looking at the other characteristics of the dwelling, the number of rooms has a negative impact on both energy consumption and energy expenditure. For a given surface area, as the number of room increases, the average size of rooms is reduced and therefore the dwelling is easier to heat, requiring less energy. The impact on expenditure is bigger than the impact on consumption. Concerning the location of houses, the density of the urban area reduces energy consumption. In average, households living in big cities consumed almost 6% less energy than households located in medium-sized cities. Note that we don't find any significant results for the rural areas.

Looking at the household characteristics, we find significant positive but relative small income elasticities (0.13 for energy expenditure, and 0.10 for energy consumption). As predicted by energy demand models, an increase in income is associated with an increase in the energy consumed. These short-terms elasticities are coherent with other results found in the literature: for instance, Zhou and Teng (2013) found an income elasticity of 14%, Romero-Jordán and co-

authors (2014) one of 31%, and Yoo and co-authors (2007) one of 6%. In the case of our model (see equation (1.32), page 49, section III), it is consistent with an increase in the energy services consumed.

The age and the gender of the reference person are not significant and we are not able to detect a generational effect. It means that we are not able to confirm neither the emergence of new energy services amongst the youth (Brounen *et al.*, 2012) nor a positive effect for elderly households (Bedir *et al.*, 2013; Valenzuela *et al.*, 2014; McLoughlin *et al.*, 2012).

Looking at the household composition, the variable “children” is the only one to be significant and is an increasing factor of energy consumption. For a couple, having children increases energy consumption and energy expenditures by 11%. This result is consistent with others findings in the literature and is easily explained by the special energy services needed for children - heat, appliances...- (Jones and Lomas 2015).

We do not observe any impact of the employment status. We do not find any significant results for the socioeconomic class, except for “*BusinessOwner*” which consume on average more energy than the “*Executive*”.

Looking at tenure, we note that to be the owner of his dwelling significantly reduces the energy expenditures but has no significant effect on energy consumption. Homeowners have their energy bills reduced by 8.2 % compared to tenants. This could be the result of the split incentive problem for tenants (Charlier, 2015; Gillingham *et al.*, 2012): since the owner of the dwellings decide for the refurbishment measures but tenants earn the benefits from it, owners are discouraged to invest in energy efficiency.

Concerning the technology of consumption, our results show that the more appliances households have, the more they consume energy. Indeed, each additional appliance leads to a 1.8% increases in energy expenditures. As expected, households who registered to a peak/off-peak rate have reduced energy expenditure (15.6%) since they can adapt their consumption to the price variations. More surprisingly is the significant effect of this variable on energy consumption. This could be interpreted as households having a night-and-day tariff are more aware of their consumption of energy, and therefore they try to reduce it.

Interestingly, the more sources of energy households have, the more they consume energy and the more are the energy expenditures. As discussed in the previous section, we could expect that households with multiple energy sources would swap between energies as prices vary, and therefore reduce their energy bills. It seems that energy sources are most of the time complementary and are linked to specific energy services (for instance electric for cooking, gas for the heating system). Thus, multiplying energy sources do not offer a technological opportunity to reduce energy bills, but amplifies the exposure to an increase in energy prices.

Behavioral variables have small effects on the level of energy consumption and energy expenditures. We find that hours of vacancy are associated with fewer energy expenditures. As expected, households who declare a preference for comfort over savings have in average a superior energy bill of 6% compared to indifferent households.

As predicted by our theoretical model, we observe a small but significant negative effect of fuel expenditures on energy expenditure. The substitution effect has an elasticity of -0.014. It means that if we decrease our fuel consumption by 1%, we increase our energy consumption by 0.014%. For instance, if a household living in an average sized-house (90 square meters) increases his fuel expenditure by 10% (190 euros), he will reduce his energy consumption by 21 euros.

This is quite an important result as it shows an indirect rebound effect between the consumption of energy for transport and domestic energy services (see section III, equations (1.35) and 1.36), page 51). This important result should be taken into account when considering energy management. Indeed, this indirect rebound effect has to be added to the rebound effect when considering refurbishment effects on energy consumption. This amplifies the effort needed to reach energy management.

Overall, dwelling and household characteristics are the first determinants of energy consumption, the behavioral dimension playing a second role. Energy certificates are still a great indicator of energy consumption, but the level of energy consumed will more depend on household characteristics. We also observe that the technology of production of energy services plays a key role in the amount of energy expenditure and energy consumption. Eventually, we observed a substitution effect between domestic energy expenditures and energy used for transport.

**Table 1.5: Ols estimates for energy expenditure and energy consumption**

Dependent variable		EE			EC			
Variables		Coef.		S.E.	Coef.		SE	
Intercept		1,114	***	0,359	3,482	***	0,456	
Certificate	AB	-0,177	**	0,081	-0,189	**	0,078	
	C	-0,034		0,040	-0,071	*	0,041	
	D	Ref.			Ref.			
	E	0,137	***	0,031	0,151	***	0,036	
	F	0,188	***	0,039	0,192	***	0,046	
	G	0,288	***	0,045	0,360	***	0,063	
Room	Nb.rooms	-0,053	***	0,010	-0,035	***	0,013	
Location	Rural	-0,023		0,030	-0,014		0,037	
	SmallCity	Ref.			Ref.			
	BigCity	0,005		0,030	-0,060	*	0,033	
Age	40<	-0,015		0,043	-0,031		0,047	
	40-50	Ref.			Ref.			
	50-60	0,027		0,045	0,010		0,051	
	60-70	0,003		0,060	-0,011		0,065	
	+70	0,008		0,065	0,014		0,074	
Gender	Woman	0,029		0,033	0,036		0,039	
	Composition	Single	0,075	*	0,045	-0,045		0,056
		Couple	Ref.			Ref.		
	SingleParent	0,029		0,057	-0,091		0,078	
	Children	0,108	***	0,036	0,111	**	0,043	
Tenure	<i>Homeowner</i>	-0,086	**	0,036	-0,052		0,041	
Income	Income	0,129	***	0,035	0,101	**	0,043	
Professional occupation	<i>Farmer</i>	0,108		0,116	0,194		0,159	
	<i>Business.Owner</i>	-0,023		0,076	0,174	*	0,089	
	<i>Executive</i>	Ref.			Ref.			
	<i>Intermediate</i>	-0,024		0,050	-0,015		0,053	
	<i>Employee</i>	0,019		0,059	0,066		0,064	
	<i>Worker</i>	0,020		0,051	0,079		0,062	
	<i>NonWorking</i>	0,052		0,057	0,074		0,061	
Electricity tariffs	<i>SingleRate</i>	0,145	***	0,026	0,228	***	0,032	
Sources of energy	<i>OneEnergy</i>	Ref.			Ref.			
	<i>TwoEnergies</i>	0,170	***	0,040	0,342	***	0,054	
	<i>ThreeEnergies</i>	0,393	***	0,043	0,605	***	0,056	
Appliances	Nb.appliances	0,018	**	0,006	0,014	*	0,007	
Preferences	Comfort	0,058	**	0,029	0,033		0,032	
	Indifferent	Ref.			Ref.			
	Saving	0,046		0,029	-0,013		0,036	
Hours of vacancy	Lessthan4	Ref.			Ref.			
	Between4&8	-0,031		0,032	-0,037		0,037	
	Morethan8	-0,070	*	0,040	-0,104	**	0,050	
Transport costs	FuelExp	-0,014	*	0,008	-0,009		0,010	
AdjustR2/	Degree of Freedom	0.1982	/	1310	0.2568	/	1310	

\*\*\* indicates significant at 1 percent level, \*\* at 5 percent level, \* at 10 percent level. Robust standard-errors are estimated.

## 1.5.2 Quantile regression

We now present the results of the quantile regressions for the two dependent variables and then we discuss the policy implications. Results are given for the 10<sup>th</sup>, the 25<sup>th</sup>, the median, the 75<sup>th</sup> and the 90<sup>th</sup>. We discriminate by the three quartiles in order to have an overview of the trends. Also, we use the 50<sup>th</sup> percentile to compare with OLS estimates as it gives the closest estimates (Valenzuela *et al.*, 2014). We focus also at the first decile and the last one to look closer to the tails of the distribution.

Estimates are done using a modified version of the Barrodale and Roberts algorithm (Koenker and d'Orey 1994). We use the package named *quantreg* (Koenker 2014). Table 1.6 presents the results for energy consumption EC and Table 1.7 for energy expenditure EE.

### 1.5.2.1 The case of energy consumption

Starting with dwelling characteristics, the *energy certificate* has a varying effect according to the quantiles. For the classes A-B, and C it seems that the negative effects get stronger for the higher quantiles. For the letter E, we observe a decreasing positive effect from Q1 to Q3. But for the letter G we have an increasing effect. Overall, it appears that the quality of the dwelling has more impacts for the upper tail of the distribution: the more households consume energy, the more the variability is explained by the quality insulation of the house.

The variable “*Nb.rooms*” remains quite stable and similar to the estimation given by the OLS. Concerning the location of the dwelling, a negative effect appears for the variable “*Bigcity*” as we look to the upper distribution of the energy consumption. Indeed, living in a big city reduces energy consumption by 9.7% for Q3 and by 13.1% for D9 compared to living in a medium size city. Also for D9, living in a *rural area* increases the energy consumed by 9.6%. Surprisingly, for D1 the variable *rural* has the opposite effect, reducing the energy consumed by the household.

Looking at the household characteristics, the variable *age* has only a significant effect for the variable 70+ for D9, with an energy consumption elasticity of 13%. The *gender* of the reference person, which wasn't significant at all in our OLS estimation, plays a significant and positive role for D1. Indeed, we observe that the energy consumption rises by 9.7% for households in which the reference person is a woman and belonging to the first decile. The variable “*children*” has a positive and decreasing effect with the quantiles. For Q1, having at least one child increases the energy consumption by 13.2%; this number being 6.9% for Q3. The variable “*single*” is significant for the median. Also, being single reduce significantly the energy consumed by 10% compared to a couple.

An interesting result is that the elasticity income decreases with the quantiles, and *income* becomes even inelastic for the higher quantiles. Indeed, the income elasticity is 0.174 for Q1, and only 0.112 for Q3, and is even going down to 0.086 for D9.

Concerning the other socioeconomic variables, we can see that the variables “*Employee*” and “*Worker*” increase in effect with quantiles. For instance for Q3, “*Workers*” consume an extra 20% energy compared to households in the “*Executive*” class. Also, contrary to OLS, we find a significant result for the “*Nonworking*” class for Q2, with increased consumption of 7.5% compared to “*Executives*”.

Our quantile regressions reveal the significant effect of socioeconomic variables. Overall, the effect of socioeconomic variables seems to be stronger for the upper tail of the energy consumption distribution with coefficients getting bigger.

Concerning the technology of consumption, the *number of appliances* is only significant for Q1 and Q2 and seems to have no significant impact for the biggest level of consumption. An additional appliance drives a 1.4% rise in energy consumption for Q1. The variables describing the *number of sources of energy* and the *electricity rate* remain quite stable whatever the quantile and coefficients are relatively close to the OLS estimates.

Concerning the behavior variables, the variables describing households’ preferences for “*comfort*” or “*savings*” are still not significant. Looking at the *hours of vacancy*, only the variable “*Morethan8*” is significant for D1, Q3, and D9, reducing energy consumption by 8.1% for Q3.

For the variable *fuel expenditure*, the elasticity varies between 0.3% (D1) and 1.5% (Q1), confirming the result found for the OLS estimate.

Table 1.6: Energy consumption (KW/year/m2)

Decile		D1: 10%		Q1: 25%		Q2: 50%		Q3: 75%		D9: 90%	
Variables		Coef.	SE	Coef.	SE	Coef.	SE	Coef.	SE.	Coef	SE
	<i>Intercept</i>	2,511***	0,629	2,354***	0,401	3,154***	0,397	3,729***	0,407	4,233***	0,287
Certificate	<i>AB</i>	-0,093	0,090	-0,138**	0,061	-0,169***	0,047	-0,346***	0,064	-0,214	0,366
	<i>C</i>	0,052	0,056	0,000	0,035	-0,052	0,035	-0,132***	0,041	-0,154***	0,036
	<i>D</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>E</i>	0,179***	0,048	0,223***	0,034	0,175***	0,036	0,139***	0,039	0,143***	0,035
	<i>F</i>	0,227***	0,071	0,224***	0,058	0,231***	0,045	0,161***	0,045	0,168***	0,038
	<i>G</i>	0,254**	0,104	0,370***	0,059	0,440***	0,057	0,431***	0,059	0,472***	0,052
Room	<i>Nb.rooms</i>	-0,048***	0,018	-0,027**	0,012	-0,048***	0,011	-0,031**	0,013	-0,028***	0,008
Location	<i>Rural</i>	-0,096**	0,039	-0,032	0,046	-0,008	0,035	0,018	0,040	0,092***	0,031
	<i>SmallCity</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>BigCity</i>	0,002	0,053	0,014	0,032	-0,070**	0,032	-0,102***	0,036	-0,141***	0,025
Age	<i>40&lt;</i>	-0,075	0,058	-0,011	0,050	-0,042	0,034	-0,084	0,055	0,037	0,038
	<i>40-50</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>50-60</i>	0,027	0,042	-0,025	0,040	0,002	0,038	-0,020	0,039	0,046	0,034
	<i>60-70</i>	-0,043	0,082	-0,096	0,063	-0,038	0,053	-0,033	0,060	0,037	0,049
	<i>+70</i>	-0,158	0,136	-0,065	0,067	0,068	0,060	0,047	0,076	0,122**	0,050
Gender Composition	<i>Woman</i>	0,093*	0,050	0,066	0,041	0,022	0,027	0,008	0,033	0,013	0,035
	<i>Single</i>	0,033	0,079	-0,045	0,046	-0,106**	0,049	-0,026	0,055	0,038	0,042
	<i>Couple</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>SingleParent</i>	-0,280	0,180	-0,043	0,111	0,033	0,047	-0,035	0,049	-0,087*	0,047
Tenure	<i>Children</i>	0,253***	0,045	0,124***	0,036	0,071*	0,039	0,067	0,042	0,052	0,032
	<i>Homeowner</i>	-0,164***	0,058	-0,054	0,044	-0,065**	0,029	0,017	0,054	0,007	0,022
	<i>Income</i>	0,141**	0,060	0,174***	0,038	0,143***	0,038	0,112***	0,039	0,086***	0,029
	<i>Profession</i>	0,146**	0,070	0,167	0,140	0,302***	0,083	0,307***	0,086	0,187*	0,096
Profession	<i>Business.Owner</i>	0,102	0,074	0,261***	0,078	0,178	0,143	0,343***	0,076	0,191***	0,049
	<i>Executive</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>Intermediate</i>	-0,022	0,063	0,014	0,045	0,005	0,042	0,036	0,047	-0,010	0,039
	<i>Employee</i>	-0,084	0,096	0,106	0,093	0,082	0,051	0,122**	0,053	0,111**	0,052
	<i>Worker</i>	-0,041	0,057	0,099*	0,059	0,082	0,051	0,185***	0,065	0,246***	0,051
	<i>NonWorking</i>	0,106	0,082	0,190***	0,060	0,087	0,053	0,129**	0,059	0,051	0,045
Electricity Sources of energy	<i>SingleTariff</i>	0,234***	0,042	0,249***	0,030	0,234***	0,030	0,183***	0,032	0,191***	0,026
	<i>OneEnergy</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>TwoEnergies</i>	0,299***	0,068	0,313***	0,038	0,283***	0,045	0,351***	0,042	0,316***	0,026
	<i>ThreeEnergies</i>	0,638***	0,073	0,578***	0,050	0,533***	0,047	0,558***	0,045	0,449***	0,034
Preference	<i>Nb.appliances</i>	0,014	0,010	0,012*	0,006	0,014**	0,006	0,005	0,007	0,007	0,005
	<i>Comfort</i>	0,140***	0,038	0,041	0,029	0,031	0,032	0,045	0,032	0,003	0,026
	<i>Indifferent</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>Saving</i>	-0,091	0,066	-0,017	0,040	0,012	0,029	-0,029	0,037	0,018	0,024
Vacancy	<i>Lessthan4</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>Between4&amp;8</i>	-0,025	0,042	-0,016	0,038	-0,009	0,035	-0,024	0,034	-0,030	0,033
	<i>Morethan8</i>	-0,097*	0,056	-0,027	0,056	-0,047	0,036	-0,085*	0,044	-0,123***	0,027
Transport costs	<i>FuelExp</i>	-0,003***	0,009	-0,015	0,010	-0,007***	0,007	-0,011***	0,015	-0,008***	0,006

\*\*\* indicates significant at 1 percent level, \*\* at 5 percent level, and \* at 10 percent level.

### 1.5.2.2 The case of energy expenditures

Looking now to energy expenditures (Table 1.7) and *energy certificate*, we observe that for the labels E, F and G, the effects get stronger with higher quantiles. For instance, for the first decile, the energy expenditures increase by 22% for a level G house compared to a D one. This difference goes up to 54.7% for D9. For the letters A B, we only have significant results for Q1 (-16.3%) and Q3 (-19.3%), and for level C only for Q3 (-5.6%).

Results for the *number of rooms* and for the variable “*Rural*” are similar to the OLS estimates. For the location, one interesting point is the sign inversion for the variable “*Bigcity*”: for D1, living in a “*Bigcity*” increases energy expenditure by 9% but for Q3 it decreases by 7.1%.

Concerning households’ characteristics, results for *Age* variables are more significant, with a positive relationship between age and energy expenditures. For instance, for Q2, if the reference person is older than 70, then the household’s energy expenditure will be 10.4%. Interestingly, age has a significant and positive impact for D9 for each category expect to the “<40”. Elderly spent more to consume energy services and this effect is particularly strong for high levels of consumption. This result reminds us that age can be a great source of energy poverty. At the opposite of the energy spectrum, younger people spent less on energy. This may be a sign of a generational effect, with new behavior of consumption appearing with the new generations.

Looking now at the household composition, we can see a decreasing effect of the variable “*children*” on energy expenditures, going from 17% for D1 to 8.7% for D9. The other variables describing the household composition are not significant, except for the variable “*single*” for D9, which is associated with a strong increase of 19.2% of energy expenditures compared to the reference category “*couple*”.

*Income* appears to be an important determinant of energy expenditure, having an increasing effect for higher quantiles: an elasticity of 10.6% for Q1, 12.2% for Q2 and 15.5% for Q3. Contrary to the energy consumption model, the other socioeconomic variables do not have a strong impact: we only observe significant and positive elasticities for Q2 and Q3 for the variables “*Employee*”, “*Worker*”, and for “*Nonworking*”. Being a landowner significantly reduces energy expenditures for the lowest quantiles (D1, Q1, and Q2), confirming the split incentives problem as discussed previously.

Concerning variables describing the technological constraint, we see that the *number of sources of energy* has a positive impact on energy expenditures, and this effect is stronger for the first quantiles. At first sight, having multiple sources of energy appeared to be a bargain since households could swap between energies to enjoy the cheapest energy. In fact, we observe that the multiple sources of energy increase energy expenditure. For instance, for the first quantile, households having two sources of energy have a total energy bill 18.2% higher than households consuming only one type of energy. As discussed above, energy inputs are probably not substitutable to produce energy services, which results in higher energy costs.

Table 1.7: Energy Expenditures (Euros/Year/m2)

Decile		D1: 10%		Q1: 25%		Q2: 50%		Q3: 75%		D9: 90%	
<i>Variable</i>		Coef.	SE	Coef.	SE	Coef.	SE	Coef.	SE.	Coef	SE
<i>Intercept</i>		0,513	0,459	1,033***	0,355	1,147***	0,343	1,103***	0,315	1,879***	0,370
<i>Certificate</i>	<i>AB</i>	-0,266	0,377	-0,178***	0,042	-0,164	0,123	-0,214***	0,058	-0,229	0,309
	<i>C</i>	-0,017	0,064	-0,033	0,027	-0,019	0,032	-0,058*	0,032	-0,057	0,064
	<i>D</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>E</i>	0,140***	0,047	0,143***	0,023	0,162***	0,028	0,153***	0,027	0,170***	0,030
	<i>F</i>	0,118**	0,053	0,143***	0,055	0,238***	0,040	0,252***	0,044	0,318***	0,037
	<i>G</i>	0,199***	0,052	0,239***	0,061	0,297***	0,048	0,351***	0,056	0,436***	0,089
<i>Room Location</i>	<i>Nb.rooms</i>	-0,068***	0,012	-0,033***	0,010	-0,052***	0,010	-0,054***	0,010	-0,027**	0,011
	<i>Rural</i>	-0,038	0,046	-0,038	0,029	-0,045	0,037	-0,041	0,026	0,027	0,035
	<i>SmallCity</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>BigCity</i>	0,087**	0,042	0,027	0,022	-0,029	0,027	-0,074***	0,029	-0,012	0,035
<i>Age</i>	<i>40&lt;</i>	-0,094*	0,054	-0,069**	0,033	-0,026	0,040	-0,003	0,037	0,045	0,041
	<i>40-50</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>50-60</i>	-0,060	0,054	-0,018	0,038	0,059*	0,035	0,049*	0,034	0,114***	0,037
	<i>60-70</i>	-0,046	0,074	-0,008	0,051	0,056	0,049	0,008	0,055	0,078**	0,039
	<i>+70</i>	-0,235**	0,096	0,006	0,057	0,099*	0,059	0,056	0,064	0,125**	0,049
<i>Gender Composition</i>	<i>Woman</i>	0,015	0,037	0,046*	0,023	0,017	0,025	-0,001	0,032	0,005	0,033
	<i>Single</i>	0,097	0,068	0,068*	0,037	0,013	0,043	0,029	0,052	0,176***	0,049
	<i>Couple</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>SingleParent</i>	-0,079	0,078	0,052	0,087	0,047	0,042	0,030	0,057	-0,007	0,068
	<i>Children</i>	0,157***	0,044	0,124***	0,035	0,125***	0,035	0,046*	0,032	0,084***	0,031
<i>Tenure</i>	<i>LandOwner</i>	-0,117**	0,048	-0,103***	0,036	-0,119***	0,033	-0,049	0,037	-0,038	0,033
<i>Income</i>	<i>Income</i>	0,165***	0,043	0,106***	0,033	0,122***	0,033	0,155***	0,030	0,070**	0,035
<i>Profession</i>	<i>Farmer</i>	0,140	0,126	0,122	0,076	0,009	0,295	0,162**	0,068	0,020	0,082
	<i>Business.Owner</i>	-0,177	0,182	-0,025	0,095	-0,032	0,060	0,050	0,063	0,033	0,114
	<i>Executive</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>Intermediate</i>		0,064	-0,039	0,040	0,007	0,043	0,039	0,052	-0,037	0,053
	<i>Employee</i>	-0,056	0,072	-0,076	0,059	0,083	0,058	0,087**	0,040	-0,016	0,100
	<i>Worker</i>	-0,068	0,076	-0,006	0,050	0,033	0,046	0,111***	0,042	0,083	0,068
	<i>NonWorking</i>	0,062	0,070	0,009	0,053	0,072	0,045	0,077	0,050	0,002	0,054
<i>Electricity Sources of energy</i>	<i>SingleTariff</i>	0,138***	0,034	0,142***	0,024	0,159***	0,025	0,160***	0,025	0,145***	0,026
	<i>OneEnergy</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>TwoEnergies</i>	0,226***	0,077	0,167***	0,038	0,153***	0,048	0,145***	0,043	0,130**	0,056
	<i>ThreeEnergies</i>	0,470***	0,085	0,405***	0,043	0,340***	0,049	0,354***	0,048	0,304***	0,058
	<i>Nb.appliances</i>	0,004	0,009	0,023***	0,005	0,021***	0,006	0,021***	0,006	0,011*	0,006
<i>Preference</i>	<i>Comfort</i>	0,140***	0,037	0,103***	0,024	0,032	0,026	0,006	0,026	0,006	0,034
	<i>Indifferent</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>Saving</i>	0,056	0,048	0,049*	0,028	0,024	0,029	0,051*	0,030	0,064**	0,028
<i>Vacancy</i>	<i>Lessthan4</i>	Ref.		Ref.		Ref.		Ref.		Ref.	
	<i>Between4&amp;8</i>	-0,111***	0,036	-0,064**	0,029	-0,006	0,029	-0,016	0,026	0,005	0,031
	<i>Morethan8</i>	-0,062	0,059	-0,059*	0,035	-0,029	0,035	-0,077**	0,038	-0,085**	0,038
<i>Transport costs</i>	<i>FuelExp</i>	-0,020*	0,012	-0,017***	0,006	-0,011*	0,007	-0,016**	0,007	0,016	0,014

\*\*\* indicates significant at 1 percent level, \*\* at 5 percent level, and \* at 10 percent level.

For *electricity pricing*, we find the same results as in the energy consumption model. Indeed, having a single rate for electricity increase energy expenditures and this effect tends to rise up for higher quantiles. For example, households with a single electric tariff have to bear an additional 16.1% of energy expenditures for Q3. Having a peak/off-peak pricing system allows households to spend less money in energy as they adapt their consumption of energy services according to when it's cheaper.

The behavior appears to be a greater determinant of energy expenditures than for energy consumption. We find significant and negative results for *hours of vacancy*: the more a house is vacant, the less energy is spent. We also find that “*Comfort*” has a strong positive impact on energy expenditures for D1 and Q1 but is not significant for the other quantiles. We observe for instance that households declaring a preference for comfort over savings spend 10,8% more money for energy for Q1. Interestingly, households declaring a preference for savings over comfort spend also more money for Q3 and D9 than household being indifferent. As it is a declarative variable, we may think that people living in poorly insulated houses, who have large energy expenditures, are in fact trying to reduce their energy consumption. At the opposite, people who do not need much energy due to an efficient technology of production of energy services can privilege comfort and so consume more energy. Here the technology constraint may play a significant role since it affects differently households' behaviors according to their energy expenditures.

Finally, our variable of interest, the *fuel expenditures*, shows a substitution effect with energy expenditures. The energy expenditure elasticity varies between 1.5 and 2% according to the quantile confirming the presence of a link between the transport costs and home energy consumption.

### 1.5.2.3 Discussion and policy implications

Clearly, our results suggest that the energy-efficiency of dwellings is the first determinant of energy consumption. Energy management policies should focus on renovating old and poor insulated dwellings. We also found that the more energy households consume, the more housing quality plays a key role. We think that refurbishment policies should target households who have the highest energy consumption, leading to efficient renovations and reducing energy vulnerability.

However, we saw that household characteristics also impact energy consumption and energy expenditure. The level of income and having children are the greater determinant in this category of variables. Income has a stronger effect for lower quantiles. It seems to indicate that the potential rebound effect will be stronger for households who do not consume much energy. We also observe a potential generational effect which points out a vulnerable population: the elderly, and a population changing his habits of consumption: the youth.

We found that the technology of producing energy services is also an important determinant for energy consumption. Technology and even more the sources of energy seem to shape a real constraint for households. Policymakers should consider these constraints that can become obstacles to energy management policies preventing households from changing their behavior of consumption

Eventually, we found a potential indirect rebound effect between transport and energy services. This effect should be verified by future analysis and be taken into account when planning future energy demands.

## 1.6 Conclusion

Introducing energy consumption as a component of the household's choice of location allowed us to analyze the interactions between transportation, consumption of energy services and location of the household. We found that the household's choice of location is the result of a trade-off between the cost of transportation and a residential cost, which is the sum of the cost of the dwelling and energy costs. Therefore, the household's choice of location is impacted by the way households consume energy services (technology of production, i.e. energy efficiency of the dwelling or appliances). This model also exposed that the demand for energy services and consequently energy demand both depend on the choice of location.

To complete the analysis, we estimated an energy demand model using quantile regression. Our empirical analysis confirmed the importance of housing quality to reduce energy consumption. We also observed that the technology for the production of energy services affect energy consumption as well as energy expenditures. One of these constraints is the location of the house which impacts energy consumption: we found that urban density reduces the energy consumed by households. Finally, we found an estimated indirect rebound effect of 1.5% between fuel expenditure and energy expenditure.

It would be interesting to pursue our work in multiple directions. Our theoretical model could be expanded in order to look through different kind of energy services and different model of cities and see how the interaction between space, choice of location and energy consumption evolves. Regarding our empirical analysis, it would be interesting to have data on detailed energy services in order to compute in the finest way the technological constraint and see how it evolves according to the consumption spectrum.

In this chapter, we saw the key role played by housing characteristics on energy consumption. In the next chapter, we will be interested in the promotion of energy-efficient buildings through the development of the green value.

## Bibliography

- Abrahamse, W., and Steg, L. (2009). How do socio-demographic and psychological factors relate to households' direct and indirect energy use and savings?. *Journal of Economic Psychology*, 30(5), 711-720.
- Ademe, Les chiffres clés 2015 Climat, air et énergie. Edition 2015. ISBN 979-10-297-0309-6
- Alberini, A., and Filippini, M. (2011). Response of residential electricity demand to price: the effect of measurement error. *Energy Economics*, 33(5), 889-895.
- Alberini, A., Gans, W., and Velez-Lopez, D. (2011). Residential consumption of gas and electricity in the US: the role of prices and income. *Energy Economics*, 33(5), 870-881.
- Alonso, W. (1964). Location and land use. *Cambridge, Mass.: Cambridge University Press.*
- Becker, G. S. (1965). A Theory of the Allocation of Time. *The Economic Journal*, 75, 493-517.
- Bedir, M., Hasselaar, E., and Itard, L. (2013). Determinants of electricity consumption in Dutch dwellings. *Energy and Buildings*, 58, 194-207.
- Belaïd, F. (2016). Understanding the spectrum of domestic energy consumption: empirical evidence from France. *Energy Policy*, 92, 220-233.
- Bernard, J. T., Bolduc, D., and Yameogo, N. D. (2011). A pseudo-panel data model of household electricity demand. *Resource and Energy Economics*, 33(1), 315-325.
- Blasch, J., Boogen, N., Filippini, M., and Kumar, N. (2017). Explaining electricity demand and the role of energy and investment literacy on end-use efficiency of Swiss households. *Energy Economics*, 68, 89-102.
- Blázquez, L., Boogen, N., and Filippini, M. (2013). Residential electricity demand in Spain: new empirical evidence using aggregate data. *Energy Economics*, 36, 648-657.
- Brounen, D., Kok, N., and Quigley, J. M. (2012). Residential energy use and conservation: economics and demographics. *European Economic Review*, 56(5), 931-945.
- Büchs, M., and Schnepf, S. V. (2013). Who emits most? Associations between socio-economic factors and UK households' home energy, transport, indirect and total CO2 emissions. *Ecological Economics*, 90, 114-123.
- Carter, A., Craigwell, R., and Moore, W. (2012). Price reform and household demand for electricity. *Journal of Policy Modeling*, 34(2), 242-252.
- Cayre, E., Allibe, B., Laurent, M.-H., and Osso, D. (2011). There are people in the house! How the results of purely technical analysis of residential energy consumption are misleading for energy policies, in *Proceedings of the ECEEE 2011 Summer Study on Energy Efficiency First: The Foundation of a Low- Carbon Society*, pp. 1675–1683.

- Charlier, D. (2015). Energy efficiency investments in the context of split incentives among French households. *Energy Policy*, 87, 465-479.
- Chong, H. (2012). Building vintage and electricity use: old homes use less electricity in hot weather. *European Economic Review*, 56(5), 906-930.
- Dilaver, Z., and Hunt, L. C. (2011). Modelling and forecasting Turkish residential electricity demand. *Energy Policy*, 39(6), 3117-3127.
- Estiri, H. (2016). Differences in residential energy use between US city and suburban households. *Regional Studies*, 50(11), 1919-1930.
- Eurostat (2017). Energy, transport and environment indicators — 2017 edition.
- Ewing, R., and Rong, F. (2008). The impact of urban form on US residential energy use. *Housing Policy Debate*, 19(1), 1-30.
- Flaig, G. (1990). Household production and the short-and long-run demand for electricity. *Energy Economics*, 12(2), 116-121.
- Filippini, M. (2011). Short-and long-run time-of-use price elasticities in Swiss residential electricity demand. *Energy Policy*, 39(10), 5811-5817.
- Filippini, M., and Hunt, L. C. (2012). US residential energy demand and energy efficiency: A stochastic demand frontier approach. *Energy Economics*, 34(5), 1484-1491.
- Filippini, M., Hunt, L. C., and Zorić, J. (2014). Impact of energy policy instruments on the estimated level of underlying energy efficiency in the EU residential sector. *Energy Policy*, 69, 73-81.
- Fouquet, R. (2014). Long-run demand for energy services: income and price elasticities over two hundred years. *Review of Environmental Economics and Policy*, 8(2), 186-207.
- Fujita, M. (1989). *Urban economic theory: land use and city size*. Cambridge university press.
- Gillingham, K., Harding, M., and Rapson, D. (2012). Split incentives in residential energy consumption. *The Energy Journal*, 33(2), 37-62.
- Grossman, M. (2000). The human capital model. In *Handbook of health economics*, Vol. 1, pp. 347-408.
- Haas, R., Nakicenovic, N., Ajanovic, A., Faber, T., Kranzl, L., Müller, A., and Resch, G. (2008). Towards sustainability of energy systems: a primer on how to apply the concept of energy services to identify necessary trends and policies. *Energy Policy*, 36(11), 4012-4021.
- Halvorsen, B., and Larsen, B. M. (2001). Norwegian residential electricity demand—a microeconomic assessment of the growth from 1976 to 1993. *Energy Policy*, 29(3), 227-236.
- Halvorsen, R., and Palmquist, R. (1980). The interpretation of dummy variables in semilogarithmic equations. *American Economic Review*, 70(3), 474-475.

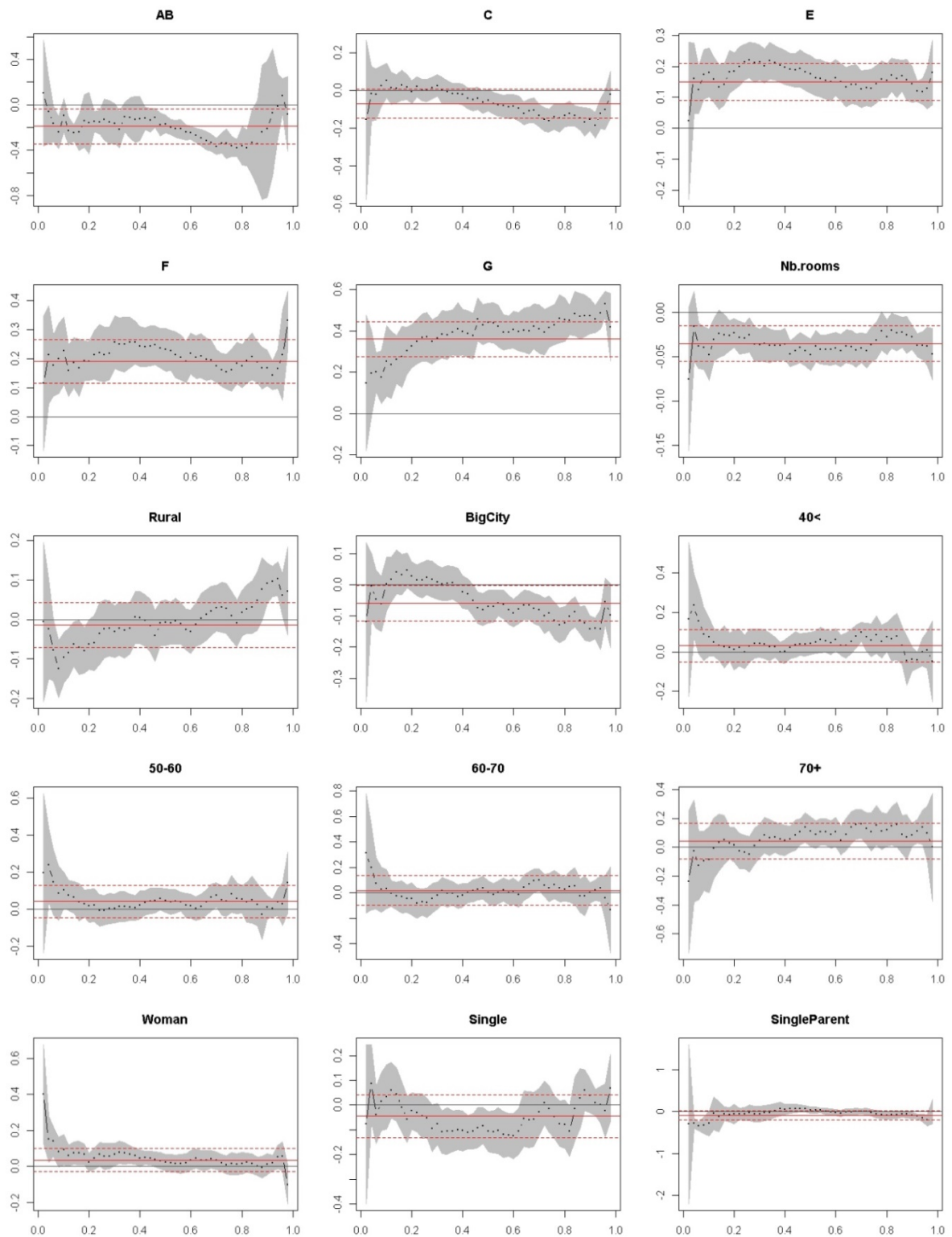
- He, X., and Reiner, D. (2016). Electricity demand and basic needs: empirical evidence from China's households. *Energy Policy*, 90, 212-221.
- Holden, E., and Norland, I. T. (2005). Three challenges for the compact city as a sustainable urban form: household consumption of energy and transport in eight residential areas in the greater Oslo region. *Urban Studies*, 42(12), 2145-2166.
- Huebner, G., Shipworth, D., Hamilton, I., Chalabi, Z., and Oreszczyn, T. (2016). Understanding electricity consumption: a comparative contribution of building factors, socio-demographics, appliances, behaviours and attitudes. *Applied Energy*, 177, 692-702.
- Hunt, L. C., and Ryan, D. L. (2015). Economic modelling of energy services: rectifying misspecified energy demand functions. *Energy Economics*, 50, 273-285.
- Jones, R. V., Fuertes, A., and Lomas, K. J. (2015). The socio-economic, dwelling and appliance related factors affecting electricity consumption in domestic buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 901-917.
- Jones, R. V., and Lomas, K. J. (2015). Determinants of high electrical energy demand in UK homes: socio-economic and dwelling characteristics. *Energy and Buildings*, 101, 24-34.
- Kavgic, M., Mavrogianni, A., Mumovic, D., Summerfield, A., Stevanovic, Z., and Djurovic-Petrovic, M. (2010). A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. *Building and Environment*, 45(7), 1683-1697.
- Kavousian, A., Rajagopal, R., and Fischer, M. (2013). Determinants of residential electricity consumption: using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. *Energy*, 55, 184-194.
- Kaza, N. (2010). Understanding the spectrum of residential energy consumption: a quantile regression approach. *Energy Policy*, 38(11), 6574-6585.
- Koenker, R. (2014). Quantreg: quantile Regression, 2013. R package version 5.
- Koenker, R.W. and d'Orey (1987, 1994). Computing regression quantiles. *Applied Statistics*, 36, 383-393.
- Koenker, R.W. and d'Orey (1987, 1994). Computing regression quantiles. *Applied Statistics*, 43, 410-414.
- Lampin, L. (2013). *Les déterminants spatiaux de la demande et de l'efficacité énergétiques*, Doctoral dissertation, Université Paris-Est.
- Lancaster, K. J. (1966). A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy*, 74(2), 132-157.
- Larsen, B. M., and Nesbakken, R. (2004). Household electricity end-use consumption: results from econometric and engineering models. *Energy Economics*, 26(2), 179-200.

- Le Gallic, T., Assoumou, E., and Maïzi, N. (2017). Future demand for energy services through a quantitative approach of lifestyles. *Energy*, 141, 2613-2627.
- Leahy, E., and Lyons, S. (2010). Energy use and appliance ownership in Ireland. *Energy Policy*, 38(8), 4265-4279.
- Leth-Petersen, S., and Togeby, M. (2001). Demand for space heating in apartment blocks: measuring effects of policy measures aiming at reducing energy consumption. *Energy Economics*, 23(4), 387-403.
- Liu, C., and Shen, Q. (2011). An empirical analysis of the influence of urban form on household travel and energy consumption. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(5), 347-357.
- McLoughlin, F., Duffy, A., and Conlon, M. (2012). Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: an Irish case study. *Energy and Buildings*, 48, 240-248.
- Mills, E. S. (1967). An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area. *The American Economic Review*, 57(2), 197-210.
- Mincer, J. (1963). Market prices, opportunity costs, and income effects. *Measurement in Economics*, 67-82.
- Muellbauer, J. (1974). Household production theory, quality, and the "hedonic technique". *The American Economic Review*, 64(6), 977-994.
- Muth, R. F. (1969). *Cities and Housing: The Spatial Pattern of Urban Residential Land Use*. Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Ndiaye, D., and Gabriel, K. (2011). Principal component analysis of the electricity consumption in residential dwellings. *Energy and Buildings*, 43(2-3), 446-453.
- Newman, P. W., and Kenworthy, J. R. (1989). Gasoline consumption and cities: a comparison of US cities with a global survey. *Journal of the American Planning Association*, 55(1), 24-37.
- Pollak, R. A. (2003). Gary Becker's contributions to family and household economics. *Review of Economics of the Household*, 1(1-2), 111-141.
- Pollak, R. A., and Wachter, M. L. (1975). The relevance of the household production function and its implications for the allocation of time. *Journal of Political Economy*, 83(2), 255-278.
- Poortinga, W., Steg, L., and Vlek, C. (2004). Values, environmental concern, and environmental behavior: a study into household energy use. *Environment and Behavior*, 36(1), 70-93.
- Reid, M. G. (1934). *Economics of household production*. Wiley, New York.
- Romero-Jordán, D., Peñasco, C., and del Río, P. (2014). Analysing the determinants of household electricity demand in Spain. An econometric study. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, 950-961.

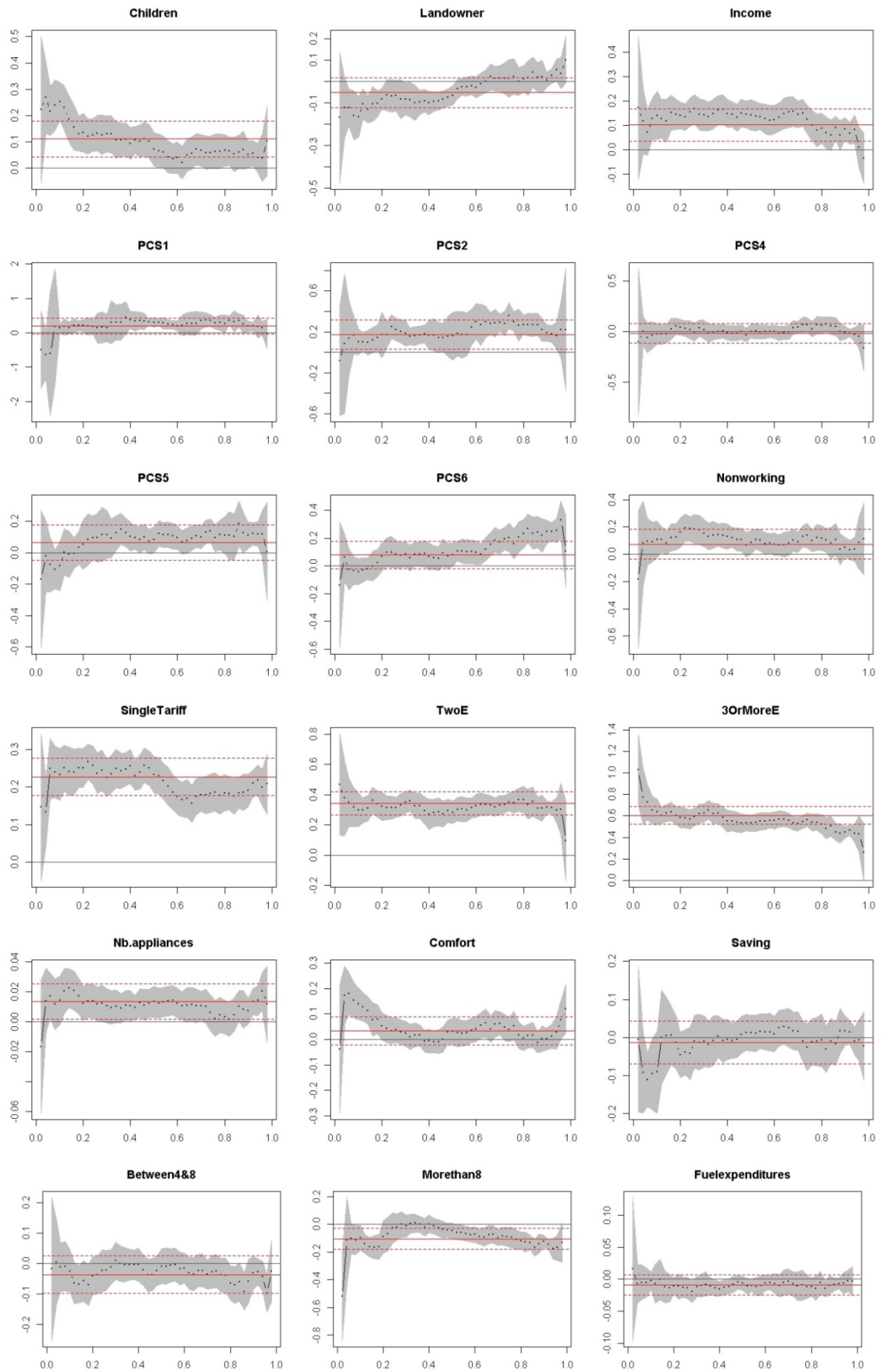
- Salari, M., and Javid, R. J. (2016). Residential energy demand in the United States: analysis using static and dynamic approaches. *Energy Policy*, 98, 637-649.
- Santin, O. G., Itard, L., and Visscher, H. (2009). The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. *Energy and Buildings*, 41(11), 1223-1232.
- Sanquist, T. F., Orr, H., Shui, B., and Bittner, A. C. (2012). Lifestyle factors in US residential electricity consumption. *Energy Policy*, 42, 354-364.
- Schulte, I., and Heindl, P. (2017). Price and income elasticities of residential energy demand in Germany. *Energy Policy*, 102, 512-528.
- Shephard, R. W. (1970). Theory of cost and production functions. *Princeton University Press*.
- Singh, J., Mantha, S. S., and Phalle, V. M. (2018). Characterizing domestic electricity consumption in the Indian urban household sector. *Energy and Buildings*, 170, 74-82.
- Sorrell, S., and Dimitropoulos, J. (2008). The rebound effect: microeconomic definitions, limitations and extensions. *Ecological Economics*, 65(3), 636-649.
- Sovacool, B. K. (2011). Conceptualizing urban household energy use: climbing the “energy services ladder”. *Energy Policy*, 39(3), 1659-1668.
- Swan, L. G., and Ugursal, V. I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: a review of modeling techniques. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(8), 1819-1835.
- Tiwari, P. (2000). Architectural, demographic, and economic causes of electricity consumption in Bombay. *Journal of Policy Modeling*, 22(1), 81-98.
- Trotta, G. (2018). Factors affecting energy-saving behaviours and energy efficiency investments in British households. *Energy Policy*, 114, 529-539.
- Valenzuela, C., Valencia, A., White, S., Jordan, J. A., Cano, S., Keating, J., Nagorski, J. and Potter, L. B. (2014). An analysis of monthly household energy consumption among single-family residences in Texas, 2010. *Energy Policy*, 69, 263-272.
- Van den Bergh, J. C. (2011). Energy conservation more effective with rebound policy. *Environmental and Resource Economics*, 48(1), 43-58.
- Wiesmann, D., Azevedo, I. L., Ferrão, P., and Fernández, J. E. (2011). Residential electricity consumption in Portugal: findings from top-down and bottom-up models. *Energy Policy*, 39(5), 2772-2779.
- Xie, Q., Ouyang, H., and Gao, X. (2016). Estimation of electricity demand in the residential buildings of China based on household survey data. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(35), 15879-15886.

- Yoo, S. H., Lee, J. S., and Kwak, S. J. (2007). Estimation of residential electricity demand function in Seoul by correction for sample selection bias. *Energy Policy*, 35(11), 5702-5707.
- Zeileis, A. (2004). Econometric computing with HC and HAC covariance matrix estimators. *Journal of Statistical Software*, 11(10):1-17.
- Zhao, H. X., and Magoulès, F. (2012). A review on the prediction of building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3586-3592.
- Zhou, S., and Teng, F. (2013). Estimation of urban residential electricity demand in China using household survey data. *Energy Policy*, 61, 394-402.

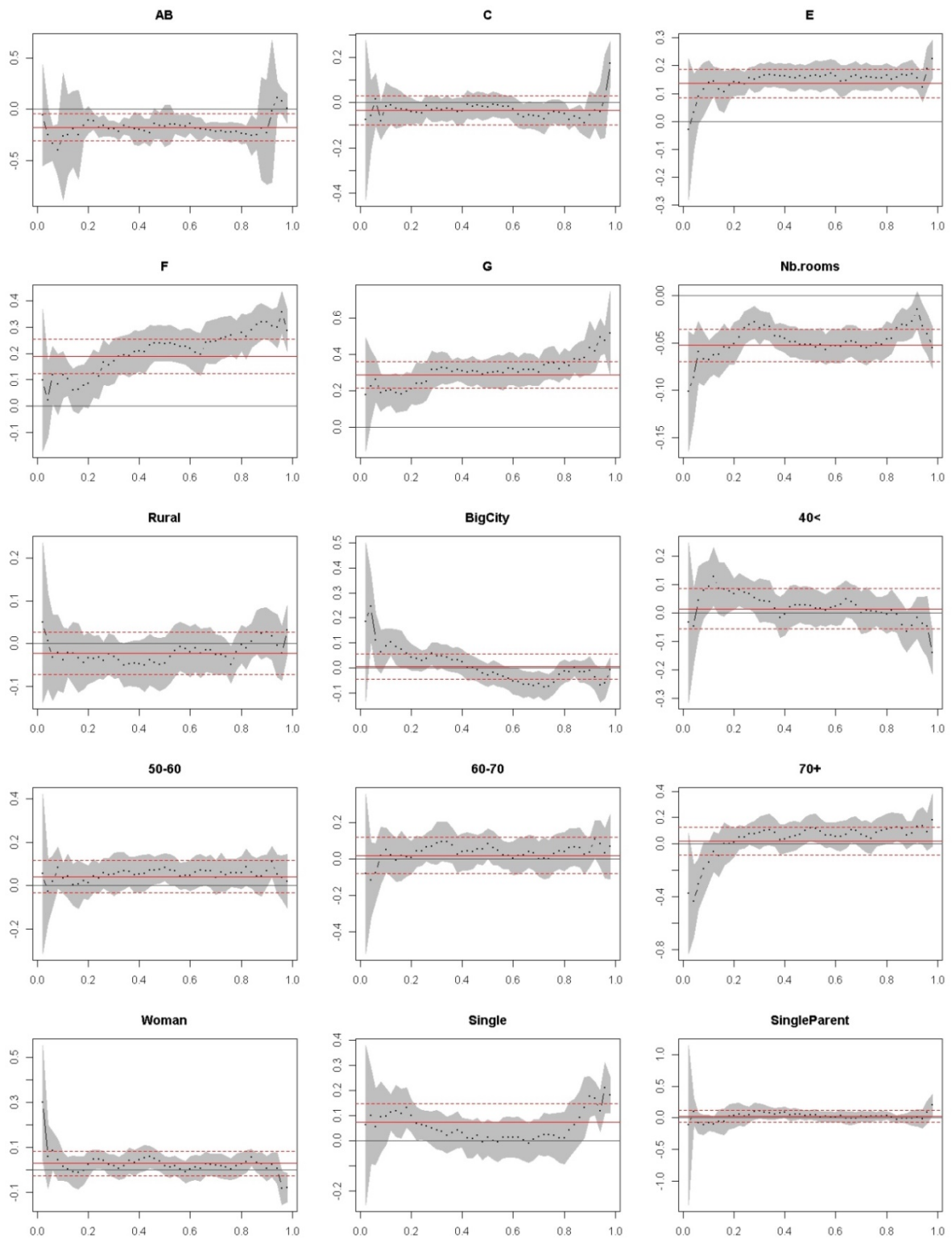
## Appendix 1.A: Graphic results for energy consumption



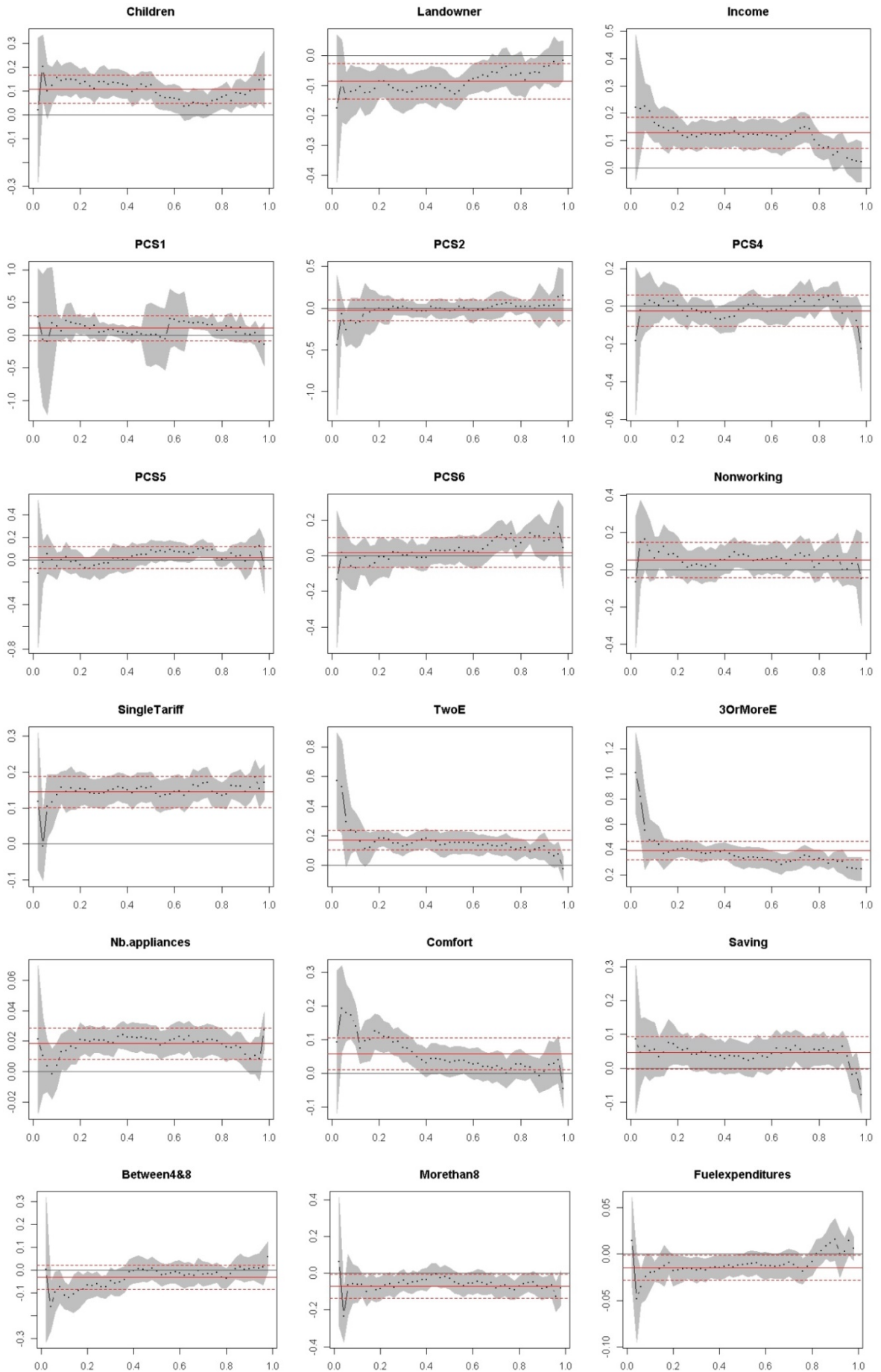
*Reading notes: the red line is the estimated coefficient using OLS and red dots limit the confidence interval. Dots are the estimated quantiles and the grey zone is the confidence interval.*



## Appendix 1.B: Graphic results for energy expenditure



*Reading notes: the red line is the estimated coefficient using OLS and red dots limit the confidence interval. Dots are the estimated quantiles and the grey zone is the confidence interval.*



## 2. Chapitre 2: Does the literature support a high willingness to pay for green label buildings? An answer with treatment of publication bias<sup>12</sup>

Ce chapitre est consacré à l'étude de l'existence de la valeur verte et plus précisément à la question de son évaluation telle qu'elle a été réalisée dans la littérature empirique des deux dernières décennies. L'étude présentée dans le chapitre est une méta-analyse des estimations hédoniques de la valeur verte.

Cette étude a fait l'objet d'un document de travail n°2017-13 de la French Association of Environmental and Resource Economics puis d'un article publié dans la *Revue D'économie Politique*, en 2018, co-écrit avec Florian Fizaine et Catherine Baumont.

Fizaine F., Voyé P., Baumont C, 2018, Does the literature support a high willingness to pay for green label buildings? An answer with treatment of publication bias, *Revue d'Economie Politique*, 2018, 128 (2018/5): 1013-1046

### Sommaire du chapitre

2.1	Introduction.....	85
2.2	Data and processing method .....	87
2.2.1	Data collection and processing.....	88
2.2.2	Moderators .....	90
2.3	Methodology of estimation .....	90
2.3.1	Treatment of the dependence effect .....	92
2.3.2	Treatment of multicollinearity and outliers .....	94
2.3.3	Identification and correction of publication bias .....	94
2.4	Results .....	97
2.4.1	Estimation of effect size without moderators and impact of publication bias .....	97

---

### <sup>12</sup> Acknowledgments

This study is part of a scientific program supported by the Conseil Français de l'Energie (Habiter Program) and by Bourgogne Franche-Comté Regional Council (PARI SHS Program). We are very grateful to the authors of studies who responded favorably to our requests for data. We also wish to acknowledge valuable comments on this paper from A. Bonach, D. Charlier, M. Coinon, participants of the 2017 AFSE conference, the internal seminar of LEDI and CES laboratories, an anonymous referee of the French Association of Environmental and Resource Economics, and two anonymous referees associated with this issue of *Revue d'Economie Politique*.

2.4.2	Meta-regression with publication bias correction and moderators.....	99
2.5	Discussion and recommendations .....	103
2.5.1	Robustness and impact of the 2008 crisis.....	103
2.5.2	Recommendations for public policies and investors .....	105
2.5.3	Recommendations for future hedonic studies and new research avenues for meta-analysis	106
2.6	Conclusion.....	107
	Bibliography.....	108
	Meta-analysis bibliography.....	111
	Appendix 2.A: Description of the selection process of the studies for the meta-analysis .....	115
	Appendix 2.B: Changes in mean effect size as a function of the number of estimations included in the meta-analysis (decreasing precision).....	116
	Appendix 2.C: Relationship between the share of our sample citing the study and the precision of the study.....	117
	Appendix 2.D: Relationship between precision of the study and the SJR of the review publishing the study.....	118

In the previous chapter, we have seen that dwelling characteristics are the greater determinants of households' energy consumption. Therefore, improving the energy efficiency of buildings appears to be the best way to mitigate energy demand. However, renovations are costly and households may underinvest in energy-efficiency. Green value is a tool to promote the green building sector as it improves the return on investment of refurbishments. This chapter aims at providing a literature review of green value estimation and evaluating the green value in order to see whether it can effectively incite households to refurbish their dwellings.

## 2.1 Introduction

In recent years, academics and policy-makers have taken a growing interest in environmental issues relating to the building sector (Kok *et al.*, 2012). Today it accounts for 40% of global final energy consumption, 30% of global greenhouse gas emissions (UNEP, 2016), and an equally large share of raw material consumption (Eichholtz *et al.*, 2010). Considering both the increasing size of dwellings and the growing proportions of the service sector (Chotard *et al.*, 2011), it is to be expected that buildings will contribute substantially to increased energy demands. At the same time, as reported by Eichholtz *et al.* (2010), energy costs may account for as much as 30% of office building operating costs. In this context, building refurbishment or green building construction may serve as a tool with which to cut discounted costs and generate asset value.

Green value (or green premium) can be defined as enhanced real-estate value derived from improved environmental performance (CERQUAL, 2011; Chotard *et al.*, 2011). This environmental performance combines a complex set of green characteristics which varies with the intended purpose of the building sector. In the real-estate sector, green building means lower energy consumption, enhanced comfort, shorter unoccupied periods, and a longer lifetime. In the office sector, in addition to reduced energy consumption, green buildings mean lower staff turnover, greater productivity, and less absenteeism (Dwaikat and Ali, 2016). Furthermore, the adoption and development of green buildings may project a favorable image of a company for its customers and trading partners. Therefore, green building premiums cannot be equated to mere capitalization on energy savings through improved energy efficiency. We need to better identify the sources of value deriving from other real-estate characteristics in order to provide investors and consumers with a greater appreciation of green building. The stakes involved in this valuation may call into question public policies of eco-label development as well as their purposes.

One way to generate and synthesize information about the green characteristics of a good may be to develop and promote green labels. The United States,<sup>13</sup> Japan,<sup>14</sup> and Hong-Kong<sup>15</sup> have been precursors in the development of global green labeling. In contrast, parts of Asia<sup>16</sup> and

---

<sup>13</sup> Energy Stars in 1999 for the Building sector and Leadership in Energy and Environmental Design [LEED] in 2000.

<sup>14</sup> Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency [CASBEE] was launched in 2001.

<sup>15</sup> Building Environmental Assessment Method [HK-BEAM] was created in 1996.

<sup>16</sup> Chinese Green Building Label [CGBL] in 2008.

Europe<sup>17</sup> have been slower to develop their own labels. We also observe differences between regions in the way they manage the development of green labels. For example, Europe has mostly supported the development of mandatory labels using regulation while voluntary labels have been privileged in other part of the world. Whether voluntary or mandatory, most of these labels have proved highly successful. For instance, in the tertiary sector, a voluntary label such as Energy Star saw the number of its labeled buildings surge from 86 to 4400 between 1999 and 2010 (Kok *et al.*, 2012). This acceleration is also supported by the accrediting agencies. LEED reports that it certifies more than 17,000 square meters per day (LEED, 2016).

In view of this surge, many academics have sought to determine whether or not the green characteristics associated with a building are valued by the market. If so, is this green value enough to trigger and motivate building refurbishment and green building construction<sup>18</sup>. Finally, do any starting conditions need to be met to ensure the development and spread of green values throughout the market?

To answer these questions, the economic literature has produced a broad spectrum of empirical analyses over the last two decades. Nonetheless, the results associated with these analyses cannot be interpreted independently of their real-estate sector, country, time period of analysis, or the methods employed to ascertain these values. Most of the literature seems to confirm there is a green premium for buildings. But while most studies (92% of the literature) indicate a significantly positive green value, the economic literature shows a very broad spread of values, precluding any consensus. For instance, Mudgal *et al.* (2013) report a negative green value (-10%) while Ramos *et al.* (2016) measure a green premium of nearly 50%. At first sight, it might be thought that this heterogeneity is an artifact of the temporal or regional context, but this discrepancy persists when we observe results for the United States alone, with the study by Rahman (2014) supporting a small negative green value being a far cry from the 42% reported by Fuerst and McAllister (2009). In this context, neither generalization nor syntheses are easy tasks, especially using the conventional narrative review.

Instead, we can set about “the analysis of analysis” (Borenstein *et al.*, 2009; Glass, 1976), that is, meta-analysis in order to reach a conclusion. The green value of buildings is a suitable subject for such surveys and applications.

To our knowledge there have been only two attempts, not published yet, to perform a meta-analysis of the willingness to pay (WTP) for green buildings (Ankamah-Yeboah and Rehdanz, 2014; Brown and Watkins, 2015). The first study reaches the conclusion that the WTP for green buildings is nearly 7.6% more higher than for traditional buildings. With a really more restricted sample (20 studies), the second study gets a weighted average effect size of 4.3%. Despite the great interest of these unpublished works, we have still caveats about the results found in these studies. First, the second meta-analysis only shows the weighted average effect found in literature and omits the possibility to explain the dispersion via a meta-regression. Second, the two studies only use one model: multilevel random effect model for the first one and random effect model for the second one. Third, they explore a limited number of moderators: 17 and 5 respectively.

---

<sup>17</sup> Energy Performance Certificate [EPC] was generalized in 2008.

<sup>18</sup> The cost premium estimation associated with green buildings as well as the cost of refurbishing are beyond the scope of this paper. Readers interested in these topics should see Dwaikat and Ali (2016).

Fourth, they offer no test of publication bias and do not take into account the possibility that the final result could be affected by this phenomenon.

In this respect, we propose in this paper to overcome the limitations of ongoing studies in order to improve knowledge and results about the green housing value. We increase the number of references (54 studies), we deal with the presence of duplicate results and we introduce a larger set of moderators. Most of all, we analyze, estimate, and correct the publication bias affecting this literature. Publication bias refers here to the tendency for small studies to present very different results from studies using broader sample size (due to censoring bias or significance bias). If not corrected, this could greatly impact the average effect estimated in the literature (Doucouliagos and Stanley, 2013; 2009). Therefore, the correction of publication bias must be achieved in order to avoid misleading results which in return lead to support or refute an economic theory, and to give spurious recommendations for policy makers (and thus their actions).

Our contribution to the literature on green premium building is threefold. First, we show that the detection and correction of the publication bias present in the hedonic green value literature leads to a considerable revision of the value ascribed to the green premium (from 8% to 4%). Second, by exploring more than 30 moderators, we suggest that the inclusion of spatial and environmental variables in hedonic models leads to very different outcomes. Third, we examine the impact of the economic crisis on changes in the green building premium.

The data and inclusion/exclusion criteria are presented in the next section. Then we outline what a meta-analysis is and provide an explanatory statistical analysis. In the third section, we explain the methods used in this paper, especially how to deal with the dependence effect, outliers, and multicollinearity, and how to detect and correct for publication bias. In the fourth section, we show that the additional value of green labeled buildings is likely to be about 3.5–4.5% of the building price, once the publication bias is removed. The introduction of moderators such as geographical area, type of literature (published or not), and the inclusion of spatial and environmental characteristics in the econometric regression seem to explain much of the heterogeneous character of the results. In the fifth section, we discuss the robustness of our results and suggest some further research for future hedonic studies and meta-analyses. We draw a conclusion in the sixth section.

## **2.2 Data and processing method**

Meta-analysis aims at summarizing some main results derived from studies of a specific issue. Among others, Borenstein *et al.* (2009), Laroche (2012) or Stanley (2005) state that meta-analysis seems to outperform conventional narrative review because it is transparent, comprehensive, objective, and replicable. In order to ensure the meta-analysis is transparent, authors must clearly state their weighting system as well as their study inclusion and exclusion criteria. To be comprehensive, the meta-analysis must include all those studies that meet the inclusion criteria. Although each researcher may have some inborn or acquired a priori judgments, a transparent meta-analysis means that results are replicable and the science objective. Last but not least, a meta-analysis can check and correct for any potential publication bias affecting the literature.

Our paper has been calibrated to meet the meta-analysis standardization principles provided by Nelson and Kennedy (2009) in *Environmental and Resource Economics* and by Stanley *et al.* (2013) in the *Journal of Economic Surveys*.

When observed, these principles enable us to determine both whether the green value of a building is significantly different from zero and the strength of this effect. In the more refined version of meta-analysis, we are also able to explain the dispersion of results arising from the characteristics of the studies. To do so, a set of explanatory factors, termed moderators, is collected for each study.

### 2.2.1 Data collection and processing

More specifically, the effect size – statistics which measure the strength of the effect – studied here is the premium attached to a green or energy-efficient building certification. Most of the economic literature is based on the hedonic price methodology, formalized and standardized by Rosen (1974) in the following form:

$$\log(p_S) = \alpha + \rho E_S + \delta X_S + e_S \quad (2.1)$$

With  $S$  dwellings included in the studies,  $p$  is the dwelling price,  $E$  is a dummy variable attesting to the green certification of the building, and  $X$  a matrix of the other covariates affecting price (building characteristics and environmental and geographical variables). The parameter of interest is  $\rho$ .

Following equation (2.1), we selected the impact of a green label on building price as the effect size of the meta-analysis. In order to obtain a comparable measure, we systematically applied the transformation described by Halvorsen and Palmquist (1980)<sup>19</sup>:

$$ES = \exp(\rho) - 1 \quad (2.2)$$

ES can be interpreted as a percentage when multiplied by 100 (for instance,  $0.12 \times 100 = 12\%$ ). In this case it means that, all other things being equal, economic agents tend to value green buildings 12% more than traditional buildings in terms of price. In a linear model, the premium (in \$ or €) is expressed as a share of the average building price of the sample. The variable  $E$  in equation (1), which represents the energy performance of a building, is often measured by a label. A distinction is made between two types of label. For simple labels (e.g. LEED Certified) we

---

<sup>19</sup> We are aware of the debate over the transformation and interpretation of a dummy variable in a semi-logarithmic model. This is why we have replicated the methodology with the other transformations described by Giles (1982) and Kennedy (1981) and without transformation. It only marginally changes our results (third digits after the decimal point).

collected the parameter associated with the first level of certification. For mandatory labels providing different levels (e.g. EPC), we systematically compared the highest level A (or B in the absence of A) and the medium level D. This comparison is supported by two facts. First, this comparison is the most widely used specification in the literature and is therefore widely available. Second, this comparison may meet the public perception of the difference between the best building rated A for environmental performance and the average building rated D for performance (most common label in the European building stock).

The following keywords: “energy efficiency premium building OR housing”, “green housing value OR appraisal”, “label premium housing OR building”, or “hedonic valuation of green housing OR building” were systematically used to identify studies falling within the scope of the meta-analysis. We checked the outcome returned by several bibliographic databases: Science Direct-Elsevier, Jstor, Emerad, Cairn, Springer, Wiley-Blackwell, Web of Science, Business Source Premier, EVRI, Google scholar, and Google. In order to be included, the analysis had to meet several inclusion criteria:

- Only studies published after 2000 and written in English or French were considered.
- The analysis had to explicitly provide exclusive and quantitative results about the green premium value.
- The study had to cover the building market (dwellings and office buildings in residential and tertiary sector). We deal with the heterogeneity coming from this mix in the robustness analysis of the paper.
- The study had to mention the use of hedonic price methodology which excluded either stated preferences or economic computations but also studies based on rental prices or occupancy rates. We are aware of the existence of studies using stated preference as well as rent prices in order to assess the green value of buildings. However nearly all references related to meta-analysis reviewed in the paper (Laroche 2012, p.23; Borenstein *et al.* 2009, p.359) discourage to mix studies using different designs (i.e. stated preference and hedonic valuation). In addition, the meta-analysis guidelines of Nelson and Kennedy in ERE (2009) underline the failure of past meta-analyses to provide separate analyses of hedonic valuation and stated preference. Concerning rents, we chose to not include the estimated rent green value for multiple reasons. First of all, renters do not have the same goals and the same thinking process as owner occupiers. We could expect that for instance the comfort is not as interesting for a renter. Also, concerning renting, we are confronted to the split incentive issue; the owner pays but the tenant benefits from the investments, resulting in fewer incentives to adopt green building (Charlier, 2015). While we can consider that there is a weak relationship between rents (occupation prices) and housing prices, we must also recognize that the former has other determinants that make the comparison very difficult (for instance the price to rent ratio can be very volatile over time). Overall, effect-sizes associated with rents and housing prices are not directly comparable because they do not value the same object (at least temporally speaking).

- Duplicates were systematically removed by excluding working papers and other grey literature in the event the work was available in a later version published in a peer-reviewed journal.

When data were incomplete (usually the lack of the estimated standard-error), we sent an email to the authors. In some cases, the authors did not answer our queries and so, following a precise methodology, we imputed the standard error for 14 observations of our data base<sup>20</sup>. The whole process is described in the appendix to the paper (Appendix 1.A). At the end of the process, 54 studies met the criteria described above. According to Stanley and Doucouliagos (2012)<sup>21</sup>, this figure is higher than in most meta-analyses in economics. Nonetheless, in this paper we present only the results derived from the non-imputed data<sup>22</sup>. Of these 54 studies, 36 provide one estimate while the remaining 18 studies offer more than one estimate.

Our meta-analysis covers 20 labels and 19 countries around the world during the period 1996–2015 (Table 2.1)<sup>23</sup>. Overall, research on green building value began in North America and then spread to Europe and Asia. However, since 2011, the number of studies related to the green premium of building has stabilized.

### 2.2.2 Moderators

In order to assess the importance of several characteristics of the studies in the dispersion of the effect size, we encoded the information related to 34 potential moderators (see Tables 2.1 and 2.2). These moderators can be split into four categories: study characteristics, label characteristics, data characteristics, and regression methodology.

## 2.3 Methodology of estimation

As often addressed in the literature, estimating the effect size of a meta-analysis involves considering and fixing three types of issues, namely: the treatment of the dependence effect (several estimates in one study), multicollinearity, and outliers. In addition, we consider in this paper the publication bias issue, which is often present but rarely covered in meta-analyses (Doucouliagos *et al.*, 2012). This section describes the methodologies used to address these issues. The general specifications of the estimation model are available on pages 96 (equations 2.6 and 2.7).

---

<sup>20</sup>One possibility for allocating missing standard errors is to estimate the following relationship on the remaining data:  $\ln(Se) = a + b \ln(|ES|)$  and then use it to predict missing data. With  $Se$  the standard-error and  $ES$  the effect size.

<sup>21</sup>Of 87 meta-analyses reviewed by Doucouliagos and Stanley (2013), the median of the number of analyses covered is 36 and the mean 41.

<sup>22</sup>The full results for the non-imputed and imputed data are available upon request. Considering the issues that may arise from the use of this methodology, especially in the interpretation of the publication bias test, we decided not to reproduce them in this paper.

<sup>23</sup>Here, the time period of analysis associated with the hedonic studies. The oldest study is from 2007.

**Table 2.1: Studies included in the meta-analysis**

<b>Studies (54)</b>	<b>Nb Estimations</b>	<b>Label</b>	<b>Localization</b>
Addae-Dapaah and Chieh [2011]	1	GM	Singapore
Amado [2007]	1	AGBP	USA
Aroul and Hansz [2012]	1	FRGBP	USA
Brounen and Kok [2011]	1	EPC	Netherlands
Bruegge <i>et al.</i> [2016]	1	ES	USA
Cajias & Piazolo [2012]	1	EPC	Germany
Cerin <i>et al.</i> [2014]	1	EPC	Sweden
Chegut <i>et al.</i> [2011]	1	BREEAM	UK
Chegut <i>et al.</i> [2013]	1	BREEAM	UK
Chen <i>et al.</i> [2015]	1	EEWH	Taiwan
Copiello and Bonifaci [2015]	1	EPC	Italy
Das and Wiley [2014]	2	ES	USA
Davis <i>et al.</i> [2015]	1	EPC	Ireland
Deng and Wu [2014]	1	GM	Singapore
Deng <i>et al.</i> [2012]	1	GM	Singapore
Depratto [2015]	1	LEED	Canada
Dermisi & McDonald [2011]	2	ES	USA
Dermisi [2009]	2	LEED	USA
Eichholtz <i>et al.</i> [2010]	2	LEED	USA
Eichholtz <i>et al.</i> [2013]	2	LEED	USA
Fregonara <i>et al.</i> [2014]	1	EPC	Italy
Freybote <i>et al.</i> [2015]	1	LEED	USA
Fuerst and McAllister [2009]	2	ES	USA
Fuerst and McAllister [2011]	2	ES	USA
Fuerst and McAllister [2011]	2	ES	USA
Fuerst and McAllister [2011]	2	BREEAM	UK
Fuerst and Shimizu [2016]	1	CASBEE	Japan
Fuerst <i>et al.</i> [2012]	2	LEED	USA
Fuerst <i>et al.</i> [2015]	1	EPC	UK
Fuerst <i>et al.</i> [2016]	1	EPC	UK
Högberg [2013]	1	EPC	Sweden
Hyland <i>et al.</i> [2013]	1	BER	Ireland
Jaffee <i>et al.</i> [2012]	1	ES	USA
Jayantha and Man [2013]	2	HK-BEAM & HK-GBC	Hong-Kong
Jensen <i>et al.</i> [2016]	1	EPC	Denmark
Kahn and Kok [2014]	1	ES+LEED	USA
Miller <i>et al.</i> [2008]	2	LEED	USA
Mudgal <i>et al.</i> [2013]	7	EPC	Various countries
Newell <i>et al.</i> [2014]	1	NABERS	Australia
Pivo and Fisher [2010]	1	ES	USA
Rahman [2014]	2	BOMA	Canada
Ramos <i>et al.</i> [2015]	1	EPC	Portugal
Shewmake and Viscusi [2015]	3	EFL	USA
Shimizu [2012]	1	TGBP	Japan
Stanley <i>et al.</i> [2016]	1	BER	Ireland
Stephenson [2012]	1	ECHC	USA
Walls <i>et al.</i> [2016]	3	ES	USA
Wiley <i>et al.</i> [2010]	2	LEED	USA
Yang [2013]	1	LEED	USA
Yoshida and Sugiura [2011]	1	TGBP	Japan
Yoshida and Sugiura [2015]	1	TGBP	Japan
Zhang and Liu [2013]	1	CGBL	China
Zhang <i>et al.</i> [2016]	2	LEED	China
Zheng <i>et al.</i> [2012]	1	GGI	China
<b>Total</b>	<b>79</b>	<b>20</b>	<b>19</b>

### 2.3.1 Treatment of the dependence effect

When a study offers more than one estimate, it may be thought that the estimates of such studies share a common effect and that residuals derived from these estimates are auto-correlated. We employed different methodologies to address this issue. With multiple estimates from different specifications, we selected the authors' preferred choice (when indicated) or the estimate from the model with the most control variables. If the study offered more than one estimate due to different labels, we used four types of methods<sup>24</sup> (a-b-c-d):

**(a):** After eliminating all studies providing more than one estimate, we estimated the following specification via a random-effect model (Hedges and Olkin, 1985) (moderators were dropped for simplicity):

$$ES_i = \gamma_0 + \eta_i + \varepsilon_i \quad (2.3)$$

Where  $ES$  is the effect size,  $\gamma_0$  the overall mean,  $\varepsilon_i$  the error term, and  $\eta_i$  the study specific random effect.

**(b):** Random sampling of one estimate per study, then estimation of the specification described in equation (2.3) and replication 10 000 times. The median and superior and inferior percentiles were recovered from the replications.

**(c):** Use of a random effect multilevel model separating the level of estimations from the level of studies. This model can be specified as:

$$ES_{i,g} = \gamma_{00} + v_{0,g} + \eta_{i,g} + \varepsilon_{i,g} \quad (2.4)$$

Where  $ES$  is the effect size of the observation  $i$  and the study  $g$ ,  $\gamma_{00}$  is the overall mean, and the error terms are distributed under the following laws:

$\varepsilon_{i,g} \sim N(0, \sigma_i)$ ,  $\eta_{i,g} \sim N(0, \tau_2)$ ,  $v_{0,g} \sim N(0, \tau_1)$ .  $\tau_1$  is the between-study variance while  $\tau_2$  is the between-unit variance. The estimators of the different variances were obtained from the Restrained Estimator of Maximum Likelihood (for more details see Konstantopoulos, 2011).

**(d):** Estimation by the weighted OLS with robust clustering standard error. Some authors such as Stanley and Doucouliago (2015) clearly advocate this method, claiming it is more robust and efficient than the random effects model. Conversely Nelson and Kennedy (2009, p.358) argue that no reason exists to prefer clustering methods to hierarchical multilevel methods. This is why we estimate the two models.

---

<sup>24</sup> The fixed effects model has been excluded for two reasons. First, this model is really close to the weighted OLS model and second, the use of the fixed effects model in order to synthesize results from studies which have very different characteristics is inappropriate (Borenstein *et al.*, 2009).

**Table 2.2: Dependent variable and moderators**

Meta-analysis variables		
Dependent variable	ES	= Effect-size (green premium elasticity)
	Se	= Standard error of the estimate
Paper characteristics	Published	= 1 if published in a peer review journal, 0 otherwise
	IF	= Impact factor, ISI Web of Knowledge
	H-Index	= H-index, Scopus
	EigenFactor	= EigenFactor, Washington University
	Sjr	= Scimago Journal Rank, Scopus
	Yearofpubli	= Year of publication of the paper (base 2007 = 0)
	Nbauthor	= Number of authors
	Gender	= 1 if female (sex of the first author), 0 otherwise
Label characteristics	Mandatory	= 1 for mandatory label, 0 for voluntary
	Age	= Age of the label when the study was performed
	Typevariable	= 1 if transaction prices, 0 otherwise
	Sector	= 1 if offices, 0 otherwise
	Continuous	= 1 for continuous label, 0 otherwise
Data characteristics	Asia	=1 if study covers Asian countries, 0 otherwise
	Europe	=1 if study covers European countries, 0 otherwise
	Period	= Average date of the sample (base 2007=0)
	Length	= Length of the period of analysis
	Panel	= 1 for panel data, 0 for cross-sectional data
	NbObs	= Number of observations in the study
	ShareGreen	= Percentage of green buildings in the regression
Regression methodology	Matching	= 1 if matching techniques employed, 0 otherwise
	Market FE	= 1 if market fixed effects (dummy for districts, towns), 0 otherwise
	Time FE	= 1 if time fixed effects for years or quarters, 0 otherwise
	Heteroskedasticity	= 1 if robust standard errors, 0 otherwise
	Estimator	= 1 if other than OLS regression technique employed, 0 for OLS
	FunctionalForm	= 1 if the original estimate is from a linear model, 0 otherwise
	Insulation	= 1 if the model includes an energy variable or the insulation level, 0 otherwise
	Distance	= 1 if the model includes the distance, 0 otherwise
	Location	= 1 if the localization of the building is used as a variable, 0 otherwise
	Amenities	= 1 if the amenities are included in the hedonic model, 0 otherwise
	Nb moderators	= Number of moderators employed in the hedonic price study
External variables	Mean Temp	= Mean Temperature in the country during the year of the estimation
	Range Temp	= Temperature Range in the country during the year of the estimation
	Income(2011\$PPP/year)	= GPP per capita in the country during the year of estimation

**Table 2.3: Descriptive statistics**

Name	Mean	Standard Deviation	Median	Mode	Q1	Q3	Min.	Max.
ES	0,17	0,38	0,09	0,23	0,04	0,18	-0,11	2,98
Published	0,66	0,48	1	1	0	1	0	1
Sector	0,38	0,49	0	0	0	1	0	1
Asia	0,19	0,39	0	0	0	0	0	1
Europe	0,3	0,46	0	0	0	1	0	1
NbOs	38 810	188 337	2661	9 120	1 030	13 971	51	1 609879
Distance	0,3	0,46	0	0	0	1	0	1
Location	0,28	0,45	0	0	0	1	0	1
Amenities	0,38	0,49	0	0	0	1	0	1
Matching	0,32	0,47	0	0	0	1	0	1
Heteroskedasticity	0,34	0,48	0	0	0	1	0	1
Estimator	0,23	0,42	0	0	0	0	0	1
Nb.moderators	20,92	21,54	16,5	18	11	22	7	166
Mean Temp	10,58	5,39	9,3	9,3	8,8	11,1	-5	27,6
Range Temp	10,22	2,68	12,2	12,3	7,9	12,3	4,6	14,6
Income	43721	10097	47134	48558	39742	49568	7948	68340

### 2.3.2 Treatment of multicollinearity and outliers

Multicollinearity between moderators was checked with the correlation matrix and by computing the Variance Inflation Factor (VIF). Variables with a VIF greater than 10 were not simultaneously introduced into the model. For instance, considering the near perfect intersection between the “Europe” and “Mandatory” variables, the VIF rule prevented them from being used at the same time. Variables were selected by a general to specific process. Several measures were employed to handle heterogeneity, namely the Cochran Q statistics (excess of variation beyond the sampling error), the estimator of the between study variance  $T$ , and the  $I^2$  proposed by Higgins *et al.* (2003).

To prevent outliers greatly affecting the results, we applied the methodology described in Viechtbauer and Cheung (2010). This methodology uses the Cook distance, the value of standardized residuals, and the influence of each observation on the average prediction of the regression model. In our case, implementing this method led to three observations being rejected. Two of them had very high values (0.49 and 2.97) and the third outlier (0) was based on a study including only one green certified building. All three outliers were from two Europeans studies.

### 2.3.3 Identification and correction of publication bias

The possibility that scientific literature is biased by publication bias has long been a recognized phenomenon in medicine and psychology (Begg and Berlin, 1988; Rosenthal, 1979). In economics, the seminal paper by De Long and Lang (1992) suggests that even a careful review of

the existing literature does not provide an accurate view of the topic if the literature reflects a selection bias, especially the file drawer problem related to the exclusion of non-significant results. In addition, Doucouliagos and Stanley (2013) have shown that publication bias without being systematic, could affect nearly two-thirds of topics.

Two main forms of bias have been identified. Type I bias, or direction bias, is characterized by a censoring of results, which depends on the “expected” direction of the effect size. Some academics often call this phenomenon dogmatic bias or theory bias (this may also be related to the orientation of the journal’s editorial board). Type II bias or significance bias occurs when a study has a better chance of being submitted and/or accepted if significant results and/or high effect sizes are reported. Less discussed, research bias consists of choosing research or research protocols in such a way that there is a better chance of deriving significant results (Gurevitch and Hedges, 1999). In all cases, meta-analysis must include an analysis relative to the detection of a potential publication bias to avoid unreliable results.

In this context, it could be relevant to include unpublished papers or grey literature<sup>25</sup> in the meta-analysis. Such unpublished results do not necessarily imply poor quality work for several reasons. First, not all research is intended for publication in academic journals especially that supported by private institutions, firms, think-tanks, and governmental agencies. Second, the study author may not want to pursue an academic career (case of thesis work).

We were careful not to exclude grey literature from our meta-analysis. This precaution is reflected in the high unpublished paper rate (33%) of our work compared to other meta-analyses. As for published results, Stanley (2005, p.337) observed that, grey literature is also likely to be biased (bias of type I or II) because many working papers remain motivated by publication incentives<sup>26</sup>.

The different tests employed to identify a publication bias try to determine whether there is a link between the effect size and its standard error. Indeed, considering that the authors of small studies obtain high standard errors, they tend to seek and promote specifications that reject the null assumption (insignificant parameters). All other things remaining equal, they tend to provide high values for the parameter associated with the effect size (in order to have a t-stat higher than 1.96).

Funnel Asymmetry Testing (FAT) aims at estimating the following relationship (Card and Krueger, 1995):

$$ES_i = \beta_1 + \beta_{01}Se_i + \varepsilon_i \quad (2.5)$$

With *ES*, the effect size, and *Se*, its standard error. To compensate for high standard errors, small studies look for the specification that leads to a high effect size and a significant associated t-stat. However, as most studies are characterized by various sample sizes and modeling, the residuals

---

<sup>25</sup> I.e. working papers, conference papers, theses, reports, and book chapters.

<sup>26</sup> Doucouliagos and Stanley (2013) show that in the absence of theory competition, the selection process behind publication bias can prevent the rise of some unexpected results even in the form of working papers.

are often highly heteroskedastic (Stanley, 2005). Therefore, we generally preferred equation (2.6) to equation (2.5):

$$\frac{ES_i}{Se_i} = t_i = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{1}{Se_i} \right) + \varepsilon_i \quad (2.6)$$

FAT aims at testing the null assumption of the absence of publication bias ( $\beta_0 = 0$ ). The positive or negative sign indicates a right-side and left-side bias and can be interpreted as an index of the asymmetry of the funnel graph (Egger *et al.*, 1997). At the same time, we can also test for the absence of an authentic effect beyond the publication bias ( $\beta_1 = 0$ ). This last test is known as *Precision Effect Testing* (PET) and has a high statistical power (Stanley, 2008). The FAT-PET tests are therefore an efficient way to adjust for all publication bias (censoring or significance bias) leading to an asymmetric funnel plot. We also perform a variety of other tests of publication bias (TRIM and FILL, MST, PBF) described by Begg and Mazumdar (1994), Stanley, (2008), Duval and Tweedie (2000a, 2000b), Stanley *et al.* (2010), Borenstein *et al.*, (2009), and Nelson, (2013)<sup>27</sup>.

After identifying publication bias, we estimated an extended form of equation 2.6 including moderators of the effect size as described in Doucouliagos and Stanley (2009):

$$t_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^J \omega_j M_{ij} + \beta_1 \left( \frac{1}{Se_i} \right) + \sum_{l=1}^L \varphi_l H_{il} \left( \frac{1}{Se_i} \right) + \varepsilon_i \quad (2.7)$$

Where  $\beta_0$  is the parameter associated with the publication bias,  $M_j$  the set of variables impacting the publication bias,  $\beta_1$  the effect-size, and  $H_l$  the moderators linked to the effect-size (control variables).

---

<sup>27</sup> See the FAERE working paper version of this paper to know more about these methodologies.

## 2.4 Results

In this part, we present the estimates related to green building value with and without removing publication bias. In a second subsection, we also explain the heterogeneity of results by introducing several moderators.

### 2.4.1 Estimation of effect size without moderators and impact of publication bias

The visual interpretation of the funnel graph can be a good way both to observe the dispersion of outcomes and to assess the possibility of an asymmetric pattern associated with a publication bias. As shown in figure 2.1, study outcomes mostly concentrate on the 0–10% range. Nonetheless the distribution of green building value estimates seems to be skewed to the right. The same applies to published and unpublished results alike. We better understand why a simple regression is likely to be biased and dragged to the right by inaccurate studies. In addition, the cumulative meta-analysis which shows the mean effect as a function of increasing standard error also moves in the same direction (Appendix 2). At first sight, our case of publication bias seems to be related to both direction bias (few small studies offer negative green building values) and significance bias (many small studies have significant results due to the high value of their effect size). However, we need to take the analytical tests further in order to validate these initial comments.

Unsurprisingly, the FAT and the TRIM and FILL methodologies validate the presence of publication bias in almost all cases ( $\beta_0 \neq 0$  and  $p\text{-value} < 0.1$  in Table 2.4). According to the figures suggested by Doucouliagos and Stanley (2013), a  $\beta_0$  value between 1 and 2 denotes a large selection bias (while a  $\beta_0 > 2$  indicates severe publication bias). Another way to confirm this publication bias is to compare the top 10% most precise studies (5.13%) to the average value of the whole sample (12.04%). In these circumstances, ignoring publication bias leads to skewed conclusions for the green building value. Our results also support the suggestion of Stanley and Doucouliagos (2012, p. 47) that random effects (7.84%) are more skewed than fixed effects (4.99%)<sup>28</sup> in the presence of publication bias.

The genuine effect remains discernable beyond the publication bias as demonstrated by the PET, MST, and PBFEE tests. The whole set of coefficients are significant but the authentic effect of the green building value seems to be much lower than expected (4–5% versus 12%)<sup>29</sup>. These results are consistent with the work of Stanley (Doucouliagos *et al.*, 2012; Doucouliagos and Stanley, 2013) and indicate that most empirical economic facts are exaggerated due to the selection process of results. Overall, a first conclusion can be drawn: at the first sight (without controlling heterogeneity via moderators) the literature seems to indicate that green label buildings tend to

---

<sup>28</sup> The results with fixed effects are not reported in order to save space.

<sup>29</sup> The PEESE test also provides a value in this range (4.96%).

increase the WTP of economic agents by 3.5% to 4.5% (see Table 2.4 variable “PET”). These conclusions (publication bias and weighted average effect) do not change when we restrict our sample to published studies by the exclusion of unpublished papers.

Moreover, most models show that heterogeneity persists despite the correction for publication bias. Both the Cochrane statistic ( $Q (df=63) = 1826, p\text{-value} < .0001$ ) and the  $I^2 (>99\%)$  confirm it is worth going beyond this simple specification by integrating moderators.

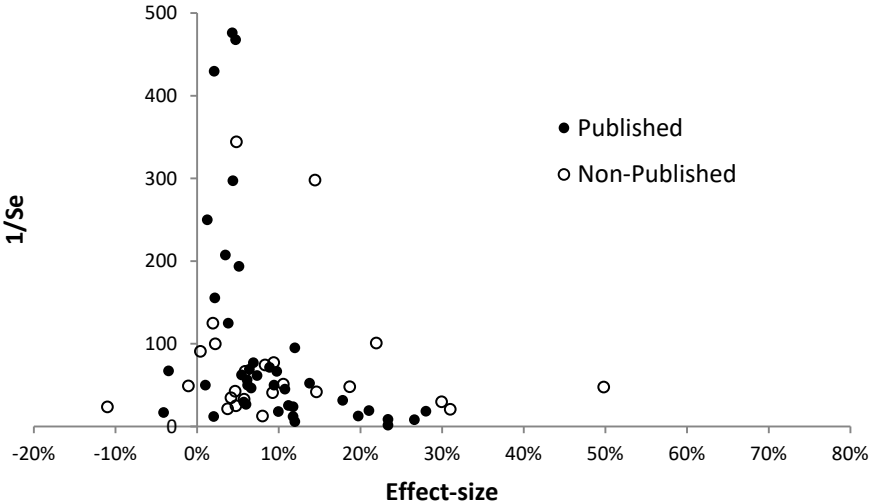


Figure 2.1: Funnel graph of green building values

Note: non imputed studies, N=65

**Table 2.4: Identification of publication bias by several methods**

Tests		Methodologies			
		A: No multiple (RE)	B: Random sampling	C: REML	D: Clustered WOLS
FAT	$\beta_0$	<b>2.5769</b> (2.22)**	2.0878 1.6182 2.4846	1.4771 (1.71)*	<b>1.7610</b> (3,38)***
PET	$\beta_1$	<b>0.0327</b> (5.33)***	0.0338 0.0324 0.0432	<b>0.0430</b> (7.25)***	<b>0.0420</b> (4,12)***
MST	$\alpha_0$	-0.3606 (-0.56)	-0.8568 -1.3751 -0.3633	<b>-1.0793</b> (-2.14)**	-0.8467 (-1,49)
	$\alpha_1$	<b>0.2134</b> (3.08)***	0.2553 0.2048 0.3101	<b>0.2786</b> (4.75)***	<b>0.2530</b> (3,76)***
PBFE	$\delta_1$	<b>0.0319</b> (5.47)***	0.0333 0.0319 0.0427	<b>0.0427</b> (7.46)***	<b>0.0413</b> (7,11)***
RCT	Kendall's tau	0.0642 (p-value = 0.63)	-	-	0.1649 (p-value= 0.054)*
TRIM and FILL	MS (p -value)	p = 0.0625	-	-	p = 0.0312
	Effect size	<b>0.0575</b> (3.45)***	-	-	<b>0.0711</b> (6.67)***
Top10% (Mean)		0.0398	-	-	0.0513
Without correction		<b>0.0749</b> (5.77)***	0.0757 0.0673 0.0847	<b>0.0784</b> (8.13)***	<b>0.1145</b> (4,29)***
Mean		0.0963	-	-	0.1204

Note: N=29(A), 53(B), 64(C). t-stat or z value in parentheses. For specifications using random effects, the Knapp and Hartung (2003) standard error correction has been employed. For methodology B, we indicate the median value for 10,000 replications as well as the superior and inferior percentiles below. \*\*\* denotes significant at 1%, \*\*5%, \*10%.

## 2.4.2 Meta-regression with publication bias correction and moderators

The use of the general to specific selection process leads us to promote the model described in Table 2.5 (column [1]). In this specification, the reference class corresponds to an unpublished American study using OLS estimation focused on dwellings in the year 2007. We can observe that the genuine effect associated with this reference class is significantly positive and very close to the estimate without moderators (Table 2.4 [1] variable “1/SE”: 3.02% versus Table 2.4 variable “PET” 3-4%).

It is worth noting that geographical disparities absorb most of the heterogeneity in the data (nearly 12% of partial R<sup>2</sup>). Estimates based on European samples are on average 12 points of percentage higher than their North American equivalents (Table 2.4 [1] variable “Europe”). Maybe the recentness of the Asian green building market explains why the green value is still 5.5 points higher than in North America (Table 2.4 [1] variable “Asia”). These high geographical disparities may arise from the regulatory context relative to the type of label (mandatory or voluntary). Indeed, most mandatory labels are to be found in Europe while other regions clearly promote the use of voluntary labels. Unfortunately, considering the high coefficient of

correlation between the two variables ( $r=0.9$  for “Europe” and “Mandatory”), this confounding effect cannot easily be removed.

With more moderate partial  $R^2$  (between 2 and 4% for each variable), publication in a peer review journal, the sector studied, and the spatial characteristics of the regression also affect the estimation of the green building value. More specifically, all other things being equal, studies published in peer review journals seem to provide lower values than unpublished studies (-7 percentage points: Table 2.4 [1] variable “published”). In contrast, certified office buildings appear to be more value-enhanced than private dwellings (+8 points: Table 2.4 [1] variable “building sector”). One explanation may be that those firms are more willing to pay for goods and services than individuals. In addition, accounting for the size of the parameters, the introduction of the space and environment of the building into hedonic models is likely to play an important role in determining green building values. In particular, when considered in the model, distance impacts green building values negatively (-5 percentage points: Table 2.4 [1] variable “distance”) while environmental amenities (+3 points: Table 2.4 [1] variable “amenities”) or the precise location of real estate (+9 points: Table 2.4 [1] variable “location”) tend to raise green building values. The sign of the “distance” parameter suggests that green buildings are closer to the central district or to efficient transportation networks. Ignoring this variable leads to an overestimation of the green building value which is confused with the building’s access value. Moreover, it can be assumed that the precise location of the building tends to increase the green premium due to more refined geolocated discrimination of green buildings. The same applies to the introduction of amenities which allows better differentiation between the value linked to local amenities and the value of green building. The concentration of this type of good requires fine-grained discrimination at the local level in order to distinguish the different effects. The use of models integrating space and incorporating spatial data (even geographic information systems) is likely to be necessary for an efficient interpretation of the impact of intrinsic and extrinsic building characteristics on real estate prices.

**Table 2.5: Meta-regression of the building green premium for different specification and robustness values**

Dependent variable : t	1	1*	2	3	4	5	6	7	8	9
	Clustered WOLS	REML†	Clustered WOLS	Clustered WOLS	Clustered WOLS	Clustered WOLS	Clustered OLS	Clustered OLS	Clustered OLS	Clustered OLS
Intercept	0.5774 (1.17)	0.5754 (1.0755)	1.3885 (1.90)*	0.8993 (1.49)	<b>1.1130</b> (2.72)***	0.4474 (0.80)	0.5515 (1.16)	0.6686 (1.21)	0.4714 (0.93)	0.5135 (1.04)
1/SE	<b>0.0302</b> (3.10)***	<b>0.0302</b> (3.1787)***	<b>0.0318</b> (2.22)**	<b>0.0278</b> (2.65)***	<b>0.0193</b> (3.13)***	<b>0.0309</b> (3.12)***	<b>0.0292</b> (2.81)***	0.0041 (0.57)	<b>0.0311</b> (3.05)***	0.031 (3.14)***
Published	<b>-0.0736</b> (-5.96)***	<b>-0.0736</b> (-8.1322)***	<b>-0.0707</b> (-4.74)***	<b>-0.0750</b> (-5.98)***	<b>-0.0681</b> (-7.06)***	<b>-0.0738</b> (-5.94)***	<b>-0.0694</b> (-4.3)***		<b>-0.0744</b> (-6)***	<b>-0.0749</b> (-5.9)***
Sector	<b>0.0846</b> (5.48)***	<b>0.0846</b> (3.5983)***	<b>0.0742</b> (3.62)***	<b>0.0768</b> (4.48)***	<b>0.0697</b> (4.07)***	<b>0.0865</b> (5.42)***	<b>0.0847</b> (5.58)***	<b>0.0624</b> (3.62)***	<b>0.0861</b> (5.58)***	<b>0.087</b> (5.6)***
Asia	<b>0.0542</b> (8.15)***	<b>0.0542</b> (6.3674)***	<b>0.0521</b> (5.27)***	<b>0.0524</b> (7.19)***	<b>0.0659</b> (6.88)***	<b>0.0540</b> (7.97)***	<b>0.0516</b> (7.00)***	<b>0.0273</b> (7.50)***	<b>0.0542</b> (7.88)***	<b>0.0547</b> (7.98)***
Europe	<b>0.1292</b> (7.62)***	<b>0.1292</b> (9.0674)***	<b>0.1081</b> (4.94)***	<b>0.1286</b> (8.09)***	<b>0.1082</b> (7.89)***	<b>0.1290</b> (7.58)***	<b>0.1223</b> (6.44)***	<b>0.0786</b> (2.70)***	<b>0.1276</b> (7.57)***	<b>0.1289</b> (7.54)***
Distance	<b>-0.0565</b> (-5.61)***	<b>-0.0565</b> (-5.1564)***	<b>-0.0539</b> (-4.07)***	<b>-0.0501</b> (-4.03)***	<b>-0.0419</b> (-4.25)***	<b>-0.0563</b> (-5.56)***	<b>-0.0543</b> (-5.4)***		<b>-0.0572</b> (-5.4)***	<b>-0.0573</b> (-5.5)***
Amenities	<b>0.0311</b> (4.61)***	<b>0.0311</b> (3.5904)***	<b>0.0317</b> (3.32)***	<b>0.0302</b> (4.24)***	<b>0.0423</b> (3.86)***	<b>0.0310</b> (4.53)***	<b>0.0259</b> (2.61)**		<b>0.0305</b> (4.44)***	<b>0.0306</b> (4.47)***
Location	<b>0.0880</b> (5.91)***	<b>0.0880</b> (7.1167)***	<b>0.0684</b> (3.70)***	<b>0.0835</b> (5.65)***	<b>0.0703</b> (7.15)***	<b>0.0881</b> (5.87)***	<b>0.0783</b> (3.71)***		<b>0.0873</b> (5.87)***	<b>0.0876</b> (5.86)***
Heteros.	<b>0.0196</b> (2.25)**	<b>0.0196</b> (2.6213)***	0.0157 (1.55)	<b>0.0234</b> (2.35)**	<b>0.0203</b> (2.09)**	<b>0.0198</b> (2.24)**	0.0176 (1.79)*		<b>0.0196</b> (2.25)**	<b>0.02</b> (2.3)**
Estimator	<b>0.0211</b> (2.43)**	<b>0.0211</b> (2.6228)***	<b>0.0246</b> (2.10)**	<b>0.0295</b> (2.36)**	<b>0.0267</b> (1.84)*	<b>0.0213</b> (2.42)**	<b>0.0195</b> (2.03)**		<b>0.0208</b> (2.38)**	<b>0.0211</b> (2.42)**
Period	<b>-0.0069</b> (-2.25)**	<b>-0.0069</b> (-3.1522)***	-0.0045 (-1.36)	<b>-0.0061</b> (-2.15)**	<b>-0.0084</b> (-4.29)***	<b>-0.0068</b> (-2.19)**	-0.0061 (-1.83)*		<b>-0.0068</b> (-2.22)**	<b>-0.0069</b> (-2.23)**
Nb.moderators (effect size)							0.0002 (0.72)	<b>0.0008</b> (2.44)**		
Sqrt(NbObs)									0.0013 (1.09)	
(Mod.publi bias)										
Nb.Obs(Mod Publi bias)										<b>1.427*10-6</b> (2.30)**
n	64	-	78	65	59	59	64	64	64	64
K	43	-	54	44	39	42	43	43	43	43
R <sup>2</sup>	0.883	-	0.7	0.801	0.722	0.884	0.885	0.739	0.884	0.885
R <sup>2</sup>	0.858	-	0.649	0.76	0.681	0.856	0.856	0.716	0.857	0.857

(1) Reference model, (2) with imputed data and outliers, (3) with outliers, (4) Without 10% most precise studies, (5) without 10% most imprecise studies. Note: t-stat or z value in parentheses. \*\*\* denotes significant at 1%, \*\* 5%, and \*10%. †To save space, REML estimations are not reported. These estimations are available in the FAERE working paper version of this study.

**Table 2.6: Meta-regression analysis, robustness analysis (continue)**

Dependent variable : t	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
	Clustered OLS	Clustered OLS	Clustered OLS	Clustered OLS	Clustered OLS	Clustered OLS	Clustered OLS	Clustered OLS	Clustered OLS
Intercept	0.6670 (0.96)	<b>1.4017</b> (3.20)***	0.7521 (1.61)	0.3020 (0.61)	1.0949 (1.61)	0.5622 (1.13)	<b>1.8568</b> (2.77)***	0.6123 (1.28)	0.5362 (0.84)
1/SE	<b>0.0297</b> (2.80)***	<b>-0.0286</b> (-2.36)**	<b>0.0328</b> (2.29)***	<b>0.0648</b> (3.30)***	-	<b>0.0323</b> (2.48)**	-	-0.0125 (-0.23)	-
Published	<b>-0.0774</b> (-6.29)***	-	<b>-0.0677</b> (-6.01)***	<b>-0.0721</b> (-6.53)***	<b>-0.0384</b> (-2.32)**	<b>-0.0734</b> (-5.90)***	-0.0198 (-1.38)	<b>-0.0732</b> (6.12)***	-0.0284 (-1.84)*
Sector	-	<b>0.0669</b> (5.52)***	<b>0.0834</b> (5.54)***	<b>0.0937</b> (5.65)***	<b>0.0521</b> (2.28)**	<b>0.0863</b> (4.65)***	<b>0.0479</b> (2.15)**	<b>0.0835</b> (5.46)***	<b>0.0620</b> (3.00)***
Asia	<b>0.0548</b> (8.37)***	<b>0.0465</b> (7.19)***	<b>0.0485</b> (3.99)***	<b>0.0580</b> (10.71)***	<b>0.0232</b> (2.49)**	<b>0.0588</b> (2.62)**	0.0186 (1.09)	<b>0.0685</b> (3.38)***	<b>0.0395</b> (4.84)***
Europe	<b>0.1340</b> (7.20)***	<b>0.0806</b> (4.05)***	<b>0.0803</b> (3.36)***	<b>0.1326</b> (10.13)***	<b>0.0712</b> (3.58)***	<b>0.1308</b> (7.87)***	<b>0.0820</b> (3.57)***	<b>0.1484</b> (5.00)***	<b>0.0853</b> (4.69)***
Distance	<b>-0.0560</b> (-5.45)***	<b>-0.0306</b> (-2.57)**	<b>-0.0539</b> (-4.38)***	<b>-0.0610</b> (-7.74)***	-	<b>-0.0586</b> (-4.32)***	-	<b>-0.0575</b> (-5.87)***	-
Amenities	<b>0.0308</b> (4.36)***	<b>0.0275</b> (3.43)***	<b>0.0266</b> (2.42)***	<b>0.0272</b> (4.54)***	-	<b>0.0305</b> (4.27)***	-	<b>0.0316</b> (4.69)***	-
Localisation	<b>0.0915</b> (5.75)***	<b>0.0530</b> (3.21)***	<b>0.0838</b> (4.80)***	<b>0.0911</b> (7.26)	-	<b>0.0872</b> (5.59)***	-	<b>0.0889</b> (6.22)***	-
Heteros.	<b>0.0217</b> (2.43)**	<b>0.0122</b> (2.55)**	<b>0.0190</b> (2.23)**	<b>0.0241</b> (2.61)**	-	<b>0.0204</b> (1.99)**	-	<b>0.0184</b> (2.12)**	-
Estimator	<b>0.0226</b> (2.49)**	<b>0.0168</b> (3.72)***	<b>0.0225</b> (2.71)***	<b>0.0261</b> (2.67)***	-	<b>0.0221</b> (-2.15)**	-	<b>0.0196</b> (2.25)**	-
Period	<b>-0.0077</b> (-2.22)**	<b>-0.0050</b> (-1.98)**	-0.0052 (-1.64)	<b>-0.0076</b> (-3.31)***	-	<b>-0.0070</b> (-2.46)**	-	<b>-0.0075</b> (-2.76)***	-
Energy Star	-	-	(-0.33)	-	-	-	-	-	-
LEED	-	-	-0.0261 (-1.25)	-	-	-	-	-	-
EPC	-	-	<b>0.0428</b> (3.63)***	-	-	-	-	-	-
Income (k \$2011 PPP)	-	-	-	-0.0008 (-1.82)*	<b>0.0010</b> (2.80)***	-	-	-	-
Mean temperature	-	-	-	-	-	-0.0003 (-0.23)	0.0017 (1.83)*	-	-
Temperature range	-	-	-	-	-	-	-	0.0034 (0.81)	<b>0.0036</b> (2.84)***
n	43	41	64	64	64	64	64	64	64
K	31	30	43	43	43	43	43	43	43
R <sup>2</sup>	0.886	0.886	0.899	0.890	0.741	0.883	0.689	0.887	0.742
R <sup>2</sup>	0.850	0.848	0.870	0.864	0.719	0.855	0.662	0.860	0.720

(10) Without the office sector, (11) Without unpublished papers, (12) With dummy variables for the three most important labels, (13-14) with income variable in full and parsimonious model, (15-16) with the average temperature, (17-18) with the temperature range. t-stat or z value in parentheses. \*\*\* denotes significant at 1%, \*\* 5%, and \*10%.

Lastly, three others factors, namely the type of estimator (OLS or other methods), the treatment of heteroskedasticity, and the time period of analysis have been selected although their explanatory power is lower (partial  $R^2$  less than 1%). More precisely, studies that prefer OLS estimates derive on average 2 percentage points more than other studies (see Table 2.4 [1] variable “estimator”). More surprisingly, studies using robust heteroskedastic estimators have higher green building values (+ nearly 2 percentage points: Table 2.4 [1] variable “heteros.”). Finally, we observe a low but significant downward trend of the green premium over time (-0.7 percentage points per year: see Table 2.4 [1] variable “period”). Three different reasons can be suggested for this decrease. One assumption is that green buildings are developed over time and tend to be less scarce on the real-estate market and thus less positively discriminated and valued. A second assumption is that this decreasing trend is based on declining demand for efficient environmental building due to adverse market conditions. A third assumption is that publication bias declines over time and consequently leads to outcomes that are less skewed to the right, so causing a decreasing trend in the observed green premium.

## 2.5 Discussion and recommendations

These main results suggest that it would be useful to consider two points for discussion. First, the robustness of these results can be questioned. Second, it can be asked what can be taken away from our work and what kind of recommendations can be made.

### 2.5.1 Robustness and impact of the 2008 crisis

We explore several robustness tests to check the stability of the results. Like Doucouliagos *et al.* (2012), we replicate the analysis with different models (REML and clustered WOLS) and various subsamples in order to assess the robustness of the results. For instance, column 2 replicates the methodology with imputed data and outliers ( $n=78$  versus 64 in specification 1); column 3 corresponds to a similar subsample estimation of column 1 and outliers; and in columns 4 and 5, we withdraw respectively the 10% most and least precise studies from the original sample. As can be seen from Table 2.4, our estimates are only slightly impacted by the change in subsample. Moreover, Column 6 and 7 check the impact of the number of moderators employed in hedonic price studies on the green value estimated (Table 2.4 [6-7] variable “nb.moderators”). Column 8 and 9 assess the explanatory power of the number of observations as a moderator of publication bias (Table 2.4 [8-9] variables “Sqrt(NbObs)” and “NbObs”)<sup>30</sup>.

It would be also interesting to examine the impact of the 2008 real-estate crisis on the estimations of our model. Real estate strongly and lastingly affected the price level of transactions throughout the markets included in our database. It is also to be feared that the financial crisis following the subprime crisis weakened the possibility of investment in green building and so modified the

---

<sup>30</sup> We have also replicated the methodology of Stanley (2005) using the square root of the number of observations instead of  $1/SE$ . It does not change our conclusions.

behavior of economic agents. Therefore, we need to ensure that the coefficients of our model are stable over time and especially throughout the economic crisis. We performed a Chow test on all the coefficients of model (1). The sample was subdivided into two parts: “pre-crisis period” including studies with a period of estimation before 2008 and “post-crisis” for studies with estimations starting in 2008. The value for the computed Fisher test is less than the theoretical Fisher value, indicating the non-rejection of stability of the coefficients of the model ( $F^* = 1.137$ ,  $p\text{-value} = 0.3594$ ). Therefore, the previous test does not support the assumption that the crisis led to a fall in the green building premium. But if we delete the variable capturing the temporal trend (i.e. Period) and do the same test, then we reach the opposite conclusion ( $F^* = 2.26$ ,  $p\text{-value} = 0.03$ ). Therefore, we think likely that the temporal trend captures a crisis effect although this effect must be confirmed other studies not present in our meta-base (hedonic valuation using panel data).

Some academics expressed also concerns about the heterogeneity linked to mixing the effect of WTP for dwellings and offices. In addition, although many specialists of meta-analysis recommend to introduce a high share of grey literature (Nelson, 2013; Stanley and Doucouliagos, 2012), others suspect that this important share of unpublished papers is the source of the publication bias. This is why we perform separate analyses for dwellings only and for published papers only. In the two cases, it does not change our results (see specifications 10 and 11 in Table 2.6). In addition, we note that the exclusion of grey literature (in both FAT-PET tests without moderator and in Meta-regression analysis) tends to reinforce the publication bias found in literature (see value and significance of “intercept” in Table 2.6 specification 11). Interestingly, it seems that the most cited studies in our sample are: (i) published in prestigious high ranking reviews (American Economic Review, Journal of Environmental Economics and Management...) or (ii) precursors to the eco-premium building issue. Nonetheless, these studies cited by the major part of the literature are neither the most precise nor the less biased studies (Appendix 3 and 4). Indeed, the studies cited by more than half of our sample are all included in the first quartile of precision (lowest precision). Conversely, the studies with the highest precision (highest precision quartile) are only cited in average by 5% of our sample. These conclusions do not change when we take the SJR or the Impact factor of the review publishing the studies of our sample (see appendix 4). This observation is in line with the book on meta-analysis by Stanley and Doucouliagos (2012). This also underlines that citations (or journal rank indicators) are probably not a good proxy of the quality of study or at least of the precision quality of outcomes. Moreover, the heterogeneity between the labels is also questioned. It requires to include as many dummy variables as labels. With our sample size, we cannot introduce too many dummy variables thus we use an intermediary solution by coding three dichotomous variables for the main labels of our sample (Energy Star, LEED and Energy Performance Certificate = 70% of sample). Two out of three of dichotomous variables are non-significant while the last one (EPC) is significant (Table 2.6 [12] variables “Energy star” “LEED” and “EPC”). This alternative specification only changes the coefficient of Europe falling from 12.92 to 8.03. In fact, the sum of the regression coefficient of EPC (4.28) and the new coefficient of Europe (8.03) is approximately equal to the old coefficient of Europe (Table 2.4 [1] variable “Europe”). It indicates the difference between a green label in Europe (like the BREEAM label) and the EPC and shows that EPC is more valued than local green labels in Europe. Finally, one suggestion is to include and control the effect of income and temperatures thus we check their

impact on green building value in the full model (Table 2.6 columns [13-15-17]). Unfortunately, results are associated with high multicollinearity ( $VIF > 50$ ) forcing us to explore their effect in a more parsimonious model (Table 2.6 columns [14-16-18]). In this last model, positive signs associated with the income and temperature range are in the line with the expected effect. Conversely, it seems that mean temperature is positively linked to green premium building which involves that cooling needs are more valued than warming needs. This last result should be considered cautiously due to the weak significance of the coefficient. Overall, the effects related to income and temperature seem to be quite low, less than one point of percentage. This means that the observed spatial heterogeneity could come from other factors.

### 2.5.2 Recommendations for public policies and investors

This paper suggests the relevance of the investment in green building both for new building and refurbishment. In both cases, the operation generates a supplementary asset value. Our analysis also supports the importance of cost savings capitalized in asset values thanks to energy efficiency. At this stage, this premium created by lower energy costs remains a subset of the total green value and it could be worthwhile to have more studies distinguishing the part attributable to the former. Furthermore, our estimate of green building premium includes only monetary and non-monetary benefits captured by economic agents, while we know that green buildings generate many other positive externalities (primarily reducing greenhouse gases). Then we have to keep in mind that green value in a broad sense is higher than our estimate. Moving on to consideration of the extra cost of green buildings; there are few studies which focus on this. Regardless the range of estimations of extra cost generated by these studies is very close to the WTP for green buildings. For instance, based on 12 European projects, Schnieders and Hermelink (2006) report an average additional cost of 8%. A more recent Sweden survey led by Zalejska-Jonsson *et al.* (2012) recalls that 47% of individuals surveyed estimate this extra-cost to be less than to 5% (and 38% between 5% and 10%). More recently in Turkey, Uğur and Leblebici (2018) provide a range of estimations between 7.43 and 9.43% for LEED buildings. This additional cost of green buildings is really close to the WTP for green buildings of those European people surveyed (between 10-12%). For USA, the difference is likely to be even narrower. According to Kats (2009), the average additional cost of 170 American green building cases is 1.4% while Dwaikat and Ali (2016) report that only 25% of green building projects incur no additional cost in comparison to traditional buildings (and 30% between 0% and 5%). These estimates are nearly equivalent to the WTP of American people for green buildings (nearly 1-2% once the publication bias is corrected).

As WTP of North American people seems to be very low, we recommend to use mandatory labels and/or the generalization of green buildings in order to capture the important external benefices associated with it. This could be a more effective way to avoid important social losses due to the inability of private economics agents to value the external benefices of green buildings. Conversely, firms have a higher capability to value green buildings maybe due to the important private benefices already mentioned in the literature (lower staff turnover, greater productivity, and less absenteeism...). This is why we recommend to avoid to target firms in case of green

buildings public program support. Such joint public help (individual and companies) could lead to important windfall effects.

We also observed that the EPC label over-performs by comparison to other European labels (like BREAM or BER) therefore we recommend the wider application of this label. We also recommend to avoid the coexistence of multiple labels in one geography as this could distort the effectiveness of green labels in communicating their goals and messages.

Although the range of impact is yet to be confirmed, it seems that the temperature gap increases the WTP for green buildings. It could then be worthwhile targeting new constructions or regeneration initiatives in such geographies because of the anticipated larger return on private or public investments. It creates higher energy saving potentials and higher greenhouse gas emissions reductions (depending on the energy mix).

### **2.5.3 Recommendations for future hedonic studies and new research avenues for meta-analysis**

Considering the current shortcomings and in order to facilitate the replication of future meta-analyses, we recommend that future hedonic studies of green building values systematically report standard error (t-value or precise p-values). Of 54 studies, 13 hedonic price analyses (24%) fail to provide enough information to recover the precision linked to the estimate. Despite a high response rate (70%), most authors were unable to answer our queries favorably due to the fact that data were not available anymore (lost data, technical failure, relocation, job change, etc.). Although we fully understand the different issues related to lack of space in scientific journals, we encourage reviews and authors to provide full estimates in the appendix of the publication or on the journal's website. In addition, in order to improve comparisons of results, studies should provide a letter by letter estimation when the label uses different categories. The reference class should also be the same (e.g. D for EPC). Several studies are in non-retrievable form due to this constraint (e.g. exotic classes like A/B/C/D versus E/F/G as main analysis). Of course, we do not exclude other models but to supplement rather than substitute for letter-by-letter estimations. This constraint is essential to ensure the reproducibility of science so dear to Karl Popper (1934).

Moreover, a substantial research effort should be made in order to highlight economic agents' willingness-to-pay for green buildings in emergent countries. Despite an intense research effort, many dead zones persist in countries where we expect an increasing energy demand – mostly in the form of natural gas, oil, and high-carbon electricity (IEA, 2013a). Given the stakes linked to these countries and the important regional disparities in green value, future replications need to examine the identification of the effect in India, the Middle East, Africa, and Latin America rather than a yet another North American study. There is an urgent need for such studies because green value is associated more with new buildings than refurbishment and because buildings have long life spans (IEA, 2013b).

Concerning research linked to future meta-analyses of green value, it could be useful to explore other moderators especially the encoding of external variables capable of providing us with

information about the appropriate conditions for the advent of green value. For instance, it might be worth investigating the impact of energy prices on the asset value of energy efficient buildings. Unfortunately, few hedonic studies provide this option due to the use of cross-sectional data and because energy prices are spatially invariant at local scale. Nonetheless, further meta-analyses could estimate this effect by capturing the energy price context of each study and including this variable as a moderator in the modeling. In this way, the meta-analysis would provide an alternative to panel data when considering the effect of energy prices on green building values. In the same vein, it might be worthwhile breaking down the causes linked to the geographical discrepancies of the green building premium. In particular, whether these differences reflect climatic, cultural, and socio-economic disparities or other factors such as regulatory constraints and sensitivity to environmental protection.

## 2.6 Conclusion

In this paper, we offer an estimate of the green building premium regardless of the time and place of the study. To achieve this goal, we have collected a large number of hedonic-price studies on this topic. At the end of this process, 54 studies successfully met the inclusion criteria specified in our meta-analysis. A large set of tests converges toward the existence of a substantial publication bias. Multiple models and several estimation methods lead us to the conclusion that the unconditional estimate of the green building value is likely to fall within the range of 3.5–4.5% of the price, which is half of the original estimation made with no correction for publication bias. Considering the great heterogeneity remaining, we have also explored several potential moderators in order to explain the spread of the results. This spread seems to be attributable mainly to the region of the study (North America, Asia, or Europe) then to the type of publication (published or grey literature), and the inclusion of spatial variables in the hedonic model. To a lesser extent, the effect size also depends on the type of estimator (OLS or other estimators), whether heteroskedasticity is treated, and the time period of analysis.

We have seen that the green value exists for the building sector. Now, we want to measure it for the residential sector. Also, this chapter showed the importance of the inclusion of spatial variables for the estimation of the green value. This is why we now proceed to an estimation of the green value in the urban area of Dijon using a spatial hedonic model. The questions are now to identify if the green value exists for the French real estate market and whether this green value is subjected to a spatial diffusion process.

## Bibliography

- Ankamah-Yeboah I. and Rehdanz K. (2014). Explaining the Variation in the Value of Building Energy Efficiency Certificates: A Quantitative Meta-Analysis. *Kiel Working Paper*, 26p.
- Anselin L. and Lozano-Gracia N. (2009). Spatial hedonic models. *In: Palgrave handbook of econometrics*, Palgrave Macmillan UK, 1213-1250.
- Begg C.B. and Berlin J.A. (1988). Publication bias: a problem in interpreting medical data. *Journal of the Royal Statistical Society*, 151(3), 419-463.
- Begg C.B. and Mazumdar M., (1994). Operating characteristics of a rank correlation test for publication bias. *Biometrics*, 50, 1088–1101.
- Borenstein M., Hedges L.V. and Rothstein H.R. (2009). Introduction to Meta-Analysis. *Wiley*, Chichester, UK.
- Brown J.B. and Watkins T. (2015). The “green premium” for environmentally certified homes: a meta-analysis and exploration. Working Paper, 43p.
- Card D. and Krueger A.B. (1995). Time-series minimum-wage studies: a meta-analysis. *American Economic Review*, 85, 238–243.
- CERQUAL (2011). Etude économique sur la valeur verte de l’immobilier de logements.
- Charlier D., (2015). Energy efficiency investments in the context of split incentives among French households. *Energy Policy*, 87, 465-479.
- Chotard D., Million M., Berthon C., Laurenceau S., Giraudet L.G., (2011). Analyse préliminaire de la valeur verte pour les logements. *Ademe* .pp.261, hal-00799764.
- De Long J.B. and Lang K. (1992). Are all economic hypotheses false? *Journal of Political Economy*, 100, 1257–1272.
- Doucouliagos C. and Stanley T.D. (2013). Are all economic facts greatly exaggerated? Theory competition and selectivity. *Journal of Economic Survey*, 27, 316–339.
- Doucouliagos C. and Stanley T.D. (2009). Publication selection bias in minimum-wage research? A meta-regression analysis. *British Journal of Industrial Relations*, 47, 406:428.
- Doucouliagos C., Stanley T.D. and Giles M. (2012). Are estimates of the value of a statistical life exaggerated? *Journal of Health Economics*, 31, 197–206.
- Duval S. and Tweedie R. (2000a). A nonparametric “trim and fill” method of accounting for publication bias in meta-analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 95, 89–98.
- Duval S. and Tweedie R. (2000b). Trim and fill: A simple funnel-plot-based method of testing and adjusting for publication bias in meta-analysis. *Biometrics*, 56, 455-463.

- Dwaikat L.N. and Ali K.N. (2016). Green buildings cost premium: A review of empirical evidence. *Energy and Buildings*, 110, 396–403.
- Egger M., Davey Smith G., Schneider M. and Minder C. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple graphical test. *BMJ*, 315, 629–634.
- Giles D.E.A. (1982). The interpretation of dummy variables in semilogarithmic equations. *Economics letter*, 10, 77–79.
- Glass G.V. (1976). Primary, secondary, and meta-analysis of research. *Educational Researcher*, 5, 3–8.
- Gurevitch J. and Hedges L.V. (1999). Statistical issues in ecological meta-analyses. *Ecology*, 80, 1142–1149.
- Halvorsen R. and Palmquist R. (1980). The interpretation of dummy variables in semilogarithmic equations. *The American Economic Review*, 70, 474-475.
- Hedges L.V. and Olkin I., (1985). Statistical methods for meta-analysis. *Academic Press, Orlando*.
- Higgins J.P.T., Thompson S.G., Deeks J.J. and Altman D.G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *British Medical Journal*, 327, 557–560.
- IEA (2013a). Transition to Sustainable Building: Strategies and Opportunities to 2050. *International Energy Agency, OECD/IEA, Paris*.
- IEA (2013b). World Energy Outlook 2013. *International Energy Agency, OECD/IEA, Paris*.
- Kats G. (2009). Greening Our Built World: Costs, Benefits, and Strategies. *Island Press*.
- Kennedy P.E. (1981). Estimation with correctly interpreted dummy variables in semilogarithmic equations. *The American Economic Review*, 71, 801.
- Knapp G. and Hartung J. (2003). Improved tests for a random effects meta-regression with a single covariate. *Statistics in Medicine*, 22, 2293–2710.
- Kok N., McGraw M. and Quigley J. M. (2012). The diffusion over time and space of energy efficiency in building. *The Annals of Regional Science*, 48 (2), 541-564.
- Konstantopoulos S. (2011). Fixed effects and variance components estimation in three-level meta-analysis. *Research Synthesis Methods*, 2, 61–76.
- Laroche P. (2012). La méta-analyse : Méthodes et applications en sciences sociales. *De Boeck. ed, Méthodes & Recherches*.
- LEED (2016). Leadership in Energy and Environmental Design. Available on 12/15/16 at: <http://www.usgbc.org/leed>
- Nelson J.P. (2013). Meta-analysis of alcohol price and income elasticities – with corrections for publication bias. *Health Economics Review*, 3, 1–10.

- Nelson J.P. and Kennedy P.E. (2009), The Use (and Abuse) of Meta-Analysis in Environmental and Natural Resource Economics: An Assessment. *Environmental and Resource Economics*, 42, 345–377.
- Popper K. (1934), *The Logic of Scientific Discovery*. Routledge.
- Rosen S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: Product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy*, 82, 34–35.
- Rosenthal R. (1979), The “file drawer problem” and tolerance for null results. *Psychological Bulletin*, 86, 638–641.
- Schnieders J. and Hermelink A. (2006). CEPHEUS results: measurements and occupants’ satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. *Energy Policy*, 34, 151–171.
- Sorrell S. and Dimitropoulos J., (2008). The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions. *Ecological Economics*, 65, 636–649.
- Stanley T.D. (2008). Meta-regression methods for detecting and estimating empirical effect in the presence of publication selection. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 70, 103–127.
- Stanley T.D. (2005). Beyond publication bias. *Journal of Economic Surveys*, 19, 309–345.
- Stanley T.D. and Doucouliagos C. (2015). Neither fixed nor random: Weighted least squares meta-analysis. *Statistics in Medicine*, 34, 2116–2127.
- Stanley T.D. and Doucouliagos C., (2012). *Meta-Regression Analysis in Economics and Business*. Routledge.
- Stanley T.D., Doucouliagos C., Giles M., Heckemeyer J.H., Johnston R.J., Laroche P., Nelson J.P., Paldam M., Poot J. and Pugh G. (2013). Meta-analysis of economics research reporting guidelines. *Journal of Economic Surveys*, 27, 390–394.
- Stanley T.D., Jarrell S.B. and Doucouliagos C. (2010). Could it be better to discard 90% of the data? A statistical paradox. *The American Statistician*, 64, 70–77.
- Ugur L.O. and Leblebici N. (2018). An examination of the LEED green building certification system in terms of construction costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1476–1483.
- Viechtbauer W. and Cheung M.W.-L. (2010). Outlier and influence diagnostics for meta- analysis. *Research Synthesis Methods*, 1, 112–125.
- Zalejska-Jonsson A., Lind H. and Hintze S. (2012). Low-energy versus conventional residential buildings: cost and profit. *Journal of European Real Estate Research*, 5, 221–228.
- UNEP (2016). Sustainable buildings and construction programme, accessed on December 2017 at: <http://web.unep.org/10yfp/programmes/sustainable-buildings-and-construction-programme>

## Meta-analysis bibliography

Addae-Dapaah K. and Chieh S. (2011). Green Mark certification: does the market understand? *Journal of Sustainable Real Estate*, 3, 162–191.

Amado A.R. (2007). Capitalization of energy efficient features into home values in the Austin Texas real estate market. Massachusetts Institute of Technology.

Aroul R. and Hansz J. (2012). The Value of “Green”: evidence from the first mandatory residential green building program. *Journal of Real Estate Research*, 34 (1).

Brounen D. and Kok N. (2011). On the economics of energy labels in the housing market. *Journal of Environmental Economics and Management*, 62, 166–179.

Bruegge C., Carrion-Flores C. and Pope J.C. (2016). Does the housing market value energy efficient homes? Evidence from the Energy Star program. *Regional Science and Urban Economics*, 57, 63–76.

Cajias M. and Piazzolo D. (2012). Green performs better: energy efficiency and financial return on buildings. *SSRN Electronic Journal*.

Cerin P., Hassel L.G. and Semenova N. (2014). Energy Performance and Housing Prices: Does higher dwelling energy performance contribute to price premiums? *Sustainable Development*, 22,404–419.

Chegut A., Eichholtz P. and Kok N. (2013). Supply, demand and the value of green buildings. *Urban Studies*, 51, 22–43.

Chegut A., Eichholtz P., Kok N. and Quigley J.M. (2011). The value of green buildings: new evidence from the United Kingdom. *ERES 2010 Proceedings*.

Chen F., Peng I., Liang J. and Liang Y. (2015). Green building. Materials and civil engineering: Proceedings of the 4th International Conference on Green Building, *Materials and Civil Engineering*.

Copiello S. and Bonifaci P. (2015). Price premium for buildings energy efficiency empirical findings from a hedonic model. *Valori e Valutazioni*, 14, 5-15.

Das P. and Wiley J.A., (2014). Determinants of premia for energy-efficient design in the office market. *Journal of Property Research*, 31, 64–86.

Davis P.T., McCord J.A., McCord M. and Haran M. (2015). Modelling the effect of energy performance certificate rating on property value in the Belfast housing market. *International Journal of Housing Markets and Analysis*, 8, 292–317.

Deng Y., Li Z. and Quigley J.M. (2012). Economic returns to energy-efficient investments in the housing market: Evidence from Singapore. *Regional Science and Urban Economics*, 42, 506–515.

Deng Y. and Wu J. (2014). Economic returns to residential green building investment: The developers’ perspective. *Regional Science and Urban Economics*, 47, 35–44.

- Depratto B. (2015). The market benefits of Green Condos in Toronto for educational purposes.
- Dermisi S. and McDonald J. (2011). Effect of “Green” (LEED and ENERGY STAR) designation on prices/sf and transaction frequency: the Chicago office market. *Journal of Real Estate Portfolio Management*, 17, 39–52.
- Dermisi S.V. (2009). Effect of LEED ratings and levels on office property assessed and market values. *Journal of Sustainable Real Estate*.
- Eichholtz P., Kok N. and Quigley J.M. (2013). The economics of green building. *Review of Economics and Statistics*, 95, 50–63.
- Eichholtz P., Kok N. and Quigley J.M. (2010). Doing well by doing good? Green office buildings. *American Economic Review*, 100, 2492–2509.
- Fregonara E., Rolando D., Semeraro P. and Vella M. (2014). The impact of energy performance certificate level on house listing prices. First evidence from Italian real estate. *Aestimum*, 143–163.
- Freybote J., Sun H. and Yang X. (2015). The impact of LEED neighborhood certification on condo prices. *Real Estate Economics*, 43, 586–608.
- Fuerst F., Gabrieli T. and McAllister P. (2012). A green winner’s curse? Investor behavior in the market for eco-certified office buildings. (July 20, 2012).
- Fuerst F. and McAllister P. (2011a). Eco-labeling in commercial office markets: Do LEED and Energy Star offices obtain multiple premiums? *Ecological Economics*, 70, 1220–1230.
- Fuerst F. and McAllister P. (2011b). Green Noise or Green Value? Measuring the effects of environmental certification on office values. *Real Estate Economics*, 39, 45–69.
- Fuerst F. and McAllister P. (2011c). The impact of Energy Performance Certificates on the rental and capital values of commercial property assets. *Energy Policy*, 39, 6608–6614.
- Fuerst F. and McAllister P. (2009). New evidence on the green building rent and price premium. Available at SSRN 1372440.
- Fuerst F., McAllister P., Nanda A. and Wyatt P. (2016). Energy performance ratings and house prices in Wales: An empirical study. *Energy Policy*, 92, 20–33.
- Fuerst F., McAllister P., Nanda A. and Wyatt P. (2015) Does energy efficiency matter to home-buyers? An investigation of EPC ratings and transaction prices in England. *Energy Economics*, 48, 145–156.
- Fuerst F. and Shimizu C. (2016). Green luxury goods? The economics of eco-labels in the Japanese housing market. *Journal of the Japanese and International Economies*, 39, 108–122.
- Högberg L. (2013). The impact of energy performance on single-family home selling prices in Sweden. *Journal of European Real Estate Research*, 6, 242–261.

- Hyland M., Lyons R.C. and Lyons S. (2013). The value of domestic building energy efficiency - evidence from Ireland. *Energy Economics*, 40, 943–952.
- Jaffe D., Stanton R. and Wallace N. (2012). Energy Factors, leasing structure and the market Price of office building in the US.
- Jayantha W. and Man W. (2013). Effect of green labelling on residential property price: a case study in Hong Kong. *Journal of Facilities Management*, 11, 31–51.
- Jensen O.M., Hansen A.R. and Kragh J. (2016). Market response to the public display of energy performance rating at property sales. *Energy Policy*, 93, 229–235.
- Kahn M.E. and Kok N. (2014). The capitalization of green labels in the California housing market. *Regional Science and Urban Economics*, 47, 25–34.
- Miller N., Spivey J. and Florance A. (2008). Does green pay off? *Journal of Real Estate Portfolio Management*, 14, 385–400.
- Mudgal S., Lyons L., Cohen F., Lyons R. and Fedrigo-Fazio D. (2013). Energy performance certificates in buildings and their impact on transaction prices and rents in selected EU countries.
- Newell G., Macfarlane J. and Walker R. (2014). Assessing energy rating premiums in the performance of green office buildings in Australia. *Journal of Property Investment & Finance*, 32, 352–370.
- Pivo G. and Fisher J. (2010). Income, value, and returns in socially responsible office properties. *Journal of Real Estate Research*.
- Rahman F. (2014). Do green buildings capture higher market-values and prices? A case-study of LEED and BOMA-BEST properties. Thesis.
- Ramos A., Perez-Alonso A. and Silva S. (2015). Valuing energy performance certificates in the Portuguese residential sector.
- Shewmake S. and Viscusi W.K. (2015). Producer and consumer responses to green housing labels. *Economic Inquiry*, 53, 681–699.
- Shimizu C. (2012). Will green buildings be appropriately valued by the market. RIPESS (Reitaku Institute of Political Economics and Social Studies) Working Paper.
- Stanley S., Lyons R.C. and Lyons S. (2016). The price effect of building energy ratings in the Dublin residential market. *Energy Efficiency*, 9, 875–885.
- Stephenson R.M. (2012). Quantifying the effect of green building certification on housing prices in metropolitan Atlanta.
- Walls M., Palmer K., Gerarden T. and Bak X. (2009). Data center metrics: an energy efficiency model for information technology managers. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 20, 712–731.

- Wiley J.A., Benefield J.D. and Johnson K.H. (2010). Green design and the market for commercial office space. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 41, 228–243.
- Yang X. (2013). Measuring the effects of environmental certification on residential property values - evidence from green condominiums in Portland.
- Yoshida J. and Sugiura A. (2015). The effects of multiple green factors on condominium prices. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 50, 412–437.
- Yoshida J. and Sugiura A. (2011). Which “greenness” is valued? Evidence from green condominiums in Tokyo.
- Zhang L. and Liu H. (2016). Price premium of green-labeled dwellings in China.
- Zhang L., Liu H. and Wu J. (2016). The price premium for green-labelled housing: evidence from China. *Urban Studies*.
- Zheng S., Wu J., Kahn M.E. and Deng Y. (2012). The nascent market for “green” real estate in Beijing. *European Economic Review*, 56, 974–984.

## Appendix 2.A: Description of the selection process of the studies for the meta-analysis

---

### 1. Number of remaining studies (91)

#### *Deletions (16). Reasons: absence of label, no estimate, no hedonic model*

Banfi *et al.*, 2006; Bonde and Song, 2013; Geng *et al.*, 2012; Harrison and Seiler, 2011a; Hui *et al.*, 2016, 2014; Leopoldsberger *et al.*, 2011; McAllister, 2009; Muldavin, 2008; NEEA, 2015; Pflieger *et al.*, 2011; Poel *et al.*, 2007; Popescu *et al.*, 2012; Robinson and Sanderford, 2016; Surmann *et al.*, 2015; Thorsnes and Bishop, 2013

### 2. Number of remaining studies (75)

#### *Deletions (13). Reasons: only estimates for occupation rate or rental prices*

(Bond and Devine, 2016; Cajias *et al.*, 2016; Das *et al.*, 2011; Devine and Kok, 2015; Fuerst *et al.*, 2013; Fuerst and McAllister, 2009b; Gabe and Rehm, 2014; Hui *et al.*, 2015; Koirala *et al.*, 2014; Kok *et al.*, 2013; Kok and Jennen, 2012; Reichardt, 2014; Reichardt *et al.*, 2012)

### 3. Number of remaining studies (62)

#### *Deletions (7). Reasons: non comparable estimates, non-transformable estimates, duplicates*

Bloom *et al.*, 2011; Chegut *et al.*, 2016; De Ayala *et al.*, 2016; Dinamic, 2015; Fuerst *et al.*, 2016; Kok and Kahn, 2012; Qiu *et al.*, 2016

### 4. Number of remaining studies (55)

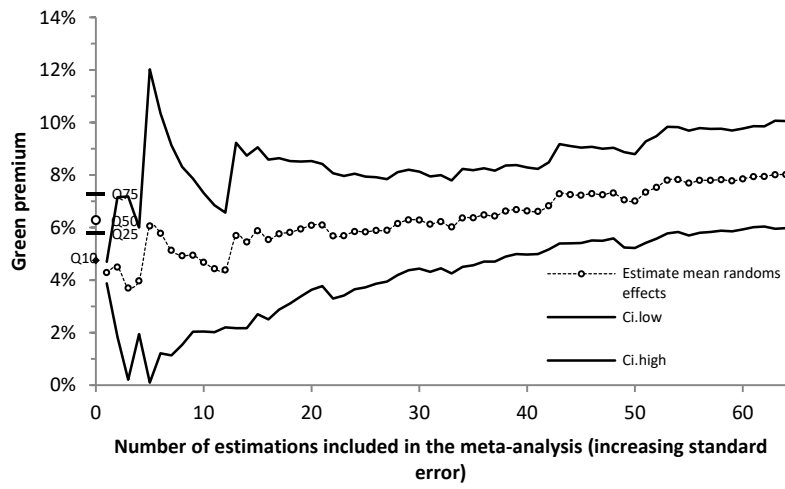
#### *Deletions (1). Reasons: other sectors*

Harrison and Seiler, 2011b

### 5. Number of studies selected (54)

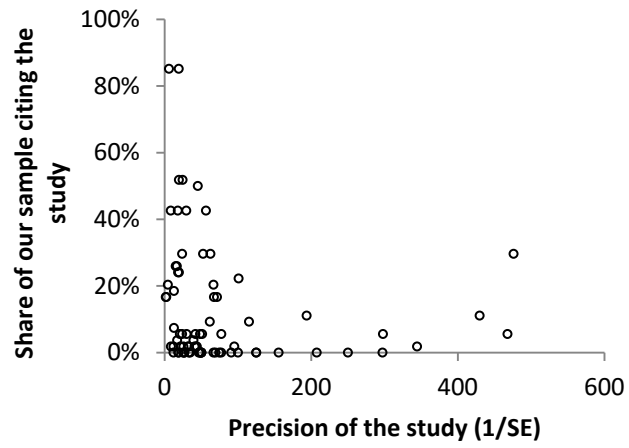
---

**Appendix 2.B: Changes in mean effect size as a function of the number of estimations included in the meta-analysis (decreasing precision)**

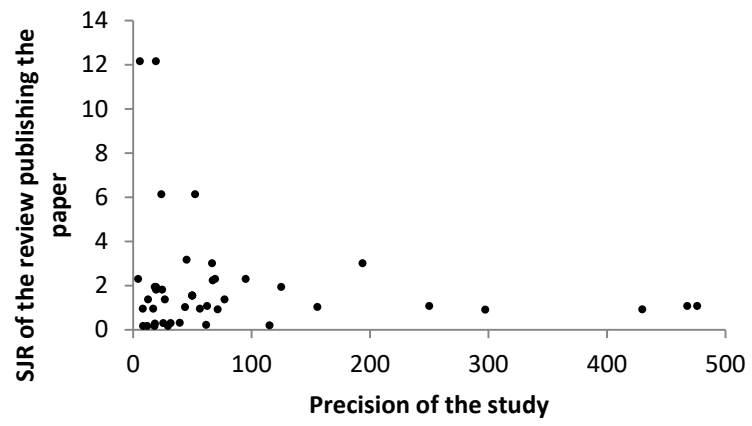


Reading notes: 10% most precise studies, Q25: 25%, Q50: 50%, Q75: 75%

**Appendix 2.C: Relationship between the share of our sample citing the study and the precision of the study**



**Appendix 2.D: Relationship between precision of the study and the SJR of the review publishing the study**



### 3. Chapitre 3: Hedonic estimation of the green value of residential housing<sup>31</sup>

Ce chapitre fait l'objet d'un document de travail co-écrit avec Catherine Baumont et Masha Maslianskaïa-Pautrel, actuellement en révision pour la série des WP de la FAERE.

#### Sommaire du chapitre

3.1. Introduction.....	121
3.2. Green value estimation .....	122
3.2.1. Existing literature and motivations .....	122
3.2.2. Spatial hedonic evaluation .....	124
3.3. Study area and data.....	130
3.3.1. The urban area of Dijon (France) .....	130
3.3.2. Data .....	132
3.4. Spatial analysis.....	140
3.4.1. Neighborhood analysis and definition of spatial interaction patterns .....	140
3.4.2. Spatial autocorrelation of dwelling prices .....	142
3.4.3. Spatial hedonic model selection.....	143
3.5. Results and discussions.....	143
3.5.1. Houses.....	144
3.5.2. Apartments .....	148
3.6. Conclusion.....	151
Bibliography.....	153

---

#### <sup>31</sup> Acknowledgments

This study is part of a scientific program supported by the Conseil Français de l'Energie (Habiter Program) and by Bourgogne Franche-Comté Regional Council (PARI SHS Program). We would like to gratefully thank the participants of the seminars Energy-Territories organized by ENS Cachan and the Laboratoire d'Economie de Dijon and the FAERE's referee for their remarks and suggestions.



In the meta-analysis implemented in Chapter 2, we estimated an overall green value of 8% for the building sector. In this chapter, we develop an empirical study and we focus on the residential sector in the urban area of Dijon (France) and we develop a spatial hedonic model to take into account spatial dependencies.

### 3.1 Introduction

The residential sector represents more than 25% of final energy consumption in 2016 in the European Union. The energy transition and environmental concerns strengthen the objective of strong reductions of carbon dioxide emissions and require significant changes in consumption in the energetically dependent sectors. One way of public policies is to promote energy efficient buildings on real estate markets. Energy labels or green certificates introduced on the real estate market help to overcome the problem of information asymmetry in energy efficiency and in related green attributes of dwellings. It can be viewed as a signal of a better environmental quality of a dwelling. As households adopt green behaviors, the demand for energy efficient housing, would increase. An additional value for environmental efficient dwellings, called “green value” would be observed. The empirical literature has demonstrated that such a premium does exist for green housing (see for example Kok and Kahn, 2012; Fuerst et al., 2014).

In the previous chapter, the meta-analysis highlighted the lack of empirical studies taking care of spatial dependencies in the estimation of the hedonic housing green value. Indeed, few studies take spatial determinants of green values into consideration even though spatial attributes and spatial interactions are major characteristics of real estate markets (Baumont, 2009; Maslianskaia-Pautrel and Baumont, 2016). Thus in this chapter, we build a GIS to produce three types of spatial attributes: local amenities i.e. environmental attributes present in the surroundings, the distance to labor markets in order to measure the accessibility to jobs and the distance between each pair of housing to define the spatial interactions patterns of real estate transactions of our sample. Then we estimate a spatial hedonic model to explicitly take into account spatial dependencies between dwellings.

We implement spatial econometric selection methods to control for spatial autocorrelation. The estimation of the Spatial Durbin Model gives the household’s marginal willingness to pay for the housing attributes and the green value is highlighted by significant implicit prices for the level of energy performance. We find three types of results. First, the implicit prices are negative for housing with low energy performance certificates. Second, our results differ according to the type of housing market. For the apartments, this depreciation goes from 6.8 to 11.5% for the lowest level of energy performance. For houses, this loss is much more important and goes from 16.5 to 30% for the lowest level of the DPE. Finally, we also find a positive premium in the medium energy performance distribution of around 9.75% for the medium level C compared to lower level D.

The remainder of the chapter is organized as follows. Section 2 presents the literature estimating the green value. Section 3 presents our study area, data, and variables. Our empirical strategy is developed in Section 4. Results are discussed in Section 5 which gives the impacts of the DPE

label on dwelling prices. The last section gives some concluding remarks and implications for future research.

## 3.2 Green value estimation

### 3.2.1 Existing literature and motivations

Following the energy crisis in the 1970s, there was a rapid development of a broad literature trying to evaluate the effect of energy efficiency on building value (Dinan and Miranowski, 1989; Johnson and Kaserman, 1983; Laquatra, 1986; Quigley and Rubinfeld, 1989). As pointed out by Fuerst et al. (2015), many of these studies lack of consistent data (small sample size, lack of representativeness), but showed significant and positive results. In the 2000s the concept of green value was established by scientists, while policymakers were developing energy labels. In the European Union, the directive on the energy performance of buildings (2010) sets the importance of energy label in the achievement of the energy transition. Meanwhile, a second wave of empirical papers estimated the value of energy efficiency or the green value using the energy labels as proxies. For instance, Pfleger *et al.* (2011) compare a random sample of new houses labeled Energy Star<sup>32</sup> with a sample of houses as similar as possible without this label. They show that labeled houses are selling faster and for higher prices than unlabeled houses. However, they do not quantify this market advantage of the Energy Star label.

Two methods are generally used in the literature to estimate the green value: discrete choice experiment (DCE) and hedonic evaluation (HE).

DCE allows taking into account multiple factors influencing the decision to invest in energy-efficiency. Therefore, it also enables to estimate the willingness to pay for each energy-savings measure. For example, Banfi *et al.* (2008) run a choice experiment to estimate the willingness to pay (WTP) for three types of energy-saving measures: window insulation, facade insulation, and ventilation system. The WTP is estimated both for renovation and new buildings, and concerns the housing owners as well as tenants. The results show that “house buyers and apartment tenants have a similar WTP for the case of new buildings”. It is about 3% for enhanced facade insulation and varies from 4 to 12% for the ventilation system. While the window insulation is not valued for new buildings, in existing ones, “the willingness to pay is particularly high for window improvements.” It is about 13% for both homeowners and tenants.

Using DCE methods to reveal household preference is also recommended when the share of energy-performant building is low. The DCE, as any stated preference methods, is expensive to set up and the results are subject to bias in the declaration of preferences and in the limited numbers of alternative choices proposed by the survey.

---

<sup>32</sup> Energy Star is an American certification for energy-efficient buildings. For more information,; <https://www.energystar.gov/>

On the contrary, hedonic evaluation requires larger datasets. If energy-savings buildings are spread in the housing markets, the hedonic price method offers the opportunity to work on a large dataset of dwelling transactions. In this case, the hedonic evaluation benefits from the data collection. The hedonic price method can be easily implemented in both the residential and tertiary sectors and allows controlling for a large set of variables such as neighborhood, location, accessibility, and others.

Most of the hedonic studies estimate the green value by taking green labels as a proxy variable. This literature used to be mainly focused on the office buildings as there is an abundant source of data especially the US ones (for example, Eichholtz *et al.*, 2010; Dermisi, 2009; Fuerst and McAllister, 2011; Deng *et al.*, 2012; Eichholtz *et al.*, 2013; Miller *et al.*, 2008). All those studies estimate the impact of green labels on prices or rents. The results suggest that being a certified building increases the rent and has a positive impact on the selling price. Estimated values are highly heterogeneous according to the type of green label (for example, LEED<sup>33</sup> or Energy Star for the USA) or to the estimation method used. The results also show that the positive impact of green label significantly varies across different levels of certification: *ceteris paribus* the highest levels are valued more than lower ones (see for example, Deng *et al.*, 2012). Eichholtz *et al.* (2010) also show that “*The premium is negatively related to the location premium for a building, within and between cities: a label appears to add more value in smaller markets and regions and in the more peripheral parts of larger metropolitan areas, where location rents are lower.*”(page 33).

For the residential market, most of the studies were made in the last decade and use the hedonic method as well. It appears that the green values are lower for the housing market than for the office one. For instance, Brounen and Kok (2011) estimate a green premium of 3.7% for dwellings using a dataset of 177 000 transactions in the Netherlands.

Overall, there is not an agreement about the green value. In the literature, estimates range from non-significant results (for instance Davis *et al.*, 2015) to 20% (Yoshida and Sugiura, 2011).

Due to the early emergence of energy labels in North America (LEED in 1998 and Energy star in 1999), the first studies have mainly concerned the USA. Recently, there was a growing number of studies for European countries (for instance Davis *et al.*, 2015; Chegut *et al.*, 2016): European certificates known as Energy Performance Certificate were standardized and became mandatory. Few papers concern Asian countries: papers finding a green value though energy labels are still nascent or absent (Addae-Dapaah and Chieh, 2011; Deng and Wu, 2014). Although energy management is an important matter for this continent, we haven't found any papers for Africa.

As far as we know, only one academic study estimates the green value for the French housing market (Mudgal *et al.*, 2013)<sup>34</sup>. This report, made by the European Commission, compiles the results found for 7 countries. For the French case, the study concerns a sample of 3 400 housing transactions collected in Marseille and Lille. For Marseille, the authors found an increase of 4.3% of the value for “*each one-letter improvement in a property's energy label*”, and 3.2% for dwellings in Lille.

---

<sup>33</sup> LEED stands for Leadership in Energy and Environmental Design. LEED was created in 2000 and is a worldwide energy-efficiency rating system for buildings. For more information: <https://new.usgbc.org/leed>

<sup>34</sup> Note that a non-academic report has estimated the green value for France: Etude économique sur la valeur verte de l'immobilier de logements. Décembre 2011. 83 pages.

Since these papers are using labels as a proxy for energy efficiency variable, they are in fact measuring a green value integrating multiple aspects of environmental housing: energy efficiency, comfort, image, reduction of vacancy... Even if green valuation aims at measuring all the environmental services brought by a dwelling, the energy certificate is a good proxy as it synthesizes the available information on the energy-efficiency characteristics of the dwellings. This label provides clear and direct information about the energy-efficiency of the dwelling, which will be in return found in the price.

However, energy labels have two drawbacks. First of all, there are various labels throughout the world and even within each country. The methods employed to calculate energy-efficiency diverge between the labels and results can be presented in different ways: for example, *A* to *G* for the EPC, Platinum/Gold/Silver/Certified for LEED. Some certificates are mandatory, like the EPC, while others are not (for instance LEED). These differences affect the comparability of green values and reduce the readability of the energy performance of housing. The second drawback is that the energy cost of living in a given dwelling is not provided by an EPC, so it's difficult to know whether consumers correctly consider the energy costs when they buy a dwelling.

Finally, Dermisi (2009) and Jaffe *et al.* (2012) empirically show the importance of taking into account geographic assets Jaffe *et al.* (2012) matched data on the local weather to the characteristics of the building. Indeed the heterogeneity of the local real estate markets should be taken into account. Going further, Dermisi (2009) uses a spatial error model to take into account spatial autocorrelation of the residuals. The use of a spatial model is important as spatial autocorrelation and spatial heterogeneity can lead to inefficient estimator or biased estimates. Overall, the green value literature lacks spatial analysis. This subject will be deeply discussed in the next section.

### 3.2.2 Spatial hedonic evaluation

The hedonic property value model is based on the seminal work of Rosen (1974). As stated by this model, one can estimate the price of non-market goods by observing the equilibrium in the housing market. A dwelling is a differentiated good which can be considered as a set of its attributes. The optimal choice is therefore determined by the choice of dwelling's attributes which maximize the household's utility. The regression of housing prices on their attributes can reveal consumers' marginal willingness-to-pay (MWTP) for particular dwelling characteristic and can be thought as its implicit price<sup>35</sup>.

Considering the following hedonic equation:

$$P = \alpha_i + X\beta + \varepsilon \quad (3.1)$$

---

<sup>35</sup> Let us note that the obtained MWTP can then be used in a second step of the hedonic evaluation, to calculate the demand for this characteristic. In our paper we only focus on the first stage of the procedure.

where  $P$  is a price of a dwelling,  $X$  is a matrix of explanatory variables,  $\beta$  is a vector of associated coefficients,  $\mathbf{1}_n$  is an  $N \times 1$  vector of ones associated with the constant term parameter  $\alpha$ ,  $\varepsilon$  vector of error terms<sup>36</sup>.

According to Baumont (2009), the matrix  $X$  is composed of three bundles of characteristics,  $X = (H; N; A)$ , corresponding respectively to structural attributes, neighborhood variables and accessibility variables.

- Structural or intrinsic attributes,  $H$ , describe the physical characteristics of the housing and satisfy household preferences for residential services (Muth, 1969). The Energy Performance label is precisely part of these characteristics.
- The second set of attributes,  $N$ , includes neighborhood variables depicting the quality of amenities and the economic and social characteristics in the neighborhood of the dwelling. We can talk about local extrinsic attributes revealing the household's "social" preferences (i.e. the type of society and the place where they want to live).
- The third bundle,  $A$ , is composed of accessibility variables to major markets. We speak of global extrinsic attributes - i.e. across the entire location area - satisfying household preferences for markets integration (Bajari and Kahn, 2005).

The second and third bundles, neighborhood variables and accessibility variables, are outcomes of the household's choice of location. This choice of location allows for the household to enjoy surrounding amenities and the proximity to services and to working locations. These choices shape the housing market which in return leads to spatial dependencies.

Spatial dependencies refer to spatial autocorrelation and spatial heterogeneity. It means that the housing prices observed in one place may not be independent of the housing prices observed in neighboring areas.

Technically, to deal with the spatial dimension requires the description of a spatial interaction pattern, defined by the spatial weight matrix  $W$ , which indicates the way each observation is connected to each other and gives the value of the intensity of the connections.

Formally, for  $N$  observations (dwellings), the spatial weights matrix,  $W$ , is a squared  $N \times N$  matrix, the generic term is noted  $w_{ij}$ , where  $i$  and  $j$  denote observations.  $w_{ij} \neq 0$  if and only if the observations  $i$  and  $j$  are considered as neighbors, and zero otherwise. By convention,  $w_{ij} = 0$  (Anselin, 1992).

For a variable  $z$ ,  $Wz$  is its spatial lagged variable.  $Wz$  is a weighted linear combination of the values of the variable  $x$  observed for a set of neighboring dwellings. Three types of spatial lagged variables can be introduced to model spatial interactions between dwellings into the hedonic regression (3.1).

---

<sup>36</sup> In our estimates, we use a log-log specification of the hedonic equation (3.1), which is very often used specification in hedonic studies. The OLS estimated coefficient can be interpreted as elasticity of the corresponding characteristic.

Endogenous spatial lag variable,  $WP$ , allows to estimate a spatial autoregressive coefficient  $\rho$  indicating the intensity of the impact of neighboring house prices on the price of the observation itself. The effects of such endogenous interactions are modeled by a SAR Spatial Autoregressive Model:

**SAR Model:**

$$P = \rho WP + \alpha i_n + X\beta + \varepsilon \quad (3.2)$$

Exogenous spatial lag variables  $WX$ , allow the modeling of exogenous interaction effects and to estimate  $\theta$ , a  $K \times 1$  vector of parameters corresponding to the exogenous variables. The values of  $\theta$  can be viewed as the intensity of the impact of neighboring dwelling attributes on the price of the observation itself. Spatial lag of exogenous variables are usually modeled in the SLX Spatial explanatory lagged model:

**SLX Model:**

$$P = \alpha i_n + X\beta + WX\theta + \varepsilon \quad (3.3)$$

The error lag, noted  $WE$ , allows the modeling of the spatial dependence of nuisance in a SEM - Spatial Error Model - specification (equation (3.4)). The estimated value of the spatial parameter  $\lambda$  indicates the intensity of the dependence between the residuals of the regression.

**SEM:**

$$P = \alpha i_n + X\beta + \varepsilon, \varepsilon = \lambda W\varepsilon + u \quad (3.4)$$

The SEM specification is useful to control for the omission of spatial autocorrelated variables (Anselin and Le Gallo, 2006). Estimated values are then based on the good statistical inference.

In the Spatial autoregressive model (SAR), Spatial explanatory lagged model (SLX) and Spatial error model (SEM), only one type of spatial interaction is introduced: endogenous interaction, exogenous one or of nuisances respectively. It is possible to combine several types of interactions. The Spatial Durbin Model (SDM) combines exogenous interactions and endogenous ones (equation (3.5)) and the Spatial Durbin Error Model (SDEM) combines exogenous interactions and nuisance interactions (equation (3.6)).

**SDM:**

$$P = \rho WP + \alpha i_n + X\beta + WX\theta + u \quad (3.5)$$

**SDEM:**

$$P = \alpha i_n + X\beta + WX\theta + \varepsilon, \varepsilon = \lambda W\varepsilon + u \quad (3.6)$$

Those spatial specifications are widely used in hedonic valuation of environmental amenities (Votsis, 2017; Maslianskaïa-Pautrel and Baumont, 2016; Mihaescu and vom Hofe, 2013; Fernandez-Aviles *et al.*, 2012; Bin *et al.*, 2011; Anselin and Lozano-Gracia, 2008), and of social effects of neighborhoods (Baumont and Legros, 2013; Baumont, 2009).

One study estimates the impact of an energy label using a spatial hedonic model (Dermisi, 2009). He estimates a Spatial Error Model to study the impact of the LEED certificate on commercial buildings in the USA.

Spatial hedonic models may provide information about spatial interactions, that is the way spatial lagged prices and/or spatial lagged attributes design the market. However, the introduction of these lagged variables in the regression (3.1) modifies the estimators and requires rigor in the interpretation of the estimated coefficients in order to evaluate the implicit prices of housing attributes (Halleck Vega and Elhorst, 2015). Only the most recent literature deals with these problems. A synthesis proposed by Maslianskaïa-Pautrel and Baumont (2016) shows how the different types of spatial interaction patterns impact the estimation of the implicit prices (cf Table 3.1). The choice of the spatial specification is not neutral and questions the robustness of the estimated results and the selection of the spatial model.

Following the methodology developed by Maslianskaïa-Pautrel and Baumont (2016), we are using two approaches for selecting the appropriate spatial model. The first one, *Specific-to-General* approach, consists of testing for spatial dependence in a non-spatial equation, and to perform a series of tests for the presence of spatial dependence. If spatial autocorrelation is confirmed (Moran's I test), we can discriminate between two forms of spatial dependencies - spatial autocorrelation of errors - SEM – or endogenous spatial lag - SAR (Lagrange Multiplier tests: LMERR and LMLAG, and their robust versions, R-LMERR, and R-LMLAG). When the choice of the SEM is suggested, the Common Factor test should be used to choose between the SEM specification and its extensive form as a SDM specification<sup>37</sup>. The same approach can be used by starting with a SLX specification. Figures 3.1(a) and 3.1(b) display a step by step process.

A General-to-Specific approach, discussed for example by Halleck Vega and Elhorst (2015), involves to start with the most general model and to test if these models are more appropriated than different constrained specifications, by using Likelihood Ratio tests (LR test) on spatial parameters  $\rho$ ,  $\lambda$ ,  $\theta$ . Figure 3.1(c) shows this approach.

Once the appropriate specification is chosen, the estimation of implicit prices of housing attributes is obtained using the estimated values of the parameters as detailed in Table 3.1. Since our goal is to develop a robust evaluation of the implicit price associated with the energy label, we apply this methodological framework to our case study.

---

<sup>37</sup> See Anselin and Florax (1995); Anselin *et al.* (1996) for more detail about rule decision based on Lagrange Multiplier Tests, and Mur and Angulo (2006) about the Common Factor test.

Figure 3.1: Spatial Model Selection

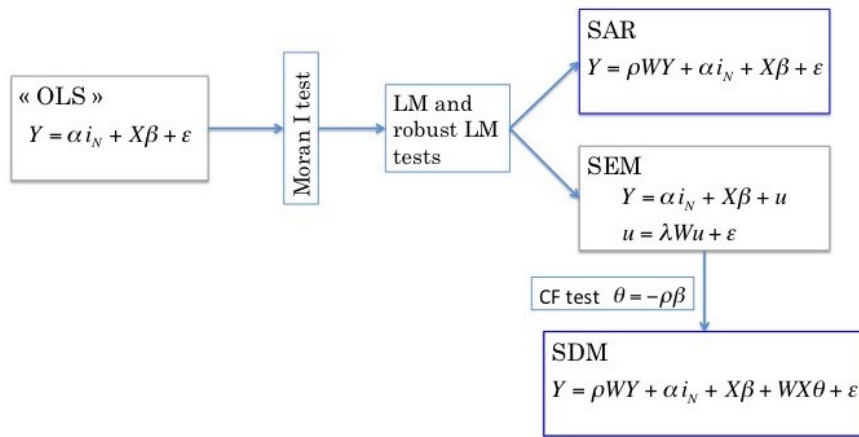


Figure 3.1 (a): Specific-to-General approach 1

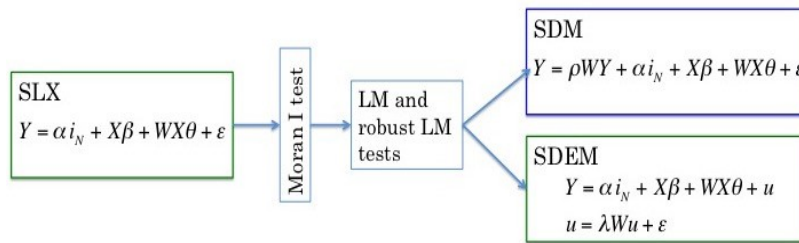


Figure 3.1 (b): Specific-to-General approach 2

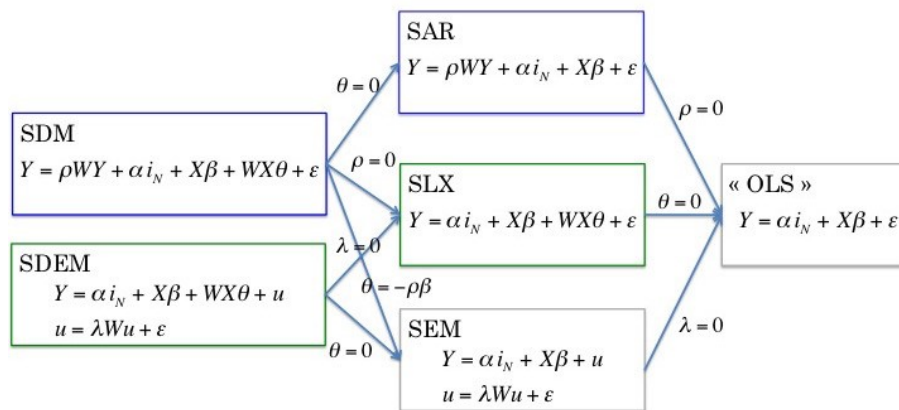


Figure 3.1(c): General-to-Specific approach

   $MWTP = \hat{\beta}$ ; 
    $MWTP = DE + IE = \hat{\beta} + \hat{\theta}$ ; 
    $MWTP = DE + IE = (I - \hat{\rho}W)^{-1} M_{ENV}(\hat{\beta}, \hat{\theta}, w_{ij})$ .

Table 3.1: Implicit price of housing attribute in different spatial models

Hedonic equation reduced form	Spatial process Variables (parameters)	Spatial effects Spatial dependence (Spatial spillovers)	Implicit price ( $MWTP$ ) $_k^i$ of $x_k^i$ ( $= DE + IE$ )	
			Direct effect, DE	Indirect effect, IE
OLS $P = \alpha I_N + X\beta + \epsilon$	None	None	$\hat{\beta}_k^i$	-
SLX $P = \alpha I_N + X\beta + WX\theta + \epsilon$	Explanatory ( $\theta$ )	Modeled (local)	$\hat{\beta}_k^i$	$\hat{\theta}_k^i$
SEM $P = \alpha I_N + X\beta + u$ $u = \lambda Wu + \epsilon$	Error ( $\lambda$ )	Un-modeled (nuisance)	$\hat{\beta}_k^i$	-
SDEM $P = \alpha I_N + X\beta + WX\theta + u$ $u = \lambda Wu + \epsilon$	Explanatory ( $\theta$ ) and Error ( $\lambda$ )	Un-modeled (nuisance) and modeled (local)	$\hat{\beta}_k^i$	$\hat{\theta}_k^i$
SAR $P = \alpha I_N + \rho WP + X\beta + \epsilon$ $P = (I - \rho W)^{-1}(\alpha I_N + X\beta + \epsilon)$	Endogeneous ( $\rho$ )	Modeled (global)	Mean of diag.elements of $(I - \rho W)^{-1}\hat{\beta}_k^i$	Mean of off-diag.elements of $(I - \rho W)^{-1}\hat{\beta}_k^i$
SDM $P = \alpha I_N + \rho WP + X\beta + WX\theta + \epsilon$ $P = (I - \rho W)^{-1}(\alpha I_N + X\beta + WX\theta + \epsilon)$	Endogeneous ( $\rho$ ) and Explanatory ( $\theta$ )	Modeled (global and local)	Mean of diag.elements of $(I - \rho W)^{-1}(\hat{\beta}_k^i + W\hat{\theta}_k^i)$	Mean of off-diag.elements of $(I - \rho W)^{-1}(\hat{\beta}_k^i + W\hat{\theta}_k^i)$

Note:  $\hat{\beta}_k^i$  and  $\hat{\theta}_k^i$  denote the coefficients of the corresponding housing attribute  $x_k^i$ .

The nature of spatial dependence and spatial effects follows the taxonomy in Anselin (2003) and Halleck Vega and Elhorst (2015). First, we consider whether the spatial correlation in the reduced form pertains only to un-modeled effects (error terms), to modeled effects (included explanatory variables), or to both. Spatial autocorrelation is treated as a nuisance (error terms) or not (autoregressive). Second, we make the distinction between global and local spillovers. In the reduced form this comes down to the inclusion of a spatial multiplier effect coming from the spatial autoregressive process of endogenous variable (SAR) *versus* a simple spatial process coming from spatial lag of explanatory variables (SLX).

Source: adapted from Maslianskaia-Pautrel and Baumont (2016)

### 3.3 Study area and data

#### 3.3.1 The urban area of Dijon (France)

Our empirical model is developed for the urban area of Dijon (see Figure 3.2), located in the east of France in the Region Bourgogne Franche-Comté. The urban area spreads over 3 339 km<sup>2</sup> and encompasses 295 cities<sup>38</sup>. With 380 236 inhabitants and 167 730 jobs<sup>39</sup>, the urban area of Dijon is the largest urban areas of the Bourgogne-Franche-Comté. During the last decade, its population increased due to a surplus of births over deaths, and employment is expanding, especially in the tertiary sector and in the metropolitan functions. The city of Dijon is the core of the Urban Center where 153 000 people live. The Grand Dijon is a cluster of municipalities and is the administrative level at which main public facilities such as public urban transportation and metropolitan public services such as State institutions of higher education or main cultural services are offered. The Grand Dijon includes 24 municipalities and 248 028 inhabitants. Outside the Grand Dijon, the urban area is composed of rural districts excepted for a bundle of small cities. The population density strongly decreases from the core to the urban area fringe: from 3 786 inhabitants per km<sup>2</sup> in Dijon), to 476 inhabitants per km<sup>2</sup> for the first ring and only 36 inhabitants per km<sup>2</sup> in the periphery.

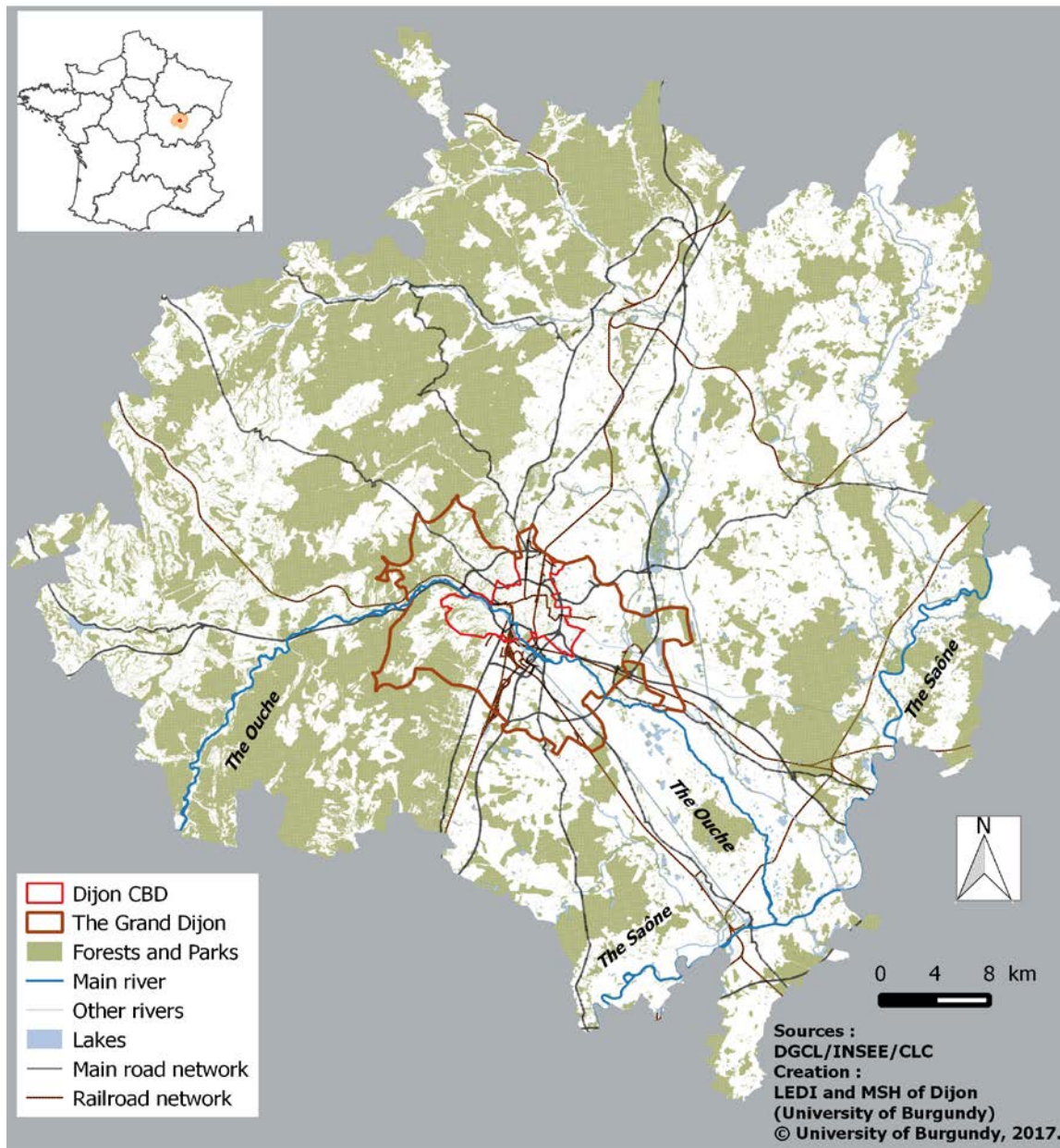
According to the 2013 census data, 71 000 of houses in the study area are occupied by their owners, which corresponds to 88% of the stock of the houses used as main homes. For apartments, the owner-occupied percentage is lower than for houses: about 33% of 31 000 apartments are used as the main home. It is not surprising to observe that the Grand Dijon attracts mainly young people, students or workers. Dijon attracts students from the surrounding areas. Many small-sized apartments have been developed to welcome them creating at the same time a higher number of rented apartments. Families prefer living in single houses and often choose to live in the cities surrounding Dijon or in more distant towns where they can find private and public facilities while remaining close to Dijon by the road or by the train. The eastern and the northeastern sectors of the urban area are the main beneficiaries of these residential choices.

Eventually, the Dijon urban area is a territory with various natural amenities. A large part of the territory is occupied by agricultural land and forests. There are many rivers and lakes across the territory with the biggest being the Saône crossing the area from the South, and the Ouche river going through Dijon. In the urban and peri-urban areas, there are many parks and other open spaces offering various leisure and recreative activities. Nevertheless, there is no exceptional natural amenity in the study area such as mountains or seashore. We could qualify the study area as quite homogeneous regarding to natural amenities.

---

<sup>38</sup> INSEE defines an urban area as a group of contiguous municipalities encompassing an Urban Center (Pôle Urbain) providing at least 10 000 jobs surrounded by a ring of suburban municipalities (named Couronne Périurbaine) for which at least 40% of employed resident population works in the Urban Center or in the suburban municipalities.

<sup>39</sup> Source : population census of 2013, INSEE RP-2013



**Figure 3.2 : Urban area of Dijon**

*Creation: LEDI and MSH of Dijon (University of Burgundy)*

*Reproduction forbidden - All Rights Reserved*

One of the conditions necessary to obtain a green value using the hedonic evaluation is a “normal” tension on the real estate market. Indeed, when supply is higher than demand on the real estate market, the cheapest dwellings are sold and the others remain vacant. The prices of the more efficient dwellings, here the green ones, must come down in order to be sold. If there is a lack of supply, all dwellings are sold or rented at high prices, whatever their characteristics. As a consequence, green characteristics can be a discriminating factor for buyers only for a real estate market under “normal” tension. This condition has to be analyzed from both the supply and the demand sides. Concerning our real estate market over the past five years, the housing market was stable in the urban area with a good dynamic and without too much tension as the supply satisfies the demand. This normal tension allows the discrimination of the different characteristics of housing, including the green label, namely to apply the hedonic method.

### 3.3.2 Data

The data on real estate transactions come from the base PERVAL established by the Marché Immobilier des Notaires MINOT<sup>40</sup>. The sample includes single-family houses and apartments, sold from January 2013 to December 2014. The choice of this period is motivated by the French legislation about DPE label. The energy performance certificate DPE has been established in 2006 with the obligation to analyze the energy efficiency of a building before the property purchase. The publishing of this label on the real estate ad is mandatory since 2010. We assume that in 2013 and 2014 households became accustomed to the publication of the DPE label and began to consider it as a signal of the building’s energy quality. We obtained from the PERVAL database information of 1 467 apartments and 1 082 houses which were purchased in 2013 and 2014. For each transaction, we extracted information on the price, the intrinsic characteristics and the precise location at the land parcel of the dwelling.

The spatial distribution of observations is very different between houses and apartments. Houses, are spread over the whole territory (Figure 3.3). There is a greater density of transactions in the central districts of the Dijon urban area and a relatively homogeneous distribution of transactions over the rest of the urban area. In contrast, the apartments (Figure 3.4) are mainly concentrated in the urban center and virtually absent in the rest of the urban area. Therefore, these elements lead to consider different spatial modeling for the two types of real estate, in particular for the definition of spatial interactions between observations (see Section 5).

#### *The housing attributes (H)*

Among the intrinsic characteristics, the variable of interest is the energy performance label (DPE). Estimating an average one-letter improvement implies that the premium is linear for each energy class. Yet, we can think that the effect of one-letter improvement may differ according to multiple factors: the scarcity of the letter, each class hasn’t the same energy range (for instance 40

---

<sup>40</sup> Source: “Notaires de France - base de données PERVAL”2013 and 2014. Data integrated into the base on the 18/06/2015. Geographic area: 295 cities of Dijon urban area.

kW/m<sup>2</sup>/year for the class *B* vs 60 kW/m<sup>2</sup>/year for the class *C*), and we can think that consumers are less sensitive to the differences between letters on the middle of the ladder than on the top or on bottom. This is why in our empirical study we prefer to give a result for each letter.

The DPE labeling depends heavily on the various French Thermal Regulations which have followed one another from 1974 to 2012. Thermal regulations draw their name from their year of implementation: the first one RT1974 applied in 1975 after the first oil shock and the last one RT2012 applied in 2013. Each new Thermal Regulation RT1974, RT1988, RT2000, RT2005 and RT2012 applied to all the new constructions respectively built after 1975, 1988, 2000, 2005 and 2012. If housing was not meanwhile renovated nor transacted, its corresponding levels of DPE are the followings: levels G and F for RT1974, level E for RT1988 and RT2000, levels D, C or B for RT2005 and finally level A for RT2012. In the PERVAL database, 1980 is the first construction period after the first French Thermal Regulations RT 1974. A dummy variable Post1980, indicating whether the housing was built after 1980, was then added to intrinsic characteristics for both houses and apartments.

The distributions of the energy performance certificate, rating from A to G, for each type of dwelling are presented in Table 3.2 and Figure 3.5. The distribution of the DPE is similar for houses and apartments. Unsurprisingly, there are more observations corresponding to high energy consuming categories (from D to G) than to the energy performing categories A, B or C. Housing transactions rarely concern new housings (labeled A or B). This reflects a relatively old housing stock both in terms of construction and in terms of thermal regulation. However, the categories with the highest frequencies are the “middle one”, D and E like in most of the countries (Brounen and Kok, 2011; Mudgal *et al.*, 2013). As in Fuerst *et al.* (2015) where C, D, and E represents more than 90% of their sample, most of ours is with middle levels (70% for houses and 77% for apartments). Given the very small number of dwellings with DPE A and B, literature suggests to grouped them into a single category (Fizaine *et al.*, 2018). Finally, the variable DPE is a qualitative variable with six modalities, and for the estimates, we use the modality D<sup>41</sup>

Other intrinsic characteristics obtained from the PERVAL database are the living space (LivSp), the number of rooms (NbRoom) and the number of parking lots (NbPark)<sup>42</sup>. These variables are common for the samples of houses and apartments. For the house sample we also get the land area (LandAr), the number of floors (NbFloor) and the number of bathrooms (NbBath). For the apartment sample, the variable Floor indicates the floor of the building where the apartment is located<sup>43</sup>.

---

<sup>42</sup> In fact, living space and the number of rooms are correlated (correlation = 0.86), and then we follow the recommendations of many hedonic evaluation and we do not consider any more the variable NbRoom in the hedonic equation.

<sup>43</sup> Since 96% of the apartments in the sample have one bathroom (see Table 3.5), we do not include the variable NbBath in the hedonic regression because of its multicollinearity with the intercept.

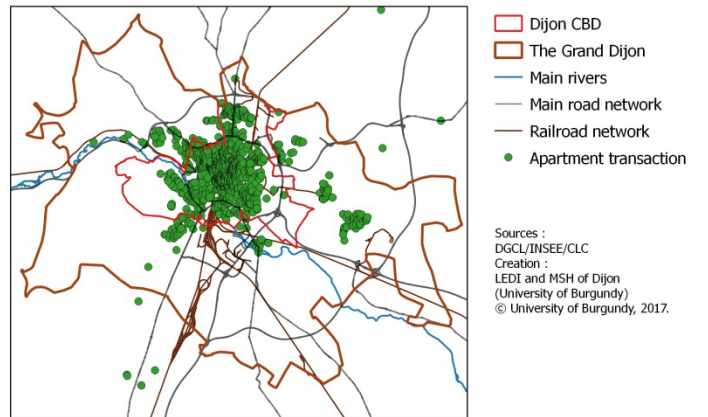
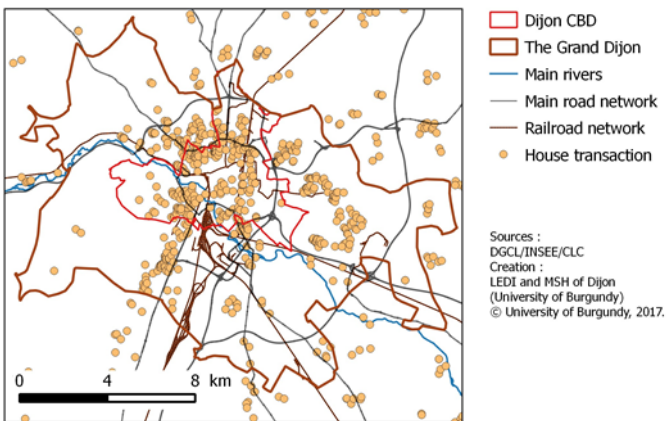
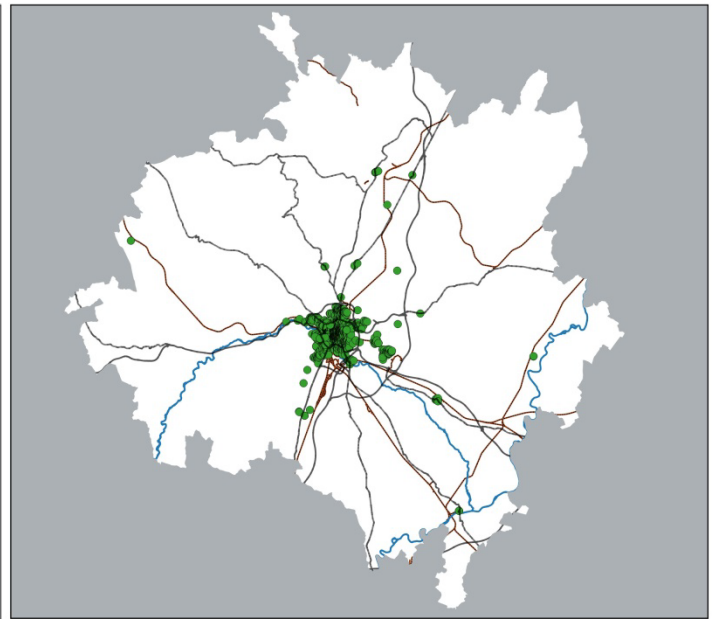


Figure 3.4: Spatial distribution of houses

Figure 3.5 Spatial distribution of apartments

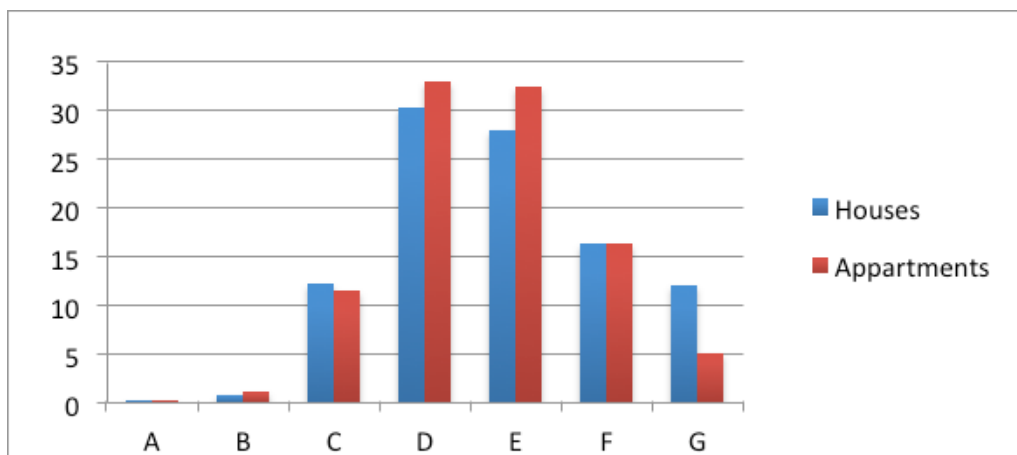


Figure 3.3: Conditional distributions of DPE label for house and apartment markets (%)

### *The neighborhood variables (N)*

Concerning the neighborhood variables, data extracted from the land use base CORINE Land Cover 2012<sup>44</sup> and of Permanent Base of Equipment (BPE<sup>45</sup>), allow us to build environmental variables and accessibility variables using data obtained with GIS technics. For each dwelling, we built a variable of proximity to green amenities (DistGreenAm) and a variable of proximity to blue amenities (DistBlueAm). Green amenities include forests and parks, with “DistGreenAm” being the Euclidean distance to the closest of these amenities. We consider as blue amenities rivers, lakes and ponds, with “DistBlueAm” being the Euclidean distance to the closest of these amenities. The Permanent Base of Equipment database includes the following equipment: schools, cultural and sports infrastructures, and health facilities. We built the variable EqRate to give the equipment rate of the district where the dwelling is located.

A district corresponds to the IRIS which is a statistical unit of area grouping 2000 inhabitants. Finally, we compute for each dwelling the distance to the closest disadvantaged district (DistDD). The population living in a French disadvantaged district, known as “Zone Urbaine Sensible”, is characterized by a high level of unemployment and low incomes. French disadvantaged district concentrates very high rates of social housing. Taking a threshold of 50% and more of social housing, Leboulenger *et al.* (2016) identified fifteen disadvantaged districts which are all located in the Grand Dijon. It is well established that the social status of a district impacts the household’s residential choice and Baumont (2009) showed that the location in a Disadvantaged District and a location near a DD both impact negatively the housing prices.

### *The accessibility variables (A)*

Accessibility variables are computed to measure the distance to the core of Dijon (DistCBD) and, for the house sample, the distance to the closest railway station (DistRailSt)<sup>46</sup>. In each case, we use the Euclidian distance which is a good proxy of the road distance in the urban area of Dijon.

### *Other variables*

Finally, we added a dummy variable Year2014 to control for the date of the transaction.

Table 3.3 summarizes the definitions and sources of variables. Tables 3.4 and 3.5 show some descriptive statistics for the houses and apartments samples.

---

<sup>44</sup> See <http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

<sup>45</sup> For more information, see: <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/base-permanente-des-equipements-1/>

<sup>46</sup> Since apartments in the sample are concentrated in the center of the urban area, the Dijon train station, located in the core of Dijon, is the nearest railway station for almost all apartments. The DistRailSt variable for apartments is then highly correlated with the DistCBD one and was then not taken into consideration.

The average price of a single house is 201 700 € for an average surface area of 111 square meters and an average land area of 889 square meters. 50% of houses are situated at least 11.57 km away from the city center of Dijon and 2.8 km from a railway station. The average distance to a disadvantaged district is 10.8 km with a strong dispersion (almost 90% of the mean value) due to the distribution of houses all over the urban area. In average, Houses are 4.19km away from blue amenities and 1.52km away from green ones.

The average price of an apartment is 116 500 € for an average surface area of 58.14 square meters. Half of the apartments are closer than 1.7 km to the city center of Dijon and 2.06 km to a disadvantaged district. Apartments are close to either blue amenities or green amenities with respectively 2.8 km and 2.04 km as average distances and with smaller dispersions than for houses (standard deviation of 1.18 and 0.8 for the variables DistBlueAm and DistGreenAm respectively).

**Table 3.2: Dwellings distributions according to DPE**

<i>DPE</i>	A	B	C	D	E	F	G	Total
Houses	0.25	0.84	12.25	30.37	27.94	16.44	12.08	100
Apartments	0.28	1.12	11.45	33.17	32.54	16.65	4.78	100

Note : The table shows the conditional frequency distributions of the *DEP* label for houses and for apartments. There are 1423 apartments and 1082 houses in the sample.  
Data source: Notaries base PERVAL.

Table 3.3: Variable definitions

Variable	Description (Unit)	Source
ENDOGENOUS VARIABLE		
P	Price of the dwelling including taxes (euros)	PERVAL database
EXOGENOUS VARIABLES		
LivSp	Living space of the dwelling ( $m^2$ )	PERVAL database
NBBATH	Number of bathrooms in the dwelling (Discret variable with 4 modalities)	PERVAL database
NBPARK	Number of parking lots in the dwelling (Discret variable)	PERVAL database
LANDAREA	Lot area ( $m^2$ ) - for houses only	PERVAL database
NBFLOOR	Number of study of the house (Discret variable with 4 modalities) - for houses only	PERVAL database
FLOOR	Floor of the apartment in the building (Discret variable with 7 modalities) - for apartments only	PERVAL database
DPE	Performance energy certificate - Discret variable with 6 modalities:	PERVAL database
AB		
C		
D	reference modality	
E		
F		
G		
Post1980	Binary variable, equal to 1 if the dwelling was built after 1980.	PERVAL database
EqRate	Ratio of the number of equipments in a district ( <i>per 1 000 inhabitants</i> )	BPE database
DistCBD	Distance to the city-center of Dijon ( <i>km</i> )	GIS calculated
DistRailSt	Distance to the closest train station ( <i>km</i> )	GIS calculated
DistDD	Distance to the closest sensitive urban zone, "Disadvantaged District" ( <i>km</i> ).	Leboulenger et al. (2016) and GIS calculated
DistBlueAm	Distance to the closest "blue amenity" ( <i>km</i> ). Blue amenities are rivers and lakes	CORINE Land Cover and GIS calculated
DistGreenAm	Distance to the closest "green amenity" ( <i>km</i> ). Green amenities are parks and forests	CORINE Land Cover and GIS calculated
YEAR2014	Binary variable, equal to 1 if the transaction from 2014, 0 otherwise	PERVAL database

Table 3.4: Descriptive statistics for Houses sample

CONTINUOUS VARIABLES				
Variable	Min	Median	Mean (Std Deviation)	Max
P	15 500	187 000	201 700 (86 945)	750 000
LivSp	56	106	111 (29)	225
LANDAREA	27	610	889 (2 089)	57 280
EqRate	0	2.56	2.70 (2.88)	22.10
DistCBD	0.54	11.57	13.48 (10.19)	42.04
DistRailSt	0.095	2.8	4.3 (4.32)	24.26
DistDD	0.127	8.298	10.800 (9.474)	39.820
DistBlueAm	0.063	3.58	4.19 (3.27)	23.15
DistGreenAm	0.049	1.3	1.52 (0.807)	4.47
DISCRETE VARIABLES				
Variable	Number	%		
NbBATH				
1	777	71.81		
2	275	25.41		
3	28	2.58		
4	2	0.18		
NbPARK				
0	217	20.06		
1	733	67.74		
2	119	10.99		
3	10	0.92		
4	3	0.28		
NbFLOOR				
1	353	32.64		
2	608	56.19		
3	116	10.72		
4	6	0.55		
DPE				
AB	13	1.20		
C	138	12.76		
D	335	30.96		
E	311	28.74		
F	183	16.91		
G	102	9.43		
YEAR2014 (=1)	634	58.6%		
POST1980 (=1)	368	34.01%		

Sample size 1082 observations.

Table 3.5: Descriptive statistics for apartments sample

CONTINUOUS VARIABLES				
Variable	Min	Median	Mean (Std Deviation)	Max
P	14 000	105 000	116 500 (59 183)	526 000
LivSp	18	59	58.14 (22)	157
EqRate	0	1.56	1.81 (1.85)	25.42
DistCBD	0.081	1.639	2.231 (2.126)	18.910
DistDD	0.062	2.063	2.011 (1.246)	17.000
DistBlueAm	0.327	2.8	2.8 (1.18)	8.54
DistGreenAm	0.08	2.11	2.04 (0.8)	3.8
DISCRETE VARIABLES				
Variable	Number	%		
NBATH				
0	9	0.63		
1	1365	95.92		
2	46	3.23		
3	3	0.21		
NBPARK				
0	764	53.69		
1	579	40.69		
2	78	5.48		
3	2	0.14		
FLOOR				
0	317	22.28		
1	363	25.51		
2	308	21.64		
3	220	15.46		
4	101	7.10		
5	42	2.95		
6 and more	72	5.06		
DPE				
AB	21	1.43		
C	169	11.52		
D	486	33.13		
E	477	32.52		
F	239	16.29		
G	75	5.11		
YEAR2014 (=1)	881	61.91%		
POST1980 (=1)	433	30.43%		

Sample size 1423 observations.

Table 3.6: Distance between closest observations (K-nearest)

K nearest neighbors	Houses					Apartments				
	1 <sup>st</sup> Qu	Median	Mean	3 <sup>rd</sup> Qu	Max	1 <sup>st</sup> Qu	Median	Mean	3 <sup>rd</sup> Qu	Max
1	81.20	167.05	393.63	335.28	7799.17	0	21.34	65.53	65.29	9004.62
5	205.37	386.19	921.34	1066.51	15074.85	6.01	84.37	145.43	140.45	9119.03
10	324	635.54	1433.37	2089.76	16602.96	75.84	129.82	228.62	209.06	9481.45
15	425.85	870.82	1825.98	2695.53	17074.81	102.33	165.85	289.53	266.42	15591.23
20	527.08	1082.88	2141.77	3146.10	18414.79	122.56	196.12	337.26	307.59	15605.21
25	618.92	1303.42	2417.02	3591.47	19096.07	141.25	225.11	412.25	345.73	15624.81
30	708.80	1506.25	2665.55	3962.15	19837.01	158.27	251.44	446.83	383.54	15646.63

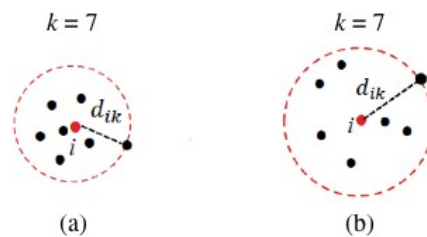
### 3.4 Spatial analysis

#### 3.4.1 Neighborhood analysis and definition of spatial interaction patterns

To define the spatial weights matrix  $W$  and its terms  $w_{ij}$ , it is necessary to specify the extent of the neighborhood in which real estate transactions will be considered as dependent ( $w_{ij} \neq 0$ ), and the strength of this dependence (value of  $w_{ij}$ ).

Concerning the neighborhood, we apply here the definition of neighborhood based on the number of nearest neighbors. It means to choose a set of  $k$  nearest neighbors such as each observation has exactly  $k$  neighbors, so there is no isolated observation without neighbors. Formally, observations  $i$  and  $j$  are considered as neighbors if  $d_{ij} \leq d_{ik}$  where  $d_{ik}$  is the maximal distance such as the observation  $i$  has exactly  $k$  neighbors.

Thus the radius  $d_{ik}$  is specific to each observation  $i$ , it's probably smaller for denser areas than for dispersed ones: neighbors of isolated observations could be located at a greater distance, while for observations located in high density urban areas, nearest observations will be very close (see Figure 3.6). As the constant  $k$  increases, the distance  $d_{ik}$  probably increases for each house  $i$ . When we assimilate this design of neighbors' set to the household behavior, it means that anywhere the household is searching for a house a same amount of information is needed. This neighborhood definition seems to be well adapted to our study area and to houses and apartments markets.



**Figure 3.6: Neighborhood of  $k$ -nearest neighbors ( $k = 7$ ) in a dense area (a) and in a dispersed area (b)**

Table 3.6 shows the distribution of distances between neighbors for the apartment and housing markets respectively. For increasing values of  $k$ , the distributions of quartiles as well as the mean values of distances are shown. The differences for the apartments and houses distributions are consistent with different spatial distributions of apartments and houses over the study area (cf section 4.2). The apartments, concentrated in the center of the study area, are closer to each other: 75% of the apartments of the sample have their nearest neighbor located at 65 meters. 65 meters corresponds also to the mean distance between any two apartments in the sample. At least 25% of the apartments have the nearest neighbors in the same building. The houses are spread over the whole territory (about 2280 km squared), thus they are more distant one from another: 25% of the houses have their nearest neighbor located at 81,20 meters, the mean distance

between any two houses in the sample is a little less than 400 meters, even if 75% of the houses have their nearest neighbor at almost 340 meters. Such distribution indicates, among other things, the existence of isolated houses, which must be taken into account in the choice of spatial weights.

When  $k$  rises, the distances between neighbors increase on both markets, but at a decreasing rate as  $k$  increases. The mean and median values of distances for the neighboring apartments distribution are lower than those for houses for every  $k$ . For the apartments, 75% of distances between  $k$  nearest neighbors are less than mean distances for every  $k \geq 5$ . This can be explained by the fact that some apartments are located far away from Dijon and its nearest suburb. For the houses, the mean distance is almost equal to the 3rd quartile value for 5 nearest neighbors, and the mean is less than the 3<sup>rd</sup> quartile for every  $k \geq 5$ ; which confirms the distribution of houses over the whole study area. Due to these considerations, we have only kept the apartments located in the Urban Center and have deleted the few isolated observations, (see Figure 3.4) which shrinks our final sample to 1 423 apartments.

To define the intensity of the neighbor relationship, one of the most common approaches used in the hedonic evaluation is the distance based pattern for which the non-zero elements of the  $W$  matrix is a decreasing function of the distance between two neighbors<sup>47</sup>. In the distance based pattern, the non-zero elements of the  $W$  matrix is a decreasing function of the distance between two neighbors. We use two specifications of  $w_{ij}$ : the inverse distance  $w_{ij} = 1/d_{ij}$  ( $W_1$  is the corresponding  $W$  matrix) and the inverse squared distance  $w_{ij} = 1/d_{ij}^2$  ( $W_2$  is the corresponding  $W$  matrix).

Let us note that to compare the spatial analysis in the case of different matrices, we apply a standardization by line, i.e. the spatial weights are transformed so that in each row the sum of the weights is equal to 1<sup>48</sup>:

$$\sum_{j=1}^N w_{ij} \tag{3.7}$$

We have two spatial patterns to define an appropriate k-nearest neighbor neighborhood.

---

<sup>47</sup> One can also consider a contiguity measure for which the interaction between each pair of neighbors is the same whatever the distance between them. Maslianskaia-Pautrel and Baumont (2016) showed that this contiguity pattern does not represent faithfully the reality.

<sup>48</sup> The weights are now between 0 and 1, which allows comparisons of spatial parameters in different econometric models, and gives an interpretation in terms of the intensity of the neighboring links.

### 3.4.2 Spatial autocorrelation of dwelling prices

When the distribution of a value (for example the prices per square meter of the apartments) and its geographical distribution coincides, one talks about spatial autocorrelation: prices per square meter are not spatially randomly distributed. Positive (respectively negative) spatial autocorrelation will then result in the geographical grouping of similar (respectively different) values. To measure this global spatial autocorrelation, the Moran's I statistic (1948) is most frequently used, which is written as follows:

$$I = \frac{N}{S_0} \frac{\sum_i \sum_j (P_i - \bar{P}) w_{ij} (P_j - \bar{P})}{\sum_i (P_i - \bar{P})^2} \quad (3.8)$$

Where  $P_i$  ( $P_j$ ) is the price per square meter of the dwelling  $i$  ( $j$ ),  $\bar{P}$  is the mean price per square meter of all dwellings in the study,  $N$  is the number of observations (dwellings) and  $w_{ij}$  is the spatial weight corresponding to the dwellings  $i$  and  $j$ .  $S_0$  is a scale factor equal to the sum of all elements of  $W$ .

We calculate the Moran's I values for apartment prices and for house prices, according to different values of  $k$ : from 2 to 150 nearest neighbors, and for the two matrices  $W_1$  and  $W_2$  introduced in the previous section (see Figure 3.7). For all the configurations, the Moran's I test confirms the assumption about positive spatial autocorrelation of dwelling prices. However, the value of Moran's I statistic decreases with the increase of the number of nearest neighbors  $k$ : the larger neighborhood groups are, the greater the differences between prices. Indeed, weights inversely proportional to the distance tend to rapidly reduce the importance of the values of the distant neighboring observations. Finally, the curve corresponding to house prices is systematically above the curve corresponding to apartment prices. This difference between the two curves confirms the idea that the house and apartment markets are two distinct markets and must be treated by two different empirical models (Palmquist, 2005). The results will then be presented separately, first for the houses, then for the apartments.

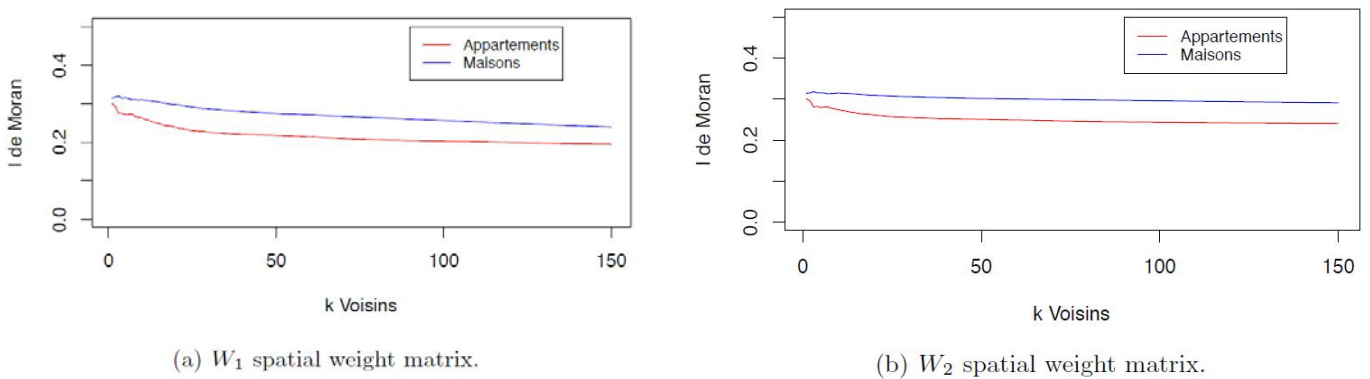


Figure 3.7: Spatial autocorrelation of dwelling prices

### 3.4.3 Spatial hedonic model selection

We apply the methodology developed by Maslianskaïa-Pautrel and Baumont (2016) in order to decide which spatial hedonic specifications are the most relevant and therefore to estimate adequately the implicit prices of the attributes (see Table 3.1). The analysis is implemented with four sets of neighbors  $k = 5, 10, 15$  and  $20$  and two  $W$  matrices ( $W_1$  and  $W_2$ ). For the houses market and for the apartments one, a total of 12 spatial interactions patterns are tested for the specific-to-general and the general-to-specific approaches.

#### (i) *Results for the Specific-to-General approach*

For houses, LM tests and their robust forms suggest the choice of the SAR specification for all spatial patterns. For apartments, these tests suggest the choice of SEM specification. The Common Factor test must then be carried out to determine whether the SEM or its extensive form (SDM) must be estimated. The results of the Common Factor test indicate the estimation of the SDM model.

#### (ii) *Results for the General-to-specific approach*

All LR tests confirm the choice of a general model versus a constrained model, for both houses and apartments, and for all spatial patterns, namely SDM or SDEM specification.

Based on two search approaches, we estimate the SDM hedonic specification. Note that both SDM and SAR specifications imply a spatial multiplier effect on the estimated coefficients (Table 3.1), due to inverse spatial transformation  $(I - \rho W)^{-1}$ . It means that implicit prices associated with the attributes of the dwellings will then be amplified by diffusion effects through the characteristics of the dwellings of the study area. As pointed by Halleck Vega and Elhorst (2015), the spatial autoregressive model tends to force the spatial effect where the spatial Durbin model gives more flexibility. The SDM hedonic specification is then selected and estimated.

## 3.5 Results and discussions

This section presents the results of the estimates of SDM for apartments and houses using the spatial matrices  $W_1$  and  $W_2$ . The specificities of each spatial distribution of houses and of apartments lead us to set  $k = 5$  for the set of houses and  $k = 10$  for the apartments. According to Maslianskaïa-Pautrel and Baumont (2016), the number of neighbors chosen in the specification may correspond to the restricted information that individuals have access to when they are looking for housing. The cost of searching for information increases as the household looks at more and more housing ads. Sold houses are less concentrated than apartments (see

Table 3.6); this is why we chose a smaller  $k$  for the data of houses, as consumer's prospection will be easier when looking for an apartment.

SDM estimates show a positive and significant value for the spatial parameter  $\rho$  for the two real estate markets and whatever the spatial matrix used.  $\hat{\rho}$  is around 0.2 for the house market and is higher, around 0.26, for the apartment market. These results mean that a spatial diffusion process impacts the real estate values in the urban area of Dijon and that the diffusion process is higher in the urban center where the apartments are concentrated. It is then necessary to apply the spatial multiplier transformation  $(I - \rho W)^{-1}$  to  $\beta$  and  $\theta$  parameters to obtain the true implicit prices associated to all real estate attributes (see for example, Halleck Vega and Elhorst, 2015). Let us recall that the implicit prices estimated with the SDM is now a total effect which adds the direct effect and the indirect effect as explained in Table 3.1. In the case of the Spatial Durbin model, the values of the estimated implicit prices may not be given neither by the estimated value of the  $\beta$  parameter only nor by the sum of the estimated values of  $\beta$  and  $\theta$ . Many differences on the values and their statistical significance can be observed when we compare the results of SDM estimations for the house market (Table 3.7) and for the apartment market (Table 3.10) to the total effects given in the Table 3.9 for the house market and Table 3.10 for the apartment market.

One can notice that the results of SDM are different than the OLS ones. OLS clearly underestimate the effects of certification with the house's market. For instance, we find an elasticity price of -0.281 with OLS and -0.358 and -0.365 with SDM. For C, the result is insignificant for OLS but is significant with  $W_2$  (0.093). Concerning the apartments, the differences in results is less visible but can be important (for instance the effect of being built after 1980 goes from 0.145 with OLS, to 0.224 for  $W_1$ ). These differences reminds us that taking into account space is important as spatial autocorrelation affects prices.

We now present the results for houses and then for apartments.

### 3.5.1 Houses

The values of the parameters given by the estimation of the SDM hedonic equation are shown in Table 3.7. The impacts of multiplier effect are calculated and the resulting implicit prices of every characteristic are presented in Table 3.8.

Table 3.7: SDM estimates for House Market

Coefficients	$W_1$		$W_2$	
	$\hat{\beta}$	$\hat{\theta}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\theta}$
Intercept	5.753*** (0.554)		6.449*** (0.469)	
<i>LivSp</i>	0.602*** (0.049)	0.194* (0.100)	0.617*** (0.049)	0.131** (0.079)
<i>LandAr</i>	0.162*** (0.012)	-0.066*** (0.021)	0.161*** (0.012)	-0.052*** (0.017)
<i>NbFloor</i> (1=Ref)				
2	-0.038** (0.019)	-0.080** (0.39)	-0.037* (0.019)	-0.058* (0.03)
3	-0.019 (0.030)	-0.103* (0.061)	-0.019 (0.031)	-0.073. (0.046)
4	0.107 (0.106)	0.235 (0.265)	0.104 (0.107)	0.069 (0.179)
<i>NbBath</i> (1=Ref)				
2	-0.015 (0.533)	-0.075. (0.051)	-0.016 (0.024)	-0.036 (0.038)
3	0.113** (0.052)	-0.183 (0.133)	0.106** (0.053)	-0.126 (0.101)
<i>NbPark</i> (0=Ref)				
1	0.051** (0.020)	-0.045 (0.044)	0.051** (0.020)	-0.032 (0.033)
2	0.076** (0.030)	-0.142** (0.064)	0.079*** (0.031)	-0.096* (0.049)
3	0.143* (0.075)	0.002 (0.178)	0.146* (0.075)	-0.226 (0.178)
<i>Post1980</i>	0.081*** (0.020)	0.021 (0.037)	0.080*** (0.020)	0.012 (0.029)
<i>DPE</i> ( <i>D</i> =Ref)				
<i>AB</i>	0.003 (0.072)	0.180 (0.156)	0.005 (0.073)	0.064 (0.107)
<i>C</i>	0.014 (0.027)	0.060 (0.053)	0.014 (0.027)	0.062. (0.041)
<i>E</i>	-0.058*** (0.021)	-0.010 (0.042)	-0.057*** (0.021)	0.020 (0.032)
<i>F</i>	-0.145*** (0.025)	0.006 (0.052)	-0.147*** (0.025)	-0.003 (0.392)
<i>G</i>	-0.267*** (0.031)	-0.009 (0.066)	-0.272*** (0.032)	-0.027 (0.052)
<i>EqRate</i>	5.801 (5.738)	8.061 (8.228)	7.227 (5.894)	5.908 (7.483)
<i>DistCBD</i>	-0.093 (0.145)	-0.114 (0.148)	0.013 (0.175)	-0.226 (0.178)
<i>DistRailSt</i>	-0.032 (0.032)	0.011 (0.034)	-0.063. (0.038)	0.039 (0.039)
<i>DistDD</i>	0.113 (0.081)	-0.130. (0.084)	0.124 (0.101)	-0.141 (0.103)
<i>DistBlueAm</i>	0.016 (0.036)	-0.007 (0.039)	0.010 (0.044)	0.000 (0.045)
<i>DistGreenAm</i>	0.001 (0.029)	-0.041 (0.035)	-0.008 (0.031)	-0.024 (0.035)
<i>Year2014</i>	-0.043*** (0.015)	-0.036 (0.032)	-0.045*** (0.016)	-0.026 (0.025)
$\rho$	0.229***		0.181***	
Nb param	49		49	

Note: Number of observations 1 082.

Standard errors reported in parentheses. Statistically significance codes: \*\*\* - at 0.1%, \*\* - at 1%, \* - at 5%, . - at 10%.

Table 3.8: The House Market: Spatial multiplier effects and Implicit prices (Total effect)

Coefficients	OLS	W <sub>1</sub>			W <sub>2</sub>		
		Direct Effect	Indirect Effect	Total Effect	Direct Effect	Indirect Effect	Total Effect
<i>LivSp</i>	0.656***	0.621***	0.413***	1.033***	0.634***	0.279***	0.913***
<i>LandAr</i>	0.160***	0.160***	-0.036 .	0.124***	0.159***	-0.026	0.133***
<i>NbFloor</i> (1=Ref)							
2	-0.045*	-0.043**	-0.111**	-0.153***	-0.042**	-0.074**	-0.116***
3	-0.036	-0.025	-0.133*	-0.158*	-0.025	-0.088*	-0.113*
4	0.115	0.121	0.323	0.444	0.107	0.100	0.207
<i>NbBath</i> (1=Ref)							
2	-0.012	-0.019	-0.098	-0.117 .	-0.019	-0.044	-0.063
3	0.106.	0.104*	-0.196	-0.091	0.099*	-0.123	-0.025
<i>NbPark</i> (0=Ref)							
1	0.049*	0.049**	-0.042	0.007	0.050**	-0.026	0.024
2	0.077*	0.070**	-0.155*	-0.085	0.073**	-0.094 .	-0.020
3	0.140.	0.145**	0.043	0.188	0.148	0.023	0.171
<i>Post1980</i>	0.104***	0.084***	0.049	0.133**	0.082***	0.075	0.113***
<i>DPE</i> (D=Ref)							
<i>AB</i>	0.036	0.013	0.224	0.237	0.010	0.075	0.085
<i>C</i>	0.036	0.018	0.078	0.096	0.019	0.074*	0.093*
<i>D</i>	ref	ref	ref	ref	ref	ref	ref
<i>E</i>	-0.059**	-0.058***	-0.005	-0.062	-0.057***	0.011	-0.046
<i>F</i>	-0.145***	-0.146***	-0.033	-0.180**	-0.149***	-0.034	-0.183***
<i>G</i>	-0.281***	-0.270***	-0.087	-0.358**	-0.277***	-0.088	-0.365***
<i>EqRate</i>	14.082***	0.006	0.012	0.018**	0.008	0.008	0.016**
<i>DistCBD</i>	-0.242***	-0.101	-0.168	-0.269***	-0.003	-0.257	-0.260***
<i>DistRailSt</i>	-0.035***	-0.032	0.005	-0.027**	-0.061 .	0.032	-0.029***
<i>DistDD</i>	-0.029*	0.107 .	-0.129*	-0.022	0.116	-0.136	-0.021
<i>DistBlueAm</i>	0.021*	0.016	-0.005	0.011	-0.010	0.002	0.012
<i>DistGreenAm</i>	-0.033*	-0.001	-0.051	-0.052**	-0.010	-0.030	-0.040**
<i>Year2014</i>	-0.052**	-0.046***	-0.057 .	-0.102**	-0.047**	-0.040 .	-0.087**

Note: Number of observations 1082.

Statistically significance codes: \*\*\* - at 0.1%, \*\* - at 1%, \* - at 5%, . - at 10%.

Consistent with other studies, the elasticity for the living space is positive with a value around 1. The size of the land has a positive effect on housing price also, but with an inferior value (around 0.13). *Ceteris paribus* two or three-story houses are less expensive than one-story houses. The number of parking lots and the number of bathrooms have not any significant total effect on the price of a house.

The total effect of the variable DistCBD is significant, negative, and equals  $-0.26$  which is consistent with the urban economic theory. The further from the central business district the household is located, the more housing prices have to decline to compensate for the rising costs of commuting. This result means that a 10%-increase of the distance from CBD decreases the price of the house by 2.6%. For a house with the average price of 201 700 €, located at the average distance of 13.48 km from the CBD, an increase of the distance of 1.3 km *ceteris paribus* decreases the price of the house to 5 244 €.

The proximity to a train station has a positive total effect on house prices. The elasticity of this distance is equal to  $-0.03$ . This result shows that households are willing to pay for accessibility and mobility granted by train stations. The equipment rate per 1 000 inhabitants in the district has a positive and significant effect (around 0.017).

The proximity to a disadvantaged district has no significant effect on the house prices because of the dispersion of the houses over all the urban area whereas the disadvantaged districts are concentrated in the Urban Center.

The implicit price of a house being built after 1980 is positive and significant (0.113 or 0.133 according to the  $W$  matrix). More “recent” houses are *ceteris paribus* more expensive than older ones by 12-14% or 24 204 - 28 238 € for the average price of a house.

*Ceteris paribus* the prices of houses sold in 2014 (Year2014 = 1) are lower than the ones sold in 2013: -9.7% ( $W_1$  matrix) or -8.3% ( $W_2$  matrix). This result, obtained both for houses and apartments, is consistent with a slowdown of dwelling prices observed in France since 2008 until 2015 due to the subprime crisis (INSEE, 2015).

Once we have indirectly controlled for the implementation of the French Thermal Regulations after the two oil shocks, the impacts for DPE labels are the followings. Concerning the green value associated with the Energy Performance Certificate, the ratings AB and C do not have any significant effect on its relative price with respect to the houses labeled D.

More precisely, a positive effect is observed for the DPE level C and for the spatial pattern  $W_2$ . *Ceteris paribus*, the difference of prices between a house labeled C and one labeled D is 9.75%, which corresponds to 19 665 € for an average price house (201 700 €).

Eventually, we observe price depreciation for houses which have E, F or G ratings. Therefore, *ceteris paribus*, the implicit price of a house labeled F is lower than the implicit price of a house labeled D by - 0.18 which corresponds to a decreasing value of 16,5% and means a difference of 33 280 € for an average-priced house. For level G, the price is 30% lower which makes a 60 510 € difference compared to an average-priced house labeled D.

### 3.5.2 Apartments

Estimated results are presented in Table 3.9 and the implicit prices of characteristics are given by the total effects in Table 3.10.

Concerning the living space, the elasticity is positive and equal to 0.8. *Ceteris paribus*, it means that an apartment 10% bigger will be 8% more expensive. If one considers an apartment with both an average living space of 58 square meters and an average price of 116 500 €, it means that an apartment with a living space 6 m<sup>2</sup> bigger will be 9 320 € more expensive.

The floor of the apartment has a nonlinear effect. The price of an apartment located at the 2nd or the 3rd floor is *ceteris paribus* higher than the price of an apartment on the ground floor: +11.6% for an apartment on the 2nd floor, and +7.3-8.3% for an apartment on the 3rd floor. The price of an apartment located on the 6th floor or more is *ceteris paribus* 15.6% smaller than the price of an apartment on the ground floor. The location on other floors has not any significant effect with respect to an apartment on the ground floor.

The impacts of the number of parking lots (NbPark) are positive and significant. For one parking lot, the price is 14% higher than without any parking lot and for two parking lots, the price is 40.5% higher than without any parking lot.

The price elasticity of the distance to the center (DistCBD) is negative but less strong than this effect for houses: -11.3% for the matrix  $W_1$  and -15.7% for the matrix  $W_2$ . This can be explained by the fact that apartments are much more spatially concentrated towards the city center of the urban area. Therefore, apartments are closer to the city-center with an easier access to transportation.

The price elasticity of the distance to the nearest disadvantaged districts (DistDD) is positive and significant (+0.08%): the closer from a disadvantaged district an apartment is, the lower its price. This result is consistent with the empirical literature focusing on the social status of deprived districts (Baumont, 2009; Baumont and Legros, 2013): people prefer living outside the deprived districts.

We estimate a positive and significant impact of the year of construction (Post1980). More precisely households are willing to pay more for an apartment in a building built after 1980: the implicit price is around 24% higher than for an apartment in a building built before 1980. This implicit price is higher than for houses probably because the apartment market is concentrated in the Urban Center whereas the housing market covers all the urban area of Dijon.

Table 3.9: SDM estimates for the Apartment Market

Coefficients	$W_1$		$W_2$	
	$\hat{\beta}$	$\hat{\theta}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\theta}$
Intercept	6.037*** (0.280)		6.373*** (0.270)	
<i>LivSp</i>	0.756*** (0.019)	-0.159*** (0.033)	0.756*** (0.019)	-0.133*** (0.030)
<i>Floor</i> (0=Ref)				
1	0.043** (0.019)	0.000 (0.029)	0.044** (0.020)	-0.006* (0.027)
2	0.058*** (0.021)	0.022 (0.031)	0.058*** (0.021)	0.024 (0.029)
3	0.001 (0.023)	0.057* (0.034)	0.002 (0.023)	0.048 . (0.031)
4	0.025 (0.029)	0.051 (0.044)	0.025 (0.030)	0.044 (0.040)
5	0.025 (0.042)	0.012 (0.070)	0.017 (0.042)	0.035. (0.064)
≥ 6	-0.046 (0.037)	-0.076 . (0.050)	-0.057 . (0.037)	-0.069 . (0.048)
<i>NbPark</i> (0=Ref)				
1	0.146*** (0.016)	-0.052** (0.024)	0.146*** (0.017)	-0.041* (0.022)
2	0.306*** (0.034)	-0.066 (0.051)	0.313*** (0.035)	-0.060 (0.046)
<i>Post1980</i>	0.086*** (0.020)	0.074*** (0.027)	0.086*** (0.021)	0.073*** (0.026)
<i>DPE</i>				
<i>AB</i>	0.109* (0.059)	-0.101 (0.091)	0.116* (0.060)	-0.099 (0.087)
<i>C</i>	0.051** (0.026)	-0.060* (0.034)	-0.050** (0.024)	-0.055* (0.031)
<i>E</i>	-0.035** (0.017)	-0.018 (0.025)	-0.036** (0.017)	-0.015 (0.023)
<i>F</i>	-0.072*** (0.022)	0.005 (0.032)	-0.072*** (0.022)	0.004 (0.030)
<i>G</i>	-0.085** (0.035)	0.18 (0.051)	-0.086** (0.036)	0.004 (0.046)
<i>EqRate</i>	13.107** (5.472)	-12.122 (6.833)	12.990** (5.704)	-11.385 . (6.950)
<i>DistCBD</i>	-0.147 (0.151)	0.060 (0.152)	-0.108 (0.162)	0.017 (0.163)
<i>DistDD</i>	0.122* (0.070)	-0.064 (0.071)	0.134* (0.075)	-0.075 (0.077)
<i>DistBlueAm</i>	0.088 (0.143)	-0.097 (0.145)	0.064 (0.152)	-0.068 (0.154)
<i>DistGreenAm</i>	-0.070 (0.075)	0.085 (0.078)	-0.059 (0.075)	0.073 (0.078)
<i>Year2014</i>	-0.047*** (0.014)	-0.051** (0.021)	-0.050*** (0.013)	-0.044** (0.019)
$\rho$	0.286***		0.248***	
Nb param	45		45	

Note: Number of observations 1423.

Standard errors reported in parentheses. Statistically significance codes: \*\*\* - at 0.1%, \*\* - at 1%, \* - at 5%, . - at 10%.

Table 3.10: The Apartment Market: Spatial multiplier effects and Implicit prices (Total effect)

Coefficients	OLS	W <sub>1</sub>			W <sub>2</sub>		
		Direct Effect	Indirect Effect	Total Effect	Direct Effect	Indirect Effect	Total Effect
<i>LivSp</i>	0.786***	0.763***	0.073**	0.837***	0.762***	0.065**	0.828***
<i>Floor</i> (0=Ref)							
1	0.040.	0.045**	0.016	0.061	0.045*	0.006	0.051
2	0.058**	0.062***	0.050	0.112**	0.063***	0.047	0.109**
3	-0.001	0.008	0.073 .	0.081 .	0.007	0.058 .	0.065
4	0.019	0.032	0.075	0.107	0.031	0.061	0.092
5	0.022	0.028	0.025	0.053	0.022	0.048	0.069
≥ 6	-0.107**	-0.057 .	-0.114*	-0.171*	-0.067*	-0.101*	-0.168**
<i>NbPark</i> (0=Ref)							
1	0.017***	0.144***	-0.013	0.131***	0.146***	-0.006	0.140***
2	0.317***	0.309***	0.028	0.337***	0.315***	0.021	0.336***
<i>Post1980</i>	0.145***	0.098***	0.126***	0.224***	0.098***	0.115***	0.213***
<i>DPE</i>							
<i>AB</i>	0.113.	0.101*	-0.089	0.011	0.108*	-0.085	0.022
<i>C</i>	0.035	0.046*	-0.057	-0.012	0.045*	-0.052	-0.007
<i>D</i>	ref	ref	ref	ref	ref	ref	ref
<i>E</i>	-0.038*	-0.038**	-0.036	-0.074*	-0.039**	-0.029	-0.068*
<i>F</i>	-0.081***	-0.074***	-0.019	-0.093*	-0.074***	-0.016	-0.090**
<i>G</i>	-0.096*	-0.086**	-0.008	-0.094	-0.088***	-0.021	-0.109 .
<i>EqRate</i>	7.061.	12.096*	-10.717	1.378	11.992*	-9.857	2.134
<i>DistCBD</i>	-0.106***	-0.145	0.023	-0.122***	-0.122***	-0.012	-0.171***
<i>DistDD</i>	0.096***	0.119*	-0.037	0.081***	0.129**	-0.047	0.082***
<i>DistBlueAm</i>	0.011	0.080	-0.091	-0.011	0.057	-0.063	-0.006
<i>DistGreenAm</i>	0.011	-0.062	0.083	0.021	-0.052	0.070	0.018
<i>Year2014</i>	-0.061***	-0.056***	-0.082***	-0.138***	-0.057***	-0.067***	-0.124***

Note: Number of observations 1423.

Statistically significance codes: \*\*\* - at 0.1%, \*\* - at 1%, \* - at 5%, . - at 10%.

Like for the houses, the national trend observed in real estate market (INSEE, 2015) is also present for the apartment market in the Urban Center: the price of the apartments are 12%-13% lower in 2014 than in 2013.

The variable Post1980 indirectly controls for the implementation of the French Thermal Regulations after the two oil shocks. The additional impacts for DPE labels are the followings. We find no significant price for a green value brought by the apartments labeled AB or C compared to the DPE level D. In contrast, the apartments labeled E, F or G are negatively valued by the households.

The negative effects of labels E, F and G are going stronger for the lower level of energy efficiency. Therefore, *ceteris paribus*, the price of a label E apartment is lower than a D one by 6.8%, which does a difference of 7 922 € for an average priced apartment. For an apartment labeled F, its price will be 8.6% lower than for a D one. For the mean price of an apartment, this difference counts for 1 019 €. Finally, the price of an apartment with label G is 11.5% lower than with a D label. The worst level of energy performance depreciates the average price of the apartments by 13 398 €.

### 3.6 Conclusion

Are energy savings capitalized into housing prices? Do households agree to pay a higher price for energy-efficient dwellings? In the urban area of Dijon, the green value of the real estate is corroborated by our results: dwellings with a DPE lower than D are less valued. However, we observed that more performing housing (A, B or C) are slightly valued. Looking first at the negative effects, the Energy Performance Certificate reveals more easily the disadvantages associated with unfavorable labeling. In fact, these bad levels may be associated with a poorer overall condition of the dwelling. Moreover, in a context where energy prices can increase, additional expenditures linked with low energy-performance certificates are likely to be considered by households. Concerning the performing levels, it should be noted that there aren't many energy-efficient dwellings on the market: respectively, houses and apartments with DPE A or B represent 1.1% and 1.4% of the market. Energy savings in modern housing may be not still enough concrete for households. Combining these two results implies that bad levels may act as additional incentives to improve the quality of older housings.

If the green value is highlighted, the overall environment must also be analyzed. The location of real estate is an important variable in the formation of real estate prices and shouldn't be ignored. Our analysis underlines this in two ways. First, at the level of neighborhood attributes and accessibility variables, a lot of effects are combined: negative as expected for the proximity to disadvantaged districts, negative as well for the distance to the Central Business District and positive for the proximity to green amenities. Environmental evaluation requires further study. Second, concerning the spatial diffusion mechanism, our results highlighted a spatial multiplier effect that impacts housing prices all over the urban area: the real estate price in one location is dependent of the other real estate prices in other locations. Thus it could be interesting to study whether the behavior of households is influenced by their neighbors: for instance, do households

living near an eco-district have a greater willingness to pay for energy-efficient housing than households living far from such district? If so, the rehabilitations of housing are fostered by geographic spillovers and public policies in favor of urban renovation should be developed in more districts. To investigate this question will be part of a future agenda.

We have seen in this chapter that energy labels are valued by households. In the next chapter, we analyze the policy implications in the light of the results of the thesis and of the residential choice of households.

## Bibliography

- Addae-Dapaah, K. and Chieh, S. (2011). Green Mark certification: does the market understand? *Journal of Sustainable Real Estate*, 3(1):162–191.
- Anselin, L. (1992). SpaceStat tutorial: A workbook for using SpaceStat in the analysis of spatial data. Technical report, *National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara, CA*.
- Anselin, L. (2003). Spatial externalities, spatial multipliers, and spatial econometrics. *International Regional Science Review*, 26(2):153–166.
- Anselin, L., Bera, A., Florax, R. J. G. M., and Yoon, M. (1996). Simple diagnostic tests for spatial dependence. *Regional Science and Urban Economics*, 26:77–104.
- Anselin, L. and Florax, Raymond J. G. M. (1995). New directions in spatial econometrics. *Advances in Spatial Science series*.
- Anselin, L. and Le Gallo, J. (2006). Interpolation of air quality measures in hedonic house price models: spatial aspects. *Spatial Economic Analysis*, 1(1):31–52.
- Anselin, L. and Lozano-Gracia, N. (2008). Errors in variables and spatial effects in hedonic house price models of ambient air quality. *Empirical Economics*, 34(1):5–34.
- Bajari, P. and Kahn, M. E. (2005). Estimating housing demand with an application to explaining racial segregation in cities. *Journal of Business and Economic Statistics*, 23(1):20–33.
- Banfi, S., Farsi, M., Filippini, M., and Jakob, M. (2008). Willingness to pay for energy-saving measures in residential buildings. *Energy Economics*, 30(2):503–516.
- Baumont, C. (2009). Spatial effects of urban public policies on housing values. *Papers in Regional Science*, 88(2):301–326.
- Baumont, C. and Legros, D. (2013). Nature and impacts of spatial effects on real estate values: the case of the urbanized area of Paris (in French). *Revue Economique*, 64(5):911–950.
- Bin, O., Poulter, B., Dumas, C. F., and Whitehead, J. C. (2011). Measuring the impact of sea-level rise on coastal real estate: A hedonic property model approach. *Journal of Regional Science*, 51(4):751–767.
- Brounen, D. and Kok, N. (2011). On the economics of energy labels in the housing market. *Journal of Environmental Economics and Management*, 62(2):166–179.
- 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):205–211.
- Chegut, A., Eichholtz, P., and Holtermans, R. (2016). Energy efficiency and economic value in affordable housing. *Energy Policy*, 97:39–49.

- Davis, P. T., McCord, J. A., McCord, M., and Haran, M. (2015). Modelling the effect of energy performance certificate rating on property value in the Belfast housing market. *International Journal of Housing Markets and Analysis*, 8(3):292–317.
- Deng, Y., Li, Z., and Quigley, J. M. (2012). Economic returns to energy-efficient investments in the housing market: evidence from Singapore. *Regional Science & Urban Economics*, 42:506–515.
- Deng, Y. and Wu, J. (2014). Economic returns to residential green building investment: the developers' perspective. *Regional Science and Urban Economics*, 47:35–44.
- Dermisi, S. (2009). Effect of LEED ratings and levels on office property assessed and market values. *Journal of Sustainable Real Estate*, 1(1):23–47.
- Dinan, T. M. and Miranowski, J. A. (1989). Estimating the implicit price of energy efficiency improvements in the residential housing market: a hedonic approach. *Journal of Urban Economics*, 25(1):52–67.
- Eichholtz, P., Kok, N., and Quigley, J. M. (2010). Doing well by doing good? Green office buildings. *American Economic Review*, 100(5):2492–2509.
- Eichholtz, P., Kok, N., and Quigley, J. M. (2013). The economics of green building. *The Review of Economics and Statistics*, 95(1):50–63.
- Fernandez-Aviles, G., Minguez, R., and Montero, J.-M. (2012). Geostatistical air pollution indexes in spatial hedonic models: the case of Madrid, Spain. *Journal of Real Estate Research*, 34(2):243–274.
- Fizaine, F., Voye, P., and Baumont, C. (2018). The green exuberance: do studies really support high green premium in building? *Revue d'Economie Politique*.
- Fuerst, F. and McAllister, P. (2011). Eco-labeling in commercial office markets: do LEED and Energy Star offices obtain multiple premiums? *Ecological Economics*, 70(6):1220–1230.
- Fuerst, F., McAllister, P., Nanda, A., and Wyatt, P. (2015). Does energy efficiency matter to home-buyers? An investigation of EPC ratings and transaction prices in England. *Energy Economics*, 48:145–156.
- Fuerst, F., Oikarinen, E., Shimizu, C., and Szumilo, N. (2014). Measuring green value: an international perspective. *Report for Royal Institution of Chartered Surveyors, RICS*.
- Halleck Vega, S. and Elhorst, J. P. (2015). The SLX model. *Journal of Regional Science*, 55(3):339–363.
- INSEE (2015). Informations rapides, Principaux indicateurs. 26 février 2015. n°42, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1564822>
- Jaffe, D., Stanton, R., and Wallace, N. (2012). Energy Factors, leasing structure and the market price of office building in the US. *Fisher center working papers*, UC Berkeley.

- Johnson, R. C. and Kaserman, D. L. (1983). Housing market capitalization of energy-saving durable good investments. *Economic Inquiry*, 21(3):374–386.
- Kok, N. and Kahn, M. E. (2012). The value of green labels in the California housing market. An economic analysis of the impact of green labeling on the sales price of a home. *Report, University of California*.
- Laquatra, J. (1986). Housing market capitalization of thermal integrity. *Energy Economics*, 8(3):134–138.
- Leboulenger, D., Lantz, F., and Baumont, C. (2016). Is there a green property value for French housing market and is it a good incentive for households to invest in energy retrofits? *mimeo, IFP School and LEDi Univ. Bourgogne Franche-Comté*.
- Maslanskaia-Pautrel, M. and Baumont, C. (2016). The nature and impacts of environmental spillovers on housing prices: A spatial hedonic analysis. *Revue d'Economie Politique*, 126(2016/5):921–945.
- Mihaescu, O. and vom Hofe, R. (2013). Using spatial regression to estimate property tax discounts from proximity to brownfields: A tool for local policy-making. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 15(01):1350008 (23 pages).
- Miller, N., Spivey, J., and Florance, A. (2008). Does green pay off? *Journal of Real Estate Portfolio Management*, 14(4):385–400.
- Mudgal, S., Lyons, L., Cohen, F., Lyons, R., and Fedrigo-Fazio, D. (2013). Energy performance certificates in buildings and their impact on transaction prices and rents in selected EU countries. European Commission (DG Energy).
- Mur, J. and Angulo, A. (2006). The spatial Durbin model and the common factor tests. *Spatial Economic Analysis*, 1(2):207–226.
- Muth, R. F. (1969). Cities and housing: the spatial pattern of urban residential land use. *University of Chicago Press*.
- Palmquist, R. B. (2005). Property values models. In: Mäler, K.-G. and Vincent, J., editors, *Handbook of Environmental Economics*, volume 2, chapter 16, pages 763–819. Elsevier, North-Holland.
- Pfleger, W., Perry, C., Hurst, N., and Tiller, J. (2011). Market impacts of energy star qualification for new homes. *Technical report, North Carolina Energy Efficiency Alliance*.
- Quigley, J. M. and Rubinfeld, D. L. (1989). Unobservables in consumer choice: residential energy and the demand for comfort. *The review of economics and statistics*, 416-425.
- Rosen, S. (1974). Hedonic prices and implicit markets: Product differentiation in pure competition. *Journal of Political Economy*, 82(1):34–55.
- Votsis, A. (2017). Planning for green infrastructure: The spatial effects of parks, forests, and fields on helsinki's apartment prices. *Ecological Economics*, 132:279–289.

Yoshida, J. and Sugiura, A. (2011). Which “greenness” is valued? Evidence from green condominiums in Tokyo.

## 4. Chapitre 4 : De la valeur verte à la maîtrise de la demande d'énergie : l'enjeu de l'accessibilité aux logements verts

### Sommaire du chapitre

4.1	Introduction.....	159
4.2	Valeur verte et politiques publiques de la maîtrise de la demande d'énergie .....	160
4.2.1	La maîtrise de la demande d'énergie.....	161
4.2.2	Résultats de la thèse et implications .....	165
4.3	Choix résidentiels et performance énergétique : cadre empirique.....	167
4.3.1	L'enjeu des choix résidentiels .....	167
4.3.2	Données.....	168
4.3.3	Stratégie d'estimation.....	172
4.4	Choix résidentiels des ménages et politiques publiques de la maîtrise de la demande d'énergie.....	172
4.4.1	Les déterminants des choix résidentiels dans le cas des logements verts .....	173
4.4.2	Les déterminants des choix résidentiels dans le cas des logements énergivores....	176
4.4.3	Les facteurs permettant de vivre dans un logement avec une meilleure performance énergétique .....	178
4.4.4	Conséquences pour les politiques d'incitations de la maîtrise de la demande d'énergie 180	
4.5	Conclusion.....	181
	Bibliographie :.....	184



## 4.1 Introduction

La maîtrise de la demande d'énergie dans le secteur résidentiel, en tant qu'objectif intermédiaire dans le processus de la transition énergétique, nécessite l'adoption des logements verts par les ménages, que ce soit par la rénovation énergétique ou par la construction et l'achat de logements neufs. Nous avons notamment mis en avant dans la thèse, le rôle que joue la valeur verte dans cet objectif : la valeur verte met en lumière les logements performants énergétiquement et la plus-value immobilière associée favorise la reconnaissance de ces biens et leur adoption par les ménages.

La valeur verte permet ainsi de réduire les consommations d'énergie des ménages. C'est pourquoi de nombreuses politiques ont été mises en place afin de promouvoir l'accès aux logements verts (crédit d'impôt transition énergétique, TVA réduite, éco-prêt à taux zéro...). Cependant, l'effet rebond et la précarité énergétique sont deux enjeux pouvant être un frein à la réussite de la valeur verte pour réduire les consommations énergétiques des ménages.

L'effet rebond (Sorrell et Dimitropoulos, 2008), ou encore paradoxe de Jevons, est l'écart entre les réductions attendues et effectives des consommations énergétiques suite à une amélioration de la performance énergétique d'un système productif. Cette amélioration augmente la productivité de la production de services énergétiques (cf. chapitre 1), ce qui baisse le coût unitaire et provoque un effet richesse. Ce dernier peut conduire à une augmentation de la production du service énergétique (effet direct) et de la consommation d'autres biens (effet rebond indirect). Pour garantir la plus grande efficacité environnementale suite à une amélioration de la performance énergétique, il est important que l'effet rebond reste le plus faible possible. Chitnis *et al.* (2014) montrent que ce dernier varie selon la population ciblée. Ils observent ainsi que l'effet rebond est plus fort pour les ménages ayant un revenu faible. Ainsi, par soucis de performance environnementale, les politiques d'efficacité énergétique des logements devraient viser les ménages les plus riches.

Cependant, avoir pour seul critère l'efficacité économique de la politique environnementale est insuffisant pour assurer la transition énergétique. En effet, l'enjeu est de massifier la construction neuve et la rénovation énergétique, avec pour objectif affiché de rénover 500 000 logements par an. Pour atteindre cet objectif, il faut donc considérer les logements les plus énergivores qui peuvent être habités par une population en situation de précarité énergétique. Aussi, dans une logique d'équité, il est nécessaire que les politiques de maîtrise de demande d'énergie ne fragilisent pas davantage les ménages précaires et que ces derniers aient accès aux logements verts (cf. chapitre 1). A cet égard, la rénovation énergétique peut permettre aux ménages en difficultés de sortir durablement de la précarité énergétique. Ainsi, la rénovation énergétique pour les ménages en difficultés permet conjointement de réduire les consommations d'énergie et de lutter contre la précarité énergétique. Par conséquent, l'enjeu de l'accès aux logements verts pour les ménages précaires est primordial.

Un dernier enjeu important limitant l'efficacité financière des politiques d'aides à la rénovation énergétique est l'effet d'aubaine (Charlier, 2015b). L'effet d'aubaine correspond à l'aide financière accordée aux ménages qui auraient tout de même réalisé des travaux de rénovation énergétique sans cette aide. Limiter l'effet d'aubaine permet d'assurer l'efficacité économique des politiques

publiques et ainsi d'augmenter le nombre de logements faisant l'objet d'une rénovation énergétique.

Ainsi, les politiques publiques dans le cadre de la maîtrise de la demande d'énergie font face à un dilemme entre efficacité et équité et l'enjeu sous-jacent est la question de l'accessibilité des ménages aux logements verts. C'est pourquoi dans ce dernier chapitre, nous nous interrogeons sur les déterminants des choix résidentiels des ménages concernant l'efficacité énergétique des logements. L'objectif est de comprendre comment favoriser l'accès aux logements verts au plus grand nombre. Quelles politiques permettent à la fois une réduction effective des consommations énergétiques et une lutte contre la précarité énergétique ?

Pour répondre à ces questions, nous présentons dans un premier temps les dispositifs existants. On jugera les politiques publiques dans leur capacité à massifier les logements verts tout en limitant les effets d'aubaine et en prenant en compte la diversité des situations des ménages. Ces politiques seront ensuite discutées au regard des différentes études sur la valeur verte réalisées dans la thèse.

Finalement, afin de développer et d'enrichir l'analyse, nous procédons à une étude sur l'accessibilité des ménages aux logements verts, que ce soit par la rénovation ou par la mobilité résidentielle. Pour cela, nous étudions les facteurs influençant la probabilité des ménages à vivre dans un logement vert ou énérgivore. Nous estimons trois modèles en utilisant la base de données Phebus<sup>49</sup>. Les deux premiers modèles ont pour objectif d'identifier les facteurs qui déterminent respectivement la probabilité d'être dans un logement vert et un logement énérgivore. Ils sont estimés à l'aide de régressions logistiques. Le troisième modèle cherche à identifier les facteurs globaux affectant les choix résidentiels des ménages concernant la performance énergétique de leur logement. Ce dernier modèle est estimé à l'aide d'une régression logistique ordinale. Ces trois modèles doivent nous permettre d'identifier les conditions, moyens et populations cibles pour que les politiques publiques d'accessibilité aux logements verts puissent à la fois favoriser l'efficacité énergétique et servir à la lutte contre la précarité énergétique.

La seconde section introduit dans un premier temps les dispositifs existants dans le cadre de la politique de la maîtrise de la demande d'énergie pour ensuite les discuter à l'aune des différents résultats dégagés au long des chapitres précédents. Dans la troisième section nous présentons les données utilisées ainsi que la stratégie d'estimation. Les résultats de l'analyse empirique et les conclusions en termes de politiques publiques sont discutés dans la quatrième section. La dernière section présente les conclusions et discute des développements possibles de ce travail de thèse.

## **4.2 Valeur verte et politiques publiques de la maîtrise de la demande d'énergie**

Il s'agit dans cette section, de mettre en perspective les résultats des chapitres précédents de la thèse avec la question de la maîtrise de la demande d'énergie. A cet effet, nous présentons dans

---

<sup>49</sup> Phebus signifie « Performance de l'Habitat, Equipements, Besoins et Usages de l'Énergie »

un premier temps les dispositifs existants dans le cadre de la maîtrise de la demande d'énergie du secteur résidentiel. Plus précisément, nous nous intéressons aux politiques d'aides et d'incitation à la rénovation énergétique. Ensuite, nous revenons sur les principaux résultats de la thèse : chaque chapitre a permis d'apporter des réponses aux problématiques liées à la maîtrise de la demande d'énergie, à la valeur verte et à la dépendance entre espace et système énergétique. Au regard de ces éléments, nous discutons les politiques publiques actuelles et proposons quelques axes de développement afin de renforcer l'efficacité des mesures existantes.

#### 4.2.1 La maîtrise de la demande d'énergie

La maîtrise de la demande d'énergie implique de comprendre les déterminants des consommations énergétiques (cf. chapitre 1). La littérature a montré que la demande d'énergie est plutôt inélastique au prix (Blázquez *et al.*, 2013 ; Dilaver et Hunt, 2011 ; Romero-Jordán *et al.*, 2014) et que les principaux déterminants de la consommation énergétique sont les caractéristiques du logement (Santin *et al.*, 2009 ; McLoughlin *et al.*, 2012) et la composition des ménages (Brounen *et al.*, 2012 ; Valenzuela, *et al.* 2014 ; Büchs et Schnepf, 2013). On observe également un rôle mineur des comportements de consommation (Abrahamse et Steg, 2009 ; Santin *et al.*, 2009). Ainsi, il apparaît que le principal levier d'action pour maîtriser la demande d'énergie du secteur résidentiel est le développement d'un parc immobilier vert (Leth-Petersen et Togeby, 2001).

Trois stratégies sont déployées à cette fin. Les mesures en faveur de la construction de logements neufs, les mesures pour favoriser la rénovation des logements anciens énergivores et enfin celles permettant de promouvoir la valeur verte.

Tout d'abord pour les logements neufs, la réglementation thermique révisé régulièrement les standards en matière de performance énergétique. Le tableau 4.1 présente les grandes évolutions de la réglementation thermique, depuis la première en 1974 à la prochaine prévue pour 2020. Chaque étape vise à réduire les consommations d'énergie des nouveaux logements tout en maîtrisant les hausses de coûts de construction induites par les réglementations. Ainsi entre 1974 et 2015, les consommations L'optimum économique est notamment inscrit depuis 1988 et ce en laissant aux constructeurs le choix des équipements et des matériaux. Actuellement, le dispositif impose une consommation maximum de 30 kilowattheures d'énergie primaire<sup>50</sup> par mètre carré par an, soit 7.5 fois moins qu'en 1974. La prochaine réglementation (RT2020) devrait imposer la norme BEPOS « Bâtiments à Energie POSitive », c'est-à-dire l'obligation pour les bâtiments neufs de produire davantage d'énergie qu'ils n'en consomment.

---

<sup>50</sup> Remarque : l'énergie primaire est l'énergie utilisée avant transformation. Ainsi, par exemple 1 kWh d'électricité revient à 2.5 kWh d'énergie primaire.

**Table 4.1: Evolution des réglementations thermiques (RT)**

Date RT	Consommations maximales autorisées	Autres mesures mises en place
1974	225 kWh/m <sup>2</sup> /an	-Instauration du coefficient de transmission thermique -Instauration du coefficient de déperditions globales
1982	170 kWh/m <sup>2</sup> /an	-Instauration d'un coefficient prenant en compte les besoins de consommations pour le chauffage
1988	170 kWh/m <sup>2</sup> /an	-Extension aux bâtiments tertiaires -Instauration d'un coefficient mesurant les besoins en Eau Chaude Sanitaire (ECS) -Optimum économique (performance des équipements et isolation)
2000	130kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> /an	-Exigence de performance des équipements -Confort d'été (température dans le logement) -Consommations maximales en kWh <sub>ep</sub> (prise en compte des sources d'énergie)
2005	90 kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> /an	-Développement d'une planification des futures RT tous les 5 ans
2012	50kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> /an	-Niveau BBC, remplace la RT 2010 et 2015
2015	30kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> /an	-Mise à jour RT2012
2020	Energie positive	-Prévision : les logements construits devront être des Bâtiments à Energie POSitive (BEPOS)

*Note : kWh<sub>ep</sub>: kilowatt/heure d'énergie primaire.*

Remarquons qu'il y a eu une évolution de l'esprit des réglementations, en passant de lois en réaction aux chocs pétroliers à une volonté d'évolution anticipative des normes. Ainsi, depuis 2005, la réglementation thermique doit être révisée tous les 5 ans, bien que cette mise à jour n'ait pas été effectuée en 2010.

Pour autant, si les réglementations thermiques sont efficaces, elles ne permettent pas, à elles seules, de réduire les consommations énergétique du secteur résidentiel car seule une partie limitée des logements est affectée par ces normes. En effet, le parc de logement n'augmente que de 1.1% par an en moyenne depuis 30 ans (Arnold, 2017) et le taux de renouvellement du parc immobilier était d'environ 1.17% en 2017.

C'est pourquoi, l'autre pan de la maîtrise de la demande d'énergie se focalise sur la rénovation des logements anciens énergivores. A la fin de l'année 2012, l'objectif fixé était d'obtenir 500 000 logements rénovés par an à l'horizon 2017, objectif réitéré en 2018 par le Ministère de la

transition énergétique. Selon l'Ademe, 288 000 travaux de rénovation de logements performants<sup>51</sup> ont été réalisés en 2014 (OPEN<sup>52</sup> 2015). Il est difficile de savoir si l'objectif a aujourd'hui été atteint car le dénombrement des rénovations énergétiques est complexe. D'une part, il existe une pluralité de définitions différentes pour la rénovation énergétique et d'autre part, la multiplicité des acteurs et des aides, pouvant se combiner ou non, rend difficile l'identification des logements rénovés.

Afin de massifier la rénovation énergétique des logements, l'Etat a développé un ensemble de dispositifs qui sont présentés dans le tableau 4.2 et qui visent principalement trois objectifs.

- Le premier est d'inciter les ménages à rénover leur logement en améliorant la rentabilité des travaux de rénovation grâce à des aides financières ex-post. Les crédits d'impôts à la transition énergétique et l'exonération de la taxe foncière sont les deux principaux outils d'incitation accessibles aux ménages ayant effectués des travaux de rénovation avec une entreprise certifiée RGE (Reconnu Garant de l'Environnement).
- Le deuxième objectif est d'aider les ménages à financer les travaux de rénovation énergétique. En effet, selon l'OPEN (2015) un ménage sur cinq fait appel à un financement externe pour la réalisation de travaux de rénovation et le coût moyen d'une rénovation énergétique performante s'élevait à 25 410 euros en 2014. Le principal dispositif est le prêt à taux-zéro, mais les ménages peuvent également percevoir des aides de l'Anah (Agence nationale de l'habitat) ainsi que la prime énergie.
- Le troisième objectif concerne la lutte contre la précarité énergétique qui a récemment été inscrite dans le cadre de la maîtrise de la demande d'énergie. En 2018 ont été créés le chèque énergie et le dispositif « Coup de pouce » qui est une extension des Certificats d'Economies d'Energies destinée aux ménages modestes. Les ménages peuvent également demander des aides de l'Anah qui sont conditionnées au niveau de ressources du ménage.

---

<sup>51</sup> Est considérée comme rénovation performante, des travaux ouvrant théoriquement l'accès aux aides et portant sur au moins 2 postes parmi chauffage, Eau chaude sanitaire, fenêtre, murs et toiture/combles.

<sup>52</sup> OPEN est l'Observatoire Permanent de l'amélioration Energétique du logement. Il a été fondé en 2006 par l'Ademe.

Table 4.2: Dispositifs existants dans le cadre de la maîtrise de la demande d'énergie du secteur résidentiel

Dispositif (Année)	Objectifs	Cible	Accès	Démarche	Montant de l'aide	Particularités du dispositif
TVA 5,5% (1999)	Incitation à la rénovation énergétique	Propriétaires et locataires	Logement de plus de 2 ans ; Résidence principale ou secondaire	Travaux et équipements facturés par une entreprise ; Le client doit fournir une attestation à l'entreprise	Réduction du taux de TVA de 20 à 10 ou 5,5% sur les travaux de rénovation	Les travaux annexes pouvant entraîner une amélioration de la performance énergétique sont éligibles au dispositif
Certificats d'Economie d'Energie - Prime Energie (2005)	Rénovation et lutte contre la précarité énergétique	Propriétaires et locataires	Logement de plus de 2 ans ; Résidence principale ou secondaire	Avant travaux, demande auprès d'un vendeur d'énergie ; Travaux par une entreprise RGE ; Prime obtenue ensuite	Le montant dépend des économies d'énergie réalisées allant jusqu'à 20% du coût des travaux	Cumulable avec le CITE et la TVA réduite. Il existe un système de rachat des CEE entre les entreprises
Éco-prêt à taux zéro (2009-modifié en 2019)	Financement des travaux de rénovation énergétique	Propriétaires occupants ou bailleurs	Logement construit avant 1990 ; Résidence principale ou copropriété	Devis à une entreprise RGE, puis transmission du devis à un établissement de crédit (ayant une convention avec l'État)	Prêt à taux-zéro jusqu'à 30 000 euros ; Le montant dépend des objectifs à atteindre et des travaux	Cumulable avec le CITE, les CEE et la TVA réduite ; Prêt à rembourser en 15 ans
Aide Anah (2013)	Travaux d'amélioration de l'habitat	Ménages modestes ou très modestes ; Propriétaires	Logement de plus de 15 ans ; Travaux d'au moins 1 500 euros	Dossier à adresser à l'Anah. Allocation à la discrétion de l'Anah	Montant maximum de 20 000 € pour une prise en charge maximum de 50% des travaux	La transition énergétique n'est pas le cœur du programme. Engagement à vivre dans le logement pendant 6 ans.
Crédit d'Impôt Transition Énergétique (2014)	Incitation à la rénovation énergétique	Propriétaires et locataires	Logement de plus de 2 ans; Résidence principale;	Achats des matériaux et travaux par une entreprise RGE ; Déclaration sur le revenu	30 % (ou 15% sur certains travaux) de crédit d'impôts. Plafond à 8000 euros par UC	Cumulable avec l'Eco-PTZ
Exonération taxe foncière (2015)	Incitation à la rénovation énergétique	Propriétaires	Logement construit avant 1989 ; Travaux d'au moins 10 000 €	Le client doit contacter la collectivité locale puis les finances publiques	Réduction de 50 ou 100% de la taxe foncière sur 5 ans	Le dispositif dépend de la volonté de la collectivité locale
Chèque énergie (2018)	Lutte contre la précarité énergétique	Ménages modestes ou très modestes	Sous condition de ressources	Automatique si éligible	277 euros maximum	Peut servir à financer des travaux de rénovation
Certificats d'Economie d'Energie - Coup de pouce économies d'énergie (2018)	Rénovation et lutte contre la précarité énergétique	Ménages modestes ou très modestes	Remplacement chaudière au fioul par un système à énergie renouvelable	Demande auprès d'une entreprise signataire de la charte ; Puis travaux par une entreprise RGE	Aide de 2 000 à 3 000 euros selon le nouveau système de chauffage	Cumulable avec l'Eco-PTZ et le CITE mais pas avec l'aide de l'Anah. Il s'agit d'une bonification du CEE.

Lecture : CEE : Certificats d'Economie d'Energie ; Eco-PTZ : Eco-Prêt à Taux Zéro ; CITE : Crédit d'Impôt Transition Énergétique ; Anah : Agence nationale de l'habitat ; RGE : Reconnu Garant de l'Environnement ; UC : Unité de consommation.

Un ménage est considéré comme modeste ou très modeste si son revenu fiscal de référence est inférieur à un plafond donné. Le plafond dépend de la composition du ménage et de la localisation du logement. Par exemple, en 2019 un ménage composé d'un seul individu localisé en province est considéré comme modeste si son revenu fiscal de référence est inférieur à 18 960 euros et très modeste s'il est inférieur à 14 790. Ces plafonds sont révisés tous les ans selon l'indice des prix à la consommation hors tabac.

Les dispositifs existants sont nombreux, impliquent de nombreuses institutions (Etat, régions, entreprises RGE, Anah) et les démarches ne sont pas uniformisées. Afin d'informer et d'accompagner les ménages et les entreprises sur les dispositifs existants, l'Etat a créé en septembre 2018 une nouvelle plateforme nommée FAIRE<sup>53</sup> (Faciliter, Accompagner et Informer pour la Rénovation Énergétique) en remplacement de Rénovation info. Il s'agit d'une plateforme donnant des informations sur les aides existantes, sur les démarches à effectuer pour y avoir accès et qui met en relation les ménages avec des conseillers et avec des entreprises RGE.

Finalement, le dernier outil existant pour favoriser à la fois la construction verte et la rénovation de logements anciens passe par le développement de la valeur verte. En France, elle est appuyée par le développement des labels, tels que le Diagnostic de Performance Énergétique (avec obligation de l'afficher lors des transactions immobilières depuis Novembre 2006), et par la certification des logements les plus performants (Bâtiment Basse consommation BBC). La labellisation permet l'identification des bâtiments performants énergétiquement et d'y associer une valeur qui synthétise l'information sur les caractéristiques vertes d'un logement. La valorisation verte est de plus un outil d'incitation financière car elle permet de capitaliser les investissements faits et de les valoriser en cas de revente.

#### 4.2.2 Résultats de la thèse et implications

Plusieurs résultats, obtenus dans la thèse, peuvent être mis en parallèle avec la problématique de la maîtrise de la demande d'énergie dans le secteur résidentiel<sup>54</sup>. Nous les reprenons ci-après, en suivant l'ordre des chapitres.

**Le premier chapitre** a été l'occasion de montrer l'importance des interdépendances entre choix d'une localisation et consommation d'énergie pour le transport et les services énergétiques. En effet, choisir une localisation revient à choisir en même temps un ensemble de contraintes de consommations énergétiques. La localisation détermine d'abord des besoins en transport (distance au centre d'emplois par exemple) et en services énergétiques (via la taille du logement essentiellement). La localisation implique également des contraintes techniques pour répondre à ces besoins : l'accès à différents modes de transports, l'isolation du logement, les sources d'énergies accessibles... Ainsi à la contrainte économique, les ménages font également face à un ensemble de contraintes techniques pour leurs consommations énergétiques.

Le tableau 4.2 montre que les dispositifs dans le cadre de la maîtrise de la demande d'énergie ignorent les contraintes techniques induites par la localisation du logement, à l'exception du dispositif « Coup de pouce économies d'énergie » qui fait un focus sur le remplacement des chaudières au fioul. Ces éléments nous conduisent à recommander aux politiques publiques de considérer les contraintes non économiques dans le design des dispositifs d'aide à la rénovation énergétique et pour la lutte contre la précarité énergétique, notamment dans l'établissement des

---

<sup>53</sup> <https://www.faire.fr/> Faciliter, Accompagner et Informer pour la Rénovation Énergétique

<sup>54</sup> Nous reportons, à la fin de ce chapitre conclusif, les autres résultats de la thèse non directement liés à la maîtrise de la demande énergétique résidentielle.

seuils pour accéder aux dispositifs (ménages modestes et très modestes). L'enjeu est alors d'identifier, au mieux, les ménages dont le cumul des contraintes économiques et techniques les empêche de rénover leur logement ou qui sont en situation de précarité énergétique.

**Dans le second chapitre**, nous avons conduit une méta-analyse de la valeur verte estimée dans la littérature par la méthode des prix hédoniques. La méta-analyse a montré que l'inclusion, dans les modèles hédoniques, de variables caractérisant la localisation des logements et les aménités locales influençait la valeur verte trouvée. Ainsi, il apparaît que les études prenant en compte les espaces naturels discriminent mieux les effets de la labellisation. Cela pourrait suggérer que la localisation des logements verts est importante car la valeur verte associée pourrait être plus forte si le logement est situé dans un environnement avec des aménités naturelles.

Nous avons aussi observé que la valeur verte diminuait dans le temps. Une hypothèse envisagée est que les bâtiments verts ont tendance à se développer dans le temps, devenant de moins en moins rares sur le marché, et par conséquent de moins en moins positivement discriminés. Si cette hypothèse se vérifie, cela signifie qu'il faut sans cesse revoir à la hausse les standards verts, notamment via les réglementations thermiques, afin d'avoir une valeur verte significative tirant toujours les investissements.

Finalement, il est apparu que les écarts de température influencent positivement la valeur verte. Les logements verts seraient plus valorisés dans les régions où le climat connaît de fortes variations de température (type climat continental). Ce résultat nécessite d'être pris avec précaution mais indiquerait que pour plus d'efficacité, les dispositifs d'aides à la rénovation énergétique devraient cibler en priorité les zones régionales présentant de forts écarts de températures.

**Le chapitre 3** a été l'occasion de s'interroger sur l'existence de la valeur verte sur le marché immobilier de l'aire urbaine de Dijon pour les maisons et pour les appartements. Outre la valeur positive associée aux logements avec une grande performance énergétique, nous avons trouvé que les logements énergivores subissaient une forte dévalorisation. Par exemple, une maison avec un DPE G sera vendue toute chose égale par ailleurs 30% moins chère qu'une maison avec un DPE D. Ce premier point, implique du point de vue de la plus-value immobilière, un ciblage des rénovations énergétiques sur les logements les plus énergivores, justifiant un ciblage des rénovations énergétiques sur ces logements.

Cependant, la hausse des exigences des réglementations thermiques engendre un phénomène d'obsolescence des logements anciens. Cet effet est exacerbé avec l'introduction des DPE et la croissance du parc immobilier vert. L'obsolescence des logements anciens avec une étiquette énergétique basse conduit à une dévalorisation immobilière de ces biens. Ce second point peut fortement contraindre la mobilité résidentielle des ménages propriétaires (Chan 2001) car ces derniers ne peuvent revendre leur bien sans perdre de l'argent. Le risque pour ces ménages est dès lors de se retrouver dans des logements inadaptés, trop coûteux, ce qui peut un facteur aggravant de précarité. Au regard de ce phénomène, il semble pertinent d'identifier les ménages propriétaires en situation de précarité énergétique et de les accompagner pour trouver une solution, que celle-ci passe par une aide forte à la rénovation ou à la mobilité résidentielle.

Nous avons enfin montré dans le chapitre 3 que la localisation des logements et la dépendance spatiale des prix jouent un rôle majeur dans la formation des prix immobiliers (coefficient de dépendance spatiale de 0.2 en moyenne pour les maisons et de 0.25 pour les appartements). Il en découle un phénomène de diffusion spatiale des prix de l'immobilier. D'une manière générale, la valorisation (respectivement, la dévalorisation) d'un bien immobilier dans un endroit, peut par un processus de diffusion spatiale entraîner une hausse (respectivement, une chute) des prix de l'immobilier pour les biens situés à proximité, entraînant une valorisation (respectivement, une dévalorisation) pour une zone géographique plus large (quartier, ville...). Le processus de dévalorisation immobilière a des conséquences importantes sur le marché immobilier (Roux, 2018) : la vacance augmente, l'image de la zone urbaine est dégradée et un effet de dégradation de la valeur immobilière des logements neufs situés à proximité s'observe ... Tous ces éléments peuvent conduire à une dévalorisation auto-entretenu conduisant à un déclin de la zone affectée (Roux, 2018).

Dans ces conditions, deux questions se posent. Premièrement, on pourrait, du point de vue de l'efficacité, s'interroger sur les effets positifs associés à une forme de diffusion spatiale de la rénovation. Si un logement non rénové est localisé près de logements rénovés ou en cours de rénovation, alors il est dévalorisé, ce qui peut inciter son propriétaire à le rénover. Ainsi, on peut penser que par compétition et par mimétisme, les propriétaires et bailleurs vont rénover leurs logements ; transformant le marché immobilier par un processus de diffusion spatiale. Dans ce cas, les politiques publiques devraient favoriser la rénovation de logement et la construction neuve dans le plus de quartiers différents possibles. En effet, ceci permettrait la massification de la rénovation verte en profitant au maximum du phénomène de diffusion spatiale de la valeur verte sur la plus grande zone géographique possible. Deuxièmement, dans une logique d'équité territoriale, les aides pour les rénovations énergétiques devraient cibler en priorité les territoires en difficultés qui ont un parc immobilier vieillissant.

Il ressort de ces résultats qu'une meilleure connaissance des déterminants des choix résidentiels des ménages associés à la différenciation des niveaux de performance énergétique des logements, peut améliorer le ciblage économique, social et territorial des politiques publiques en faveur de la transition énergétique du secteur résidentiel. C'est l'objet de l'étude empirique que nous menons dans ce chapitre.

### **4.3 Choix résidentiels et performance énergétique : cadre empirique**

#### **4.3.1 L'enjeu des choix résidentiels**

Comprendre les déterminants des choix résidentiels des ménages concernant la performance énergétique de leur logement est essentiel pour favoriser une politique de la maîtrise de la demande d'énergie efficace et juste. Dans le cadre des politiques de la maîtrise de la demande d'énergie, l'enjeu est l'adoption par le plus grand nombre de ménages d'un logement performant énergétiquement.

Pour répondre à cet enjeu, nous analysons plus particulièrement deux mécanismes. Le premier concerne le choix d'une caractéristique de performance énergétique et le second concerne le choix résidentiel global du ménage.

Concernant la caractéristique de performance énergétique du logement, il semble pertinent d'observer quels sont les facteurs influençant le choix d'un logement avec une qualité énergétique donnée. En effet, il est tout d'abord important d'identifier les facteurs favorisant l'accès aux logements énergétiquement performants afin de garantir la plus grande efficacité des politiques publiques (moyens mis à disposition, ciblage, limiter les effets d'aubaines...). Il est également important de comprendre les freins que peuvent rencontrer les ménages pour accéder à un logement vert, afin d'adapter les dispositifs pour permettre une massification du parc immobilier vert. Finalement, identifier les freins, et surtout les difficultés qui peuvent se cumuler, permet d'identifier une population à risque, qui pourrait se retrouver exclue de la transition énergétique.

Le choix d'un niveau de performance énergétique peut aussi résulter d'un choix résidentiel global, notamment pour les ménages en situation de mobilité résidentielle.

Dans le cas du choix résidentiel, la littérature retient cinq grands facteurs de mobilité résidentielle (Debrand et Taffin 2005; Gobillon 2001) : le cycle de vie, le revenu, le niveau d'éducation, la structure familiale et les caractéristiques du logement. Dans ce cadre général, on peut s'attendre à ce que la mobilité résidentielle affecte positivement la probabilité d'être dans un logement vert, et ce en raison du fait que les logements récents ont une meilleure étiquette énergétique (suivant les RT notamment) et qu'une forte mobilité résidentielle peut permettre une meilleure adéquation du logement au besoin du ménage. En effet, en suivant la théorie de l'échelle de qualité de logement nous disant que les ménages cherchent toujours à déménager dans un meilleur logement (Morrow-Jones et Wenning, 2005), on peut supposer que la mobilité résidentielle est associée à une probabilité augmentée d'être dans un logement vert.

Finalement, si nous souhaitons mieux comprendre la question de la rénovation énergétique, le ménage peut choisir un logement en fonction du potentiel de rénovation, et décider s'il veut le rénover le cas échéant. Du côté de la rénovation énergétique, notre modèle devrait aussi laisser transparaître les mêmes facteurs que ceux favorisant la rénovation de logement. Le revenu, le cycle de vie et le niveau de formation sont les facteurs les plus souvent cités (Friege et Chappin, 2014). On peut s'attendre également à retrouver les mêmes facteurs que pour la mobilité résidentielle, car des travaux de rénovations sont fréquemment effectués lorsque le logement change de propriétaire.

### **4.3.2 Données**

Afin d'étudier les choix résidentiels des ménages nous mobilisons la base de données Phébus, que nous avons utilisée dans le chapitre 1. Cette base de données est constituée de deux enquêtes consécutives. La première enquête consiste en un sondage récoltant de nombreuses informations sur les ménages, les caractéristiques de leurs logements et sur leurs pratiques en matière de consommation d'énergie pour l'année 2012. La deuxième partie de l'enquête consiste en la venue

d'un technicien qui effectue un diagnostic de performance énergétique du logement par la méthode 3CL, ce qui permet d'obtenir le DPE du logement. Nous avons donc sélectionné dans cette base de données les logements ayant participé aux deux étapes de cette enquête et ainsi ceux pour lesquels le DPE a été estimé à l'aide de la méthode 3CL. Nous obtenons une base de données de 2345 observations<sup>55</sup>. Nous avons fait le choix de conserver les appartements et les maisons dans un même échantillon considérant que les ménages font un choix résidentiel parmi l'ensemble des logements disponibles.

Nos modèles visent à identifier les déterminants des choix de logements selon leur niveau de performance énergétique. La distribution de cette variable dépendante, approximée par l'étiquette de performance énergétique du logement DPE, est présentée dans le tableau 4.3. Nous observons que les étiquettes A et B sont en très faible quantité (respectivement 6 et 49 logements), c'est pourquoi nous regroupons ces deux classes en une. La classe modale est pour la lettre E (29,7%) suivi de très près par la lettre de D (27,2%). Ces deux classes forment ensemble, pour la suite de l'étude empirique, la classe moyenne de référence. Les logements considérés comme performants énergétiquement seront les logements avec une étiquette A, B et C tandis que les logements énergivores seront constitués par les logements des classes F et G

**Table 4.3: Distribution des étiquettes DPE**

	DPE	A	B	C	D	E	F	G
Effectif		6	49	310	637	697	351	295
%		0,26	2,09	13,22	27,16	29,72	14,97	12,58

Les variables explicatives utilisées dans les modèles sont présentées dans le tableau 4.4 : le nom de la variable, sa description et ses modalités. Nous avons trois catégories de variables explicatives. Tout d'abord, nous avons des variables caractérisant la composition du ménage<sup>56</sup> tel que l'âge, le statut marital, le genre de la personne de référence et la présence ou non d'enfants. Ensuite, nous avons des variables socio-économiques caractérisant le ménage (revenu, statut d'occupation du logement, et Professions et Catégories Socioprofessionnelles<sup>57</sup>). Finalement, nous avons les caractéristiques des logements répondant aux besoins ou aux préférences des ménages : la localisation du logement (approximée dans la base Phébus par le découpage rural *vs* urbain et pour ce dernier selon les tailles des aires urbaines de l'Insee), la taille du logement (mesurée par la surface, cf. 4.4), le type de logement (appartement ou maison individuelle) et la zone climatique (cf. Tableau 4.4).

<sup>55</sup> Les données utilisées dans ce chapitre sont issues de la même base de données que dans le chapitre 1. Cependant, l'échantillon n'est pas identique puisque le chapitre 1 se limite aux maisons individuelles.

<sup>56</sup> Le choix a été fait de s'intéresser à la composition du ménage plus qu'à sa taille (nombre de personnes, adultes et ou enfants ; composant le ménage). L'effet de la taille du ménage est donc considéré comme retranscrit dans la taille du logement.

<sup>57</sup> La variable PCS est par ailleurs la meilleure variable proxy que nous ayons pour identifier le niveau d'étude de la personne de référence.

**Table 4.4: Description des variables**

	Variable	Description
<b>Variable dépendante</b>		
	DPE	Certificat énergétique du logement, calculé par la méthode 3CL
<b>Variables explicatives</b>		
<b>Caractéristiques du ménage</b>	Moins de 40 Entre 40 et 60 Entre 60 et 80 Plus de 80	Classe d'âge de la personne de référence
	Femme	La personne de référence du ménage est une femme (sinon c'est un homme)
	Célibataire	Le ménage est composé d'un adulte
	Couple	Le ménage est composé de deux adultes sans enfants
	Monoparentale	Le ménage est composé d'un adulte avec au moins un enfant
	AvecEnfants	Le ménage est composé de plusieurs adultes avec au moins un enfant
	Propriétaire Locataire Usufruit	Le ménage est propriétaire du logement Le ménage est locataire du logement Le ménage vit à titre gratuit ou jouit du bien en usufruit
<b>Caractéristiques Socioéconomiques du ménage</b>	RevQ1/RevQ2/ RevQ3/RevQ4	Le ménage a un revenu annuel disponible en 2012 appartenant au Quartile 1, 2, 3 ou 4
	PCS1	Agriculteurs exploitants
	PCS2	Artisan et professions libérales
	PCS3	Cadre et professions intellectuelles supérieur
	PCS4	Professions intermédiaires
	PCS5	Employés
	PCS6	Ouvrier
	Retraite	La personne de référence est retraitée
	Chômage	La personne de référence est au chômage
	AutresInactifs	Etudiants, personnes au foyer et inactifs ne touchant pas de pension
<b>Caractéristiques du logement</b>	Rural	Le logement se situe en milieu Rural (découpage unité urbaine Insee)
	Inférieur à 50000	Le logement se situe dans une unité urbaine de moins de 50 000 habitants
	Supérieur à 50000	Le logement se situe dans une unité urbaine de plus de 50 000 habitants
	AUParis	Le logement se situe dans l'aire urbaine de Paris
	H1/H2/H3	La zone climatique du logement définie par la RT2000. H1 regroupe les régions froides, <i>i-e</i> les climats continentaux et montagnards (altitude supérieure à 1000 mètres). H2 rassemble les régions au climat tempéré océanique et H3 les régions les plus chaudes au climat méditerranéen.
	SrfQ1/SrfQ2/ SrfQ3/SrfQ4	Le logement a une surface habitable appartenant respectivement au quartile 1/2/3/4
	Maison Ind	Le logement est une maison individuelle, sinon le logement est un appartement

Le tableau 4.5 présente les statistiques descriptives de notre échantillon. Il est en grande partie composé de maisons individuelles (75%) avec un quart seulement des observations qui sont des appartements, alors que ces derniers représentent 44% des logements en France (Arnold, 2018). Par conséquent, les logements dans notre échantillon sont en moyenne plus grands avec une superficie moyenne de 75 mètres carrés. Nous avons également une légère surreprésentation des propriétaires (75% contre 60% d'après l'Insee, Arnold (2018)). De même, notre échantillon est largement surreprésenté par les couples avec enfants (26% en France selon Daguet (2017)). Comme nous conduisons des régressions logistiques, l'inférence statistique portant sur les coefficients, c'est-à-dire les tests de significativité et les odds-ratios, n'est pas affectée par l'échantillonnage (Hosmer et *al.*, 2013).

**Table 4.5: Statistiques descriptives (échantillon)**

<b>Variables discrètes</b>	<b>Effectif</b>	<b>%</b>	<b>Variables</b>	<b>Effectif</b>	<b>%</b>
<b>Age</b>			PCS3	276	11,77
Moins de 40	389	16,59	PCS4	289	12,32
Entre 40 et 60	991	42,26	PCS5	228	9,72
Entre 60 et 80	795	33,90	PCS6	301	12,84
80 et +	170	7,25	Retraite	906	38,64
<b>Genre</b>			Chômage	105	4,48
Homme	1610	68,66	Autre inactifs	115	4,90
Femme	735	31,34	<b>Taille aire urbaine</b>		
<b>Type ménage</b>			Aire urbaine de Paris	315	13,43
Célibataire	530	22,60	Supérieur à 50000	827	35,27
Adultes sans enfants	584	24,90	Inférieur à 50000	609	25,97
Famille Monoparentale	187	7,97	Rural	594	25,33
Adultes avec enfants	1044	44,52	<b>Zone climatique</b>		
<b>Statut d'occupation</b>			H1	1405	59,92
Locataire	521	22,22	H2	787	33,56
propriétaire	1742	74,29	H3	153	6,53
Usufruit	82	3,50	<b>Type logement</b>		
<b>Activité</b>			Appartement	652	27,80
PCS1	31	1,32	Maison individuelle	1693	72,19
PCS2	94	4,01			

<b>Variables continues</b>	<b>Min</b>	<b>Q1</b>	<b>Q2</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Q3</b>	<b>Max</b>	<b>Ecart-type</b>
Surface du logement	15	75	100	105,2	120	800	47,73
Revenu	2908	23790	35230	39990	49680	277600	24971,36

### 4.3.3 Stratégie d'estimation

Afin d'analyser les choix résidentiels des ménages, nous estimons trois modèles probabilistes.

- Le premier modèle estime la probabilité d'être dans un logement vert, c'est-à-dire avec une étiquette énergétique A B ou C. Ce premier modèle a pour objectif d'identifier les facteurs favorisant l'accès des ménages aux logements énergétiquement performants.
- Le deuxième modèle s'intéresse, à l'opposée, au risque pour le ménage de vivre dans un logement énergivore. Nous estimons dans ce modèle la probabilité de vivre dans un logement avec un DPE de niveau F ou G. L'objectif de ce modèle est d'identifier les facteurs pouvant conduire à des situations de précarité énergétique et également de comprendre les freins que peuvent rencontrer les ménages pour accéder aux logements verts.

Ces deux premiers modèles sont estimés à l'aide d'une régression logistique (Green 2003).

- Pour compléter l'analyse, nous développons un troisième modèle s'intéressant à l'ensemble des classes énergétiques et qui estime la probabilité d'être dans un logement avec une classe énergétique d'un niveau supérieur. L'objectif est double : il s'agit de s'intéresser aux facteurs conduisant les ménages à vivre dans un logement avec une étiquette énergétique moyenne et de savoir si les facteurs sont les mêmes pour l'ensemble de l'échelle des étiquettes énergétiques.

Pour ce dernier modèle, nous utilisons une régression logistique ordinale (ordered logit) (Harrell 2015).

Dans la section suivante nous présentons dans un premier temps les résultats des trois modèles analysant les choix résidentiels des ménages pour la qualité énergétique de leur logement. Ensuite, nous en déduisons un ensemble de recommandations en termes de politiques publiques pour la maîtrise de la demande d'énergie.

## 4.4 Choix résidentiels des ménages et politiques publiques de la maîtrise de la demande d'énergie

Les estimations sont faites sur R avec notamment la fonction « polr » du package « Mass » (Ripley *et al.* 2018) pour la régression logistique ordonnée.

Nous avons contrôlé le risque de multicolinéarité et avons obtenu des indicateurs VIF largement inférieurs à 10, permettant d'assurer un très faible risque de multicolinéarité. Après avoir exclu les données aberrantes, il nous reste un échantillon de 2345 observations. Afin de gagner en lisibilité et pour limiter l'impact des valeurs extrêmes, nous avons discrétiser aux quartiles les variables continues, revenu et logement.

Le premier modèle s'intéresse aux facteurs favorisant l'adoption de logements verts. Le second modèle cherche à expliquer les facteurs à risque conduisant les ménages à vivre dans un logement

énergivore. En complément, le troisième modèle s'intéresse aux facteurs globaux expliquant les choix des ménages concernant la qualité énergétique de leurs logements.

#### 4.4.1 Les déterminants des choix résidentiels dans le cas des logements verts

Les résultats du premier modèle estimant la probabilité d'être dans un logement vert (A, B ou C) sont présentés dans le tableau 4.6. Le pseudo  $R^2$ , bien que relativement faible (0.123), est dans la norme des régressions logistiques.

Concernant les variables caractérisant la composition du ménage, le *cycle de vie* joue un rôle important dans l'accession à un logement vert. En effet, plus la personne de référence du ménage est âgée, moins le ménage a de chance de vivre dans un logement ayant une DPE A B ou C. Cet effet est notamment le plus fort pour les personnes les plus âgées : les plus de 80 ans ont 60% de chance en moins d'habiter dans un logement vert que les 20-40 ans. On observe ici un effet générationnel, qui s'explique d'abord par une chute de la mobilité résidentielle des ménages avec l'âge (Debrand et Taffin, 2005). Or, les logements les plus récents sont également les logements les moins énergivores en raison de l'évolution des réglementations thermiques (voir tableau 4.1). De surcroît, les ménages les plus âgés sont les moins enclins à effectuer des travaux de rénovation (Charlier, 2012 ; Poortinga *et al.*, 2003).

Un autre phénomène intéressant concerne la *composition du ménage* : le fait d'avoir des enfants augmente la probabilité d'être dans un logement vert. Ainsi, un couple avec enfant(s) a 42% de chance en plus d'être dans un logement vert comparé à un couple sans enfants. Cette situation peut s'expliquer par le fait que l'évolution de la composition du ménage, notamment avec l'arrivée d'enfant(s), suscite la mobilité résidentielle. Les autres types de ménages n'affectent pas de manière significative la probabilité de vivre dans un logement vert.

Du côté des variables socioéconomiques, la variable *revenu* semble jouer un rôle primordial. En effet, le fait d'avoir un faible revenu diminue fortement la probabilité d'être dans un logement vert. Ainsi, un ménage appartenant à la première tranche de revenu a 36% de chance en moins d'habiter dans un logement vert qu'un ménage appartenant au dernier quartile (Q4).

En revanche, nous ne trouvons pas de résultats significatifs selon les *catégories socioprofessionnelles* ni pour les différents *types d'inactifs*. Ceci signifierait que le revenu impacte davantage le choix d'un logement vert que la classe sociale à laquelle appartient le ménage. L'absence de significativité pour la classe PCS est peut-être liée au fait que certaines classes comportent peu d'observations (Cf. tableau 4.4).

De manière surprenante également, on ne trouve pas de différence significative du *statut d'occupation*, ce qui aurait confirmé le phénomène de « *split incentives* », phénomène de sous-investissement dans la rénovation de l'habitat locatif (Charlier 2015a).

Table 4.6: Résultats des régressions logistiques des modèles « logements verts » et « logements énergivores »

Variables		Logement vert (A, B, C)			Logement énergivore (F, G)		
		Coefficients	Ecart-type	Odd-ratio	Coefficients	Ecart-type	Odd-ratio
	Constante	0,247	0,369	1,280	<b>-2,718***</b>	0,326	<b>0,066</b>
Age	Moins de 40	Réf.			Réf.		
	Entre 40 et 60	-0,052	0,172	0,950	-0,161	0,154	0,852
	Entre 60 et 80	-0,437	0,320	0,646	0,355	0,249	1,427
	Plus de 80	<b>-0,937**</b>	0,451	<b>0,392</b>	<b>0,608**</b>	0,304	<b>1,836</b>
Genre	Femme	-0,022	0,165	0,978	-0,009	0,130	0,991
Situation familiale et composition du ménage	Célibataire	-0,057	0,242	0,945	0,082	0,165	1,086
	Couple	Réf.			Réf.		
	Avec Enfants	<b>0,355**</b>	0,174	<b>1,426</b>	<b>-0,289**</b>	0,145	<b>0,749</b>
	Monoparentale	0,366	0,247	1,441	0,219	0,223	1,245
Statut d'occupation	Locataire	Réf.			Réf.		
	Propriétaire	0,105	0,189	1,111	-0,032	0,142	0,969
	Usufruit	-0,151	0,427	0,860	<b>0,726***</b>	0,272	<b>2,066</b>
Revenu du ménage	RevQ1	<b>-0,452*</b>	0,251	<b>0,636</b>	<b>0,365*</b>	0,194	<b>1,441</b>
	RevQ2	<b>-0,428**</b>	0,198	<b>0,652</b>	0,105	0,167	1,111
	RevQ3	<b>-0,306*</b>	0,169	<b>0,737</b>	-0,129	0,161	0,879
	RevQ4	Réf.			Réf.		
Catégorie CSP et type d'inactifs	PCS1	-0,506	0,586	0,603	0,222	0,479	1,249
	PCS2	0,367	0,306	1,443	0,153	0,313	1,166
	PCS3	Réf.			Réf.		
	PCS4	0,192	0,220	1,211	-0,039	0,225	0,962
	PCS5	-0,242	0,274	0,785	0,030	0,240	1,030
	PCS6	0,011	0,245	1,012	-0,026	0,228	0,974
	Retraite	-0,042	0,316	0,959	-0,173	0,259	0,841
	Chômage	-0,109	0,348	0,897	<b>0,631**</b>	0,280	<b>1,879</b>
	Autres Inactifs	0,064	0,350	1,066	-0,037	0,290	0,963
Localisation selon le type d'Aire urbaine	AUPARIS	-0,163	0,258	0,849	-0,062	0,177	0,940
	>50000 hab	0,189	0,158	1,208	<b>-0,481***</b>	0,141	<b>0,618</b>
	-50000 hab	Réf.			Réf.		
	Rural	<b>-0,417**</b>	0,182	<b>0,659</b>	<b>0,385***</b>	0,137	<b>1,469</b>
Zone climatique	H1	<b>-1,076***</b>	0,141	<b>0,341</b>	<b>1,029***</b>	0,124	<b>2,797</b>
	H2	Réf.			Réf.		
	H3	0,113	0,218	1,120	-0,183	0,272	0,833
Surface du logement	SrfQ1	<b>-1,425***</b>	0,246	<b>0,240</b>	<b>1,373***</b>	0,192	<b>3,948</b>
	SrfQ2	<b>-0,871***</b>	0,172	<b>0,418</b>	<b>0,861***</b>	0,156	<b>2,367</b>
	SrfQ3	<b>-0,582***</b>	0,175	<b>0,559</b>	<b>0,415**</b>	0,172	<b>1,515</b>
	SrfQ4	Réf.			Réf.		
Type bien	Maison ind.	<b>-0,681***</b>	0,191	<b>0,506</b>	<b>0,411***</b>	0,156	<b>1,509</b>
	Pseudo R <sup>2</sup>		0,123			0,120	
	AIC		1838			2488.2	

Les résultats significatifs sont en gras. Significativité : \*10%, \*\* 5%, \*\*\* 1%. OR signifie *Odd-ratio* qui peut se traduire par risque relatif.

Enfin, concernant la dernière catégorie de variables, sur les logements, on observe que la *localisation du logement* joue un rôle important dans l'accessibilité aux logements verts. En effet, le fait de vivre en milieu rural diminue la probabilité de vivre dans un logement étiqueté A B ou C. Ainsi, un ménage localisé en zone rurale a 34% de chance de moins de vivre dans un logement vert qu'un ménage habitant dans une zone urbaine inférieure à 50 000 habitants. En revanche, nous n'observons pas d'effet significatif en fonction des différentes tailles d'aire urbaine.

De même, vivre dans la *zone climatique* H1 (climats continentaux ou montagnards) réduit significativement la probabilité d'être dans un logement vert. Ce phénomène peut s'expliquer par les plus grands besoins de chauffage des logements dans cette zone climatique. Pour les mêmes raisons, on observe que le fait de vivre dans une maison individuelle divise par deux la chance d'être dans un logement vert. D'une part, la faible densité de l'habitat individuel réduit l'effet des îlots de chaleur urbain (Perini et Magliocco, 2014), et d'autre part, les déperditions énergétiques sont plus fortes pour les maisons individuelles que pour les appartements.

Pour la *taille des logements*, la recherche d'un grand logement augmente la probabilité d'être dans un logement vert. Cet élément peut s'expliquer par le fait que les étiquettes énergétiques sont calculées en consommation d'énergie par mètre carré, or la consommation d'énergie par mètre carré est décroissante de la surface. Le tableau 4.7 fournit quelques preuves sur la relation entre la taille de logements et étiquette énergétique.

**Table 4.7: Distribution des étiquettes énergétiques DPE selon la surface du logement**

Surface du logement (Quartile)	Etiquette DPE						Total
	AB	C	D	E	F	G	
Q1	10	43	122	179	107	128	589
Q2	6	92	185	244	136	88	751
Q3	14	56	129	133	51	43	426
Q4	25	119	201	141	57	36	579
Total	55	310	637	697	351	295	2345
Test d'indépendance de Pearson	$\chi^2 = 174,12$		df=15		p-value < 2.2e-16		

Le test d'indépendance de Pearson conduit à rejeter l'hypothèse nulle, et il semblerait qu'il y ait une relation inverse entre la taille du logement et l'étiquette énergétique. Par exemple, seulement 12,2% des logements étiqueté G ont une surface appartenant au dernier quartile, alors que 38,38% des logements étiqueté C appartiennent à ce même quartile. De ce fait, on peut craindre que les petits ménages (ménages avec un ou deux individus) risquent de se localiser plus généralement dans des logements énergivores.

En résumé, nos résultats indiquent que le fait de vivre dans logement vert semblerait relever d'un souhait du ménage qu'il peut réaliser, alors que le fait de vivre dans un logement énergivore serait plutôt la conséquence de contraintes empêchant le ménage de vivre dans un meilleur logement. Cette considération nous conduit à analyser les facteurs conduisant les ménages à vivre dans un logement ayant une faible performance énergétique.

#### 4.4.2 Les déterminants des choix résidentiels dans le cas des logements énergivores

Notre second modèle fait un focus sur les logements énergivores (F et G). Les résultats sont présentés dans la dernière colonne du tableau 4.6, seconde colonne. Le pseudo  $R^2$  est du même ordre que pour le premier modèle (0.12).

Dans ce second modèle, on observe globalement les mêmes logiques que pour le premier modèle, avec des résultats de signe opposé. Ainsi pour les *variables caractérisant le ménage*, l'âge augmente la probabilité de vivre dans un logement énergivore : un ménage dont la personne de référence a plus de 80 ans a 83.6% de risque en plus de vivre dans un logement énergivore par rapport à un ménage dont la personne de référence a moins de 40 ans. A l'opposée, les ménages composés d'un couple avec au moins un enfant ont moins de chance de vivre dans un logement énergivore. Comme pour le premier modèle, les autres variables décrivant la composition du ménage ne sont pas significatives.

Au sujet des *caractéristiques socio-économiques des ménages*, un changement important concerne l'impact du *revenu*. En effet, elle ne semble jouer un rôle significatif que pour la population appartenant au premier quartile de revenu, augmentant de 44% le risque de vivre dans un logement énergivore comparé aux ménages du dernier quartile de revenu. En effet, le coût important des travaux de rénovation énergétique est estimé à 25 410 euros en moyenne en 2014 selon l'Ademe (OPEN 2015). Ce coût peut empêcher les ménages les moins riches à investir pour améliorer l'efficacité énergétique de leur logement. Aussi, en raison de la compétition des ménages pour accéder aux meilleurs logements, le revenu devient alors un facteur important pour accéder aux logements verts et les logements les moins performants restent « accessibles » aux ménages les moins aisés. De surcroît, comme la valeur verte renchérit le coût des logements performants, cela réduit les possibilités d'accès des ménages aux logements verts et les contraints à choisir par défaut un logement énergivore.

Ces hypothèses sont corroborées par le fait que la variable *chômage* est significative dans ce second modèle : si la personne de référence est au chômage, alors le ménage a 87% de chance de plus de vivre dans un logement énergivore qu'un ménage appartenant à la 3<sup>ème</sup> classe PCS. La chute de revenu associée à la perte de l'emploi et l'absence de stabilité de l'emploi réduisent les capacités des ménages à conduire des rénovations énergétiques et à changer de logement, ce qui peut les contraindre à vivre dans des logements énergivores.

Comme pour le premier modèle, les variables « PCS » et « Propriétaire » n'ont pas d'effet significatif sur la probabilité de vivre dans un logement économe. Cependant, le fait de vivre à titre gratuit ou en usufruit double le risque de vivre dans un logement économe. Nous pouvons émettre ici l'hypothèse d'un problème d'incitation pour le propriétaire à effectuer des travaux de rénovation. En effet, il doit en supporter les coûts alors que c'est la personne logée à titre gratuit ou en usufruit qui en profite. Nous retrouvons ici un cas spécifique de « *split incentives* » (Charlier, 2015a) qui conduit les propriétaires à sous-investir dans la rénovation énergétique.

Concernant les *caractéristiques du logement*, le fait de vivre dans une maison individuelle augmente la probabilité de vivre dans un logement économe. Un ménage vivant dans une maison individuelle a 50% de chance en plus d'être dans un logement dont le DPE est F ou G. En cohérence avec le premier modèle, avoir un logement situé en zone climatique H1 augmente de manière significative la probabilité de vivre dans un logement économe. De même, vivre en milieu rural fait que le ménage a 47% de risque en plus de vivre dans un logement économe qu'un ménage habitant dans une unité urbaine de moins de 50 000 habitants.

Un changement notable par rapport au précédent modèle concerne la significativité du *type d'aire urbaine* dans laquelle le logement est situé. Ainsi, vivre dans une ville de plus de 50 000 habitants réduit significativement la probabilité d'être dans un logement de classe F ou G. Pour les pays au climat tempéré comme la France, la densité urbaine réduit les consommations d'énergie des logements par le phénomène des îlots de chaleur urbain (Ewing et Rong, 2008 ; Lampin, 2013). Ce résultat peut également s'expliquer par la différence de structure du bâti entre les villes denses (maisons mitoyennes, nombre d'étages...) et les espaces ruraux (Ewing et Rong, 2008). En dernier lieu, la densité urbaine impacte aussi la performance énergétique des logements via l'accès différencié aux sources d'énergie, ces dernières pouvant avoir des rendements différents (Lampin, 2013). En effet, les logements localisés en zones denses ont plus souvent accès aux énergies de réseaux (Poumanyong et Kaneko, 2010) (réseau de chaleur urbain et gaz de ville).

Finalement, comme pour le premier modèle, le choix du ménage concernant la *taille de son logement* joue un rôle significatif la probabilité de vivre dans un logement économe. Plus le logement est petit, plus le ménage risque de vivre dans un logement avec une faible efficacité énergétique. Par exemple, un ménage vivant dans un logement de moins de 75 mètres carrés a 4 fois plus de risque de vivre dans un logement avec un DPE F ou G qu'un ménage vivant dans un logement de plus de 120 mètres carrés.

Les résultats de ce modèle confirment alors les effets de choix résidentiels, plus ou moins contraints, qui vont distinguer notamment le « couple » reliant les logements économes et les ménages moins favorisés.

Les deux premiers modèles nous ont permis d'analyser les facteurs influençant les choix résidentiels des ménages pour les classes les plus élevées et les plus basses de l'échelle des DPE. Afin de compléter l'analyse, il convient de s'intéresser aux classes de performance énergétiques moyennes, D et E, et d'avoir une vision globale des choix des ménages concernant la performance énergétique de leur logement. L'enjeu est de savoir si les facteurs identifiés dans les deux premiers modèles influencent les choix résidentiels de la même manière sur l'ensemble de l'échelle des étiquettes énergétiques.

#### 4.4.3 Les facteurs permettant de vivre dans un logement avec une meilleure performance énergétique

Le troisième modèle permet d'estimer les probabilités de vivre dans un logement avec une meilleure performance énergétique. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.8. L'objectif ici est d'analyser les facteurs globaux expliquant la probabilité de vivre dans un logement avec une étiquette d'un niveau supérieur. Ce modèle nous permet de considérer l'ensemble de étiquettes énergétiques et notamment les classes D et E qui étaient exclues dans les deux premiers modèles estimés.

La régression logistique ordinaire que nous employons suppose que la relation entre chaque paire de niveaux soit la même : il s'agit de l'hypothèse d'égalité des pentes ou encore appelée hypothèse de proportionnalité des *odds ratios*. Le test de Brant (Brant, 1990) teste l'hypothèse nulle d'égalité des pentes. Dans notre cas, le test est significatif à 5%, nous indiquant que certaines variables ne respectent pas cette hypothèse. Dans l'idéal, une régression logistique multinomiale devrait être conduite (Hosmer et *al.*, 2013), mais le nombre de paramètres à estimer est trop grand pour notre échantillon. Nous effectuons alors un test de Brant pour chaque coefficient (cf. tableau 4.8, dernière colonne) et nous trouvons que cette égalité des pentes est rejetée pour 5 variables. Pour la classe d'âge : « Entre 60 et 80 », pour les quartiles de revenu : « Revq3 », pour les statuts professionnels : « Chômage », pour les quartiles de surface des logements : « Srfq2 » et enfin pour le type de logement : « Maison ind ». Pour ces variables, nous pouvons seulement conclure à l'instabilité des effets sur l'ensemble des étiquettes énergétiques.

D'une manière générale, nous retrouvons pour ces estimations, des résultats convergeant avec ceux des deux premiers modèles.

Ainsi, pour la composition du ménage, un couple ayant des enfants a 30% de chance en plus de vivre dans un logement avec une étiquette énergétique d'un niveau supérieur qu'un couple sans enfants. A l'opposé, l'âge de la personne de référence réduit l'accessibilité aux logements verts. Par exemple, les ménages dont la personne de référence a plus de 80 ans ont 40% de chance en moins de vivre dans un logement vert que les ménages de moins de 40 ans. Comme pour les deux précédents modèles, le genre de la personne de référence et le statut marital n'ont pas d'effets significatifs sur le choix d'une étiquette énergétique.

Pour les caractéristiques socio-économiques, on observe le rôle prépondérant du revenu limitant l'accès des logements verts aux ménages les plus pauvres. Les ménages appartenant au premier quartile ont 38% de chance en moins d'être dans un logement ayant une classe énergétique d'un cran supérieur que les ménages appartenant au dernier quartile. Cet effet se réduit pour le deuxième quartile (23% de chance en moins). Comme pour les précédents modèles, la catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence du ménage n'influence pas significativement la probabilité de vivre dans un logement vert. Cependant, contrairement au premier modèle dont le résultat n'était pas significatif, un ménage vivant en usufruit ou loger à titre gratuit a moins de chance de vivre dans un logement énergétiquement performant qu'un ménage propriétaire.

**Table 4.8: Résultats de la régression logistique ordinaire pour le modèle « Etiquette énergétique supérieure »**

Ordinal Logit		Coefficients	Ecart-type	Odd-ratio	Brant test p-value
Age	Moins de 40	Réf.			
	Entre 40 et 60	0,092	0,114	1,097	<b>0,749</b>
	Entre 60 et 80	-0,172	0,191	0,842	<b>0,047</b>
	Plus de 80	<b>-0,511**</b>	0,234	<b>0,600</b>	0,475
Genre	Femme	0,052	0,099	1,053	0,417
Situation Familiale	Célibataire	-0,127	0,131	0,880	0,349
	Couple	Réf.			
	AvecEnfants	<b>0,298***</b>	0,107	<b>1,347</b>	0,213
	Monoparentale	0,037	0,171	1,038	0,319
Statut d'occupation	Locataire	Réf.			
	Propriétaire	0,125	0,112	1,133	0,849
	Usufruit	<b>-0,529**</b>	0,225	<b>0,589</b>	0,774
Revenu disponible	Revq1	<b>-0,472***</b>	0,151	<b>0,624</b>	0,843
	Revq2	<b>-0,267**</b>	0,124	<b>0,766</b>	0,141
	Revq3	<b>-0,180*</b>	0,112	<b>0,835</b>	<b>0,051</b>
	Revq4	Réf.			
Catégorie CSP	PCS1	-0,284	0,355	0,753	0,994
	PCS2	0,227	0,226	1,255	0,107
	PCS3	Réf.			
	PCS4	0,131	0,156	1,140	0,384
	PCS5	-0,105	0,174	0,900	0,713
	PCS6	0,102	0,162	1,107	0,550
	Retraité	-0,069	0,192	0,934	0,115
	Chômage	-0,204	0,224	0,816	<b>0,008</b>
	AutresInactifs	0,005	0,220	1,005	0,822
Zone Urbaine	AUPARIS	-0,074	0,143	0,929	0,424
	>50000 hab	<b>0,312***</b>	0,101	<b>1,366</b>	0,169
	-50000 hab	Réf.			
	Rural	<b>-0,368***</b>	0,106	<b>0,692</b>	0,516
Zone climatique	H1	<b>-1,019***</b>	0,089	<b>0,361</b>	0,891
	H2	Réf.			
	H3	0,161	0,164	1,174	0,682
Surface du logement	SrfQ1	<b>-1,420***</b>	0,145	<b>0,242</b>	0,862
	SrfQ2	<b>-0,887***</b>	0,110	<b>0,412</b>	<b>0,093</b>
	SrfQ3	<b>-0,536***</b>	0,117	<b>0,585</b>	0,874
	SrfQ4	Réf.			
Type bien	Maison ind.	<b>-0,579***</b>	0,119	<b>0,561</b>	<b>0,078</b>
Constantes	G F	<b>-4,080***</b>	0,249		
	F E	<b>-2,987***</b>	0,243		
	E D	<b>-1,506***</b>	0,237		
	D C	0,117	0,236		
	C AB	<b>2,283***</b>	0,264		
Pseudo $R^2$ : 0,072955		AIC: 7090,7		Global Brant test P-value: <b>0.034</b>	

Les résultats significatifs sont en gras. Significativité : \*10%, \*\* 5%, \*\*\* 1%. *Odd-ratio* peut se traduire par rapport de chance ou risque relatif. Le test de Brant évalue l'hypothèse de régression proportionnelle.

Finalement, concernant les caractéristiques du logement, la densité urbaine est un facteur clé pour le choix d'un logement avec une bonne performance énergétique. Vivre dans une grande ville de plus de 50 000 habitants augmente la probabilité de vivre dans un logement plus vert (environ 35% de chance en plus). De même, un ménage choisissant un logement en milieu rural a 30% de chance en moins d'obtenir un logement vert qu'un ménage vivant dans une ville de moins de 50 000 habitants.

Le choix de la taille du logement impacte la probabilité des ménages à vivre dans un logement ayant une étiquette énergétique en haut de l'échelle. Ainsi, les ménages vivant dans un logement de moins de 75 mètres carrés ont 75% de chance en moins d'être dans un logement vert par rapport aux ménages vivant dans un logement de plus de 120 mètres carrés.

L'ensemble de ces résultats met en évidence un faisceau d'éléments convergeant vers un cumul des effets, négatifs ou positifs, pour certaines catégories de la population qui réduit ou facilite l'accès aux logements verts. Ainsi un ménage âgé avec un faible revenu vivant en milieu rural dans une petite maison vivra vraisemblablement dans un logement énergivore. A l'opposé, un jeune ménage, aisé, ayant des enfants et vivant en ville vivra très probablement dans un logement vert.

Ainsi, le choix de vivre dans un logement vert, que ce soit par la rénovation énergétique ou le changement de logement, est conditionné par les caractéristiques des ménages, leurs revenus et leurs besoins en logement. Au regard de ces éléments, nous procédons alors à la discussion des politiques favorisant l'accès aux logements verts.

#### **4.4.4 Conséquences pour les politiques d'incitations de la maîtrise de la demande d'énergie**

Au regard des résultats des modèles empiriques, on peut en déduire un certain nombre de recommandations pour la politique de maîtrise de la demande d'énergie.

Tout d'abord, il semblerait pertinent de cibler en priorité les plus petits logements.

Nous remarquons que les logements vendus de petites tailles sont ceux qui ont le plus souvent un mauvais DPE. Or, ces derniers sont le plus souvent habités par des ménages aux ressources limitées. Par conséquent, construire des petits logements performants ou rénover les petits logements énergivores permet à la fois de lutter contre la précarité énergétique et de réduire les consommations d'énergie pour ces ménages.

De surcroît, ces actions devraient conduire à un effet rebond limité. En effet, la petite taille des logements réduit d'un côté l'effet rebond direct en limitant la consommation de services énergétiques nouveaux (nouvelles pièces chauffées, installations d'équipements électroménagers...). D'un autre côté, l'effet rebond indirect, lié à la hausse des consommations énergétiques pour le transport, est également limité par la localisation dans les centres urbains des plus petits logements. La taille moyenne des logements en milieu rural est de 113.5 mètres carrés contre 81.9 pour les villes de plus de 100 000 habitants (Insee 2017).

Finalement, la rénovation d'immeuble semble être opportun et notamment dans les zones urbaines défavorisées. Effectivement, les immeubles concentrent des logements de petites tailles et les rénover en priorité favoriserait la massification de la rénovation énergétique. Cibler les zones urbaines défavorisées permettrait également de lutter contre la précarité énergétique.

Nous avons montré que les ménages les plus modestes occupaient des logements plus énergivores, ce qui est un facteur qui peut aggraver la précarité énergétique.

Dans la mesure où les ménages à faible revenu ont plus de difficultés à changer de logements (Debrand et Taffin, 2005), alors il faudrait donc cibler les mesures permettant de faciliter la mobilité résidentielle des ménages modestes vers les logements verts. Pour ceci, les politiques de réhabilitation urbaine et la construction de logements sociaux neufs adaptés sont un premier moyen efficace pour lutter contre la précarité énergétique tout en favorisant la maîtrise de la demande d'énergie du secteur résidentiel.

Dans la même logique, il est vraisemblable que les aides financières à la rénovation soient insuffisantes pour les ménages les plus précaires. Pour ce type de ménage, il semblerait donc pertinent de créer des outils d'aide à la mobilité ou d'augmenter les aides à la rénovation énergétique afin de couvrir davantage les coûts élevés des travaux.

Les estimations sur la probabilité de vivre dans un logement énergivore nous ont également montré l'existence d'une population à risque : les seniors vivants en milieu rural. Ces ménages ont une mobilité résidentielle très réduite (Insee 2017) et l'éloignement aux centres urbains accroît fortement la vulnérabilité énergétique (Cochez *et al.*, 2015). De plus, l'âge est un frein majeur pour engager des travaux de rénovation énergétique (Debrand et Taffin, 2005). Pour cette catégorie précise de ménages, l'aide financière pour le quotidien semble la manière la plus efficace de contrer la précarité énergétique.

Finalement, il apparaît que les ménages les plus aisés sont ceux qui ont la plus forte probabilité de vivre dans un logement vert. De ce fait, le risque d'effet d'aubaine est élevé pour les politiques aidant la rénovation énergétique sans condition de ressources. Ainsi, le crédit d'impôt et l'exonération de la taxe foncière peuvent favoriser des ménages qui n'ont pas besoin de ces aides pour que la rénovation soit intéressante financièrement. La rénovation verte peut même être perçue comme une injustice fiscale si les ménages les plus aisés qui ont accès aux logements verts sont en plus aidés financièrement.

## 4.5 Conclusion

Ce chapitre conclusif a été l'occasion de présenter les dispositifs de politiques publiques existants dans le cadre de la maîtrise de la demande d'énergie. Ces dispositifs, et notamment les plus récents, ont pour objectif de réduire les consommations d'énergie via une rénovation massive des logements énergivores tout en assurant une lutte contre la précarité énergétique.

Ces dispositifs ont tout d'abord été discutés à l'aune des résultats de la thèse. Nous avons montré à plusieurs reprises l'importance des choix de localisation pour la maîtrise de la demande

d'énergie (effet rebond indirect, contraintes techniques pour la consommation de services énergétiques et de transport). Nous avons également discuté du rôle de la valeur verte pour réduire les consommations d'énergie des ménages mais également du risque de dévalorisation immobilière pour les logements énergivores. Nous en avons déduit l'importance de la lutte contre la précarité énergétique dans le cadre de la maîtrise de la demande d'énergie et nous avons également suggéré que les dispositifs devraient cibler des territoires spécifiques afin de conduire une politique juste et efficace.

Ensuite, nous avons analysé les choix résidentiels des ménages concernant la performance énergétique de leur logement. Le revenu, la présence d'enfants dans le ménage, l'âge et les besoins en logement déterminent fortement la probabilité du ménage à vivre dans un logement vert. A l'opposé, les ménages à faible revenu, âgés et vivant en milieu rural risquent de vivre dans des logements énergivores. Ces résultats nous conduisent à conclure de l'importance qu'il faut accorder à la lutte contre la précarité énergétique dans le cadre des politiques de maîtrise de la demande d'énergie.

Pour poursuivre ces travaux, il serait intéressant d'approfondir les facteurs influençant la trajectoire résidentielle des ménages vers les logements verts ainsi que les motivations à la rénovation énergétique. Identifier les ménages enclins et prêts à effectuer une rénovation énergétique permet d'éviter un effet d'aubaine tout en permettant une efficacité de la politique de soutien à la rénovation. Une analyse centrée sur les trajectoires résidentielles des ménages semble également pertinente à cet égard, car celle-ci permet d'analyser le choix d'un logement en fonction du logement d'origine et des modifications des besoins du ménage (Debrand et Taffin, 2005). Ainsi une telle modélisation permettrait de dégager des prévisions sur les besoins en logements économes selon le bâti actuel et les caractéristiques des ménages. Nous pourrions par conséquent fournir des recommandations précises sur les localisations optimales pour la construction neuve de logement afin de maximiser l'acquisition de logements économes par les ménages.

La thèse a permis de mettre en évidence l'enjeu des choix de localisation des ménages pour la maîtrise de la demande d'énergie et le rôle de la valeur verte pour favoriser l'adoption par les ménages de logements énergétiquement performants. Différents approfondissements pourraient faire l'objet de recherches futures.

Dans le premier chapitre, l'analyse théorique a mis en lumière le rôle de la demande de services énergétiques sur la demande d'énergie et sur les choix de localisations résidentielles. Nous avons également démontré l'existence d'une possible relation entre les consommations d'énergie et le transport. Il pourrait être intéressant de poursuivre l'analyse pour des villes multacentriques et pour des services énergétiques spécifiques avec une meilleure spécification des technologies de consommations.

L'analyse empirique du premier chapitre nous a également permis de montrer l'existence d'un effet rebond indirect entre les consommations énergétiques pour le logement et pour le transport. Cet effet rebond indirect, de l'ordre de 1.5%, se cumule à l'effet rebond direct et réduit les économies d'énergie issues de l'amélioration de la performance énergétique des logements. Pour

limiter l'effet rebond, il semble donc pertinent de rénover et de construire des logements verts dans les centres, i.e ; plus près des emplois. Cependant le risque d'accentuer le phénomène de gentrification (Guerrieri *et al.* 2013) est présent et une telle politique pourrait entraîner une fracture plus forte entre centre et périphéries. Il convient donc en parallèle d'assurer une lutte contre la précarité énergétique en favorisant les rénovations énergétiques tout en assurant le maintien et le développement d'un réseau de services de proximité dans les pôles d'emplois secondaires. Ce résultat pousse à reconsidérer les formes urbaines actuelles des villes pour de nouvelles formes qui favoriseraient à la fois une réduction des consommations énergétiques et une dépoliarisation des villes : Tannier (2009) évoque par exemple, la ville « *transit-oriented development* », la ville compacte dense ou encore la ville fractale.

Le deuxième chapitre a permis de montrer que la valeur verte était de l'ordre de 8% en moyenne pour le secteur résidentiel, témoignant que l'investissement dans l'immobilier vert est pertinent. Nous avons également observé qu'il existe une variabilité de la valeur verte selon le continent. Ces différences géographiques peuvent refléter en fait une différence réglementaire en matière de labels et de type de label, obligatoire ou volontaire. Nous avons par exemple observé que la valeur verte est plus forte pour l'Europe, ce que l'on peut attribuer au caractère obligatoire de la labélisation des logements ainsi qu'à l'unification des labels (*Energy Performance Certificate*) qui permet une meilleure lisibilité par les acteurs du marché immobilier.

Le troisième chapitre a confirmé l'existence de la valeur verte pour le secteur résidentiel et d'un effet multiplicateur spatial des prix. Il serait intéressant d'étudier de manière précise comment la valeur verte pourrait se diffuser sur le marché immobilier. Un enjeu est de savoir si les comportements de consommation des ménages et les décisions d'investir dans la rénovation énergétique sont influencés par le voisinage proche. Si tel est le cas, cela justifierait le fait de multiplier les éco-quartiers et de les répartir sur l'ensemble du territoire afin de maximiser les effets de débordements de la valeur verte.

## Bibliographie :

- Abrahamse, W., et Steg, L. (2009). How do socio-demographic and psychological factors relate to households' direct and indirect energy use and savings?. *Journal of economic psychology*, 30(5), 711-720.
- Arnold C. (2017). Le parc de logements en France au 1<sup>er</sup> janvier 2017. *Insee Focus* n°103. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3269496>
- Arnold, C. (2018). Le parc de logements en France au 1er janvier 2018. *Insee Focus* n°126. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3620894>
- Blázquez, L., Boogen, N., et Filippini, M. (2013). Residential electricity demand in Spain: new empirical evidence using aggregate data. *Energy economics*, 36, 648-657.
- Brant, R. (1990). Assessing proportionality in the proportional odds model for ordinal logistic regression. *Biometrics*, 1171-1178.
- Brounen, D., Kok, N., et Quigley, J. M. (2012). Residential energy use and conservation: Economics and demographics. *European Economic Review*, 56(5), 931-945.
- Büchs, M., et Schnepf, S. V. (2013). Who emits most? Associations between socio-economic factors and UK households' home energy, transport, indirect and total CO2 emissions. *Ecological Economics*, 90, 114-123.
- Chan, S. (2001). Spatial lock-in: Do falling house prices constrain residential mobility?. *Journal of urban Economics*, 49(3), 567-586.
- Charlier, D. (2012). *Les déterminants des investissements économiseurs d'énergie dans le secteur résidentiel en France* (Doctoral dissertation, Grenoble).
- Charlier, D. (2015a). Energy efficiency investments in the context of split incentives among French households. *Energy Policy*, 87, 465-479.
- Charlier, D. (2015b). Comportement des ménages et investissements en efficacité énergétique: une revue de la littérature. *La Revue du CGDD*, 11.
- Chitnis, M., Sorrell, S., Druckman, A., Firth, S. K., et Jackson, T. (2014). Who rebounds most? Estimating direct and indirect rebound effects for different UK socioeconomic groups. *Ecological Economics*, 106, 12-32.
- Cochez, N., Durieux, E., et Levy, D. (2015). Vulnérabilité énergétique. Loin des pôles urbains, chauffage et carburant pèsent fortement dans le budget.
- Daguet, F. (2017). Des ménages toujours plus nombreux, toujours plus petits.
- Debrand, T., et Taffin, C. (2005). Les facteurs structurels et conjoncturels de la mobilité résidentielle depuis 20 ans. *Economie et statistique*, 381(1), 125-146.

- Dilaver, Z., et Hunt, L. C. (2011). Modelling and forecasting Turkish residential electricity demand. *Energy Policy*, 39(6), 3117-3127.
- Ewing, R., et Rong, F. (2008). The impact of urban form on US residential energy use. *Housing policy debate*, 19(1), 1-30.
- Friege, J., et Chappin, E. (2014). Modelling decisions on energy-efficient renovations: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 196-208.
- Gobillon, L. (2001). Emploi, logement et mobilité résidentielle. *Economie et statistique*, 349(1), 77-98.
- Greene, W. H. (2003). *Econometric analysis*. Pearson Education India.
- Guerrieri, V., Hartley, D., et Hurst, E. (2013). Endogenous gentrification and housing price dynamics. *Journal of Public Economics*, 100, 45-60.
- Harrell, F. E. (2015). Ordinal logistic regression. *Regression modeling strategies* 311-325. Springer, Cham.
- Hosmer Jr, D. W., Lemeshow, S., and Sturdivant, R. X. (2013). *Applied logistic regression* (Vol. 398). John Wiley & Sons.
- Insee (2017). Les conditions de logement en France. Edition 2017. *Insee Références*.
- Lampin, L. (2013). *Les déterminants spatiaux de la demande et de l'efficacité énergétiques* (Doctoral dissertation, Université Paris-Est).
- Leth-Petersen, S., et Togeby, M. (2001). Demand for space heating in apartment blocks: measuring effects of policy measures aiming at reducing energy consumption. *Energy Economics*, 23(4), 387-403.
- Morrow-Jones, H. A., et Wenning, M. V. (2005). The housing ladder, the housing life-cycle and the housing life-course: Upward and downward movement among repeat home-buyers in a US metropolitan housing market. *Urban Studies*, 42(10), 1739-1754.
- McLoughlin, F., Duffy, A., et Conlon, M. (2012). Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: An Irish case study. *Energy and Buildings*, 48, 240-248.
- OPEN (2015). OPEN : Observatoire permanent de l'amélioration énergétique du logement. Campagne 2015, *L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)*.
- Perini, K., et Magliocco, A. (2014). Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3), 495-506.
- Poortinga, W., Steg, L., Vlek, C., et Wiersma, G. (2003). Household preferences for energy-saving measures: A conjoint analysis. *Journal of Economic Psychology*, 24(1), 49-64.

- Poumanyong, P., et Kaneko, S. (2010). Does urbanization lead to less energy use and lower CO2 emissions? A cross-country analysis. *Ecological Economics*, 70(2), 434-444.
- Ripley, B., Venables, B., Bates, D. M., Hornik, K., Gebhardt, A., Firth, D., et Ripley, M. B. (2013). Package 'mass'. *CRAN Repos. Httpcran R-Proj. OrgwebpackagesMASSMASS Pdf*.
- Romero-Jordán, D., Peñasco, C., et del Río, P. (2014). Analysing the determinants of household electricity demand in Spain. An econometric study. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, 950-961.
- Roux, J-M. (2018). Le processus de dévalorisation immobilière. *La revue foncière*, (23), 18-23.
- Santin, O. G., Itard, L., et Visscher, H. (2009). The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. *Energy and buildings*, 41(11), 1223-1232.
- Sorrell, S., et Dimitropoulos, J. (2008). The rebound effect: Microeconomic definitions, limitations and extensions. *Ecological Economics*, 65(3), 636-649.
- Tannier, C. (2009). Formes de villes optimales, formes de villes durables. Réflexions à partir de l'étude de la ville fractale. *Espaces et sociétés*, (3), 153-171.
- Valenzuela, C., Valencia, A., White, S., Jordan, J. A., Cano, S., Keating, J. Nagorski, J., et Potter, L. B. (2014). An analysis of monthly household energy consumption among single-family residences in Texas, 2010. *Energy Policy*, 69, 263-272.

## Liste des figures

FIGURE 0.1 : DPE - ENERGIE.....	32
FIGURE 0.2 : DPE - EMISSIONS .....	32
FIGURE 1.1: IMPACT OF TRANSPORT ON CITY-SIZE .....	52
FIGURE 1.2: IMPACT OF TRANSPORT ON URBAN DENSITY .....	52
FIGURE 1.4: IMPACT OF ES ON URBAN DENSITY.....	52
FIGURE 1.3: IMPACT OF ES ON CITY-SIZE.....	52
FIGURE 1.5: IMPACT OF ENERGY PRICE ON CITY-SIZE .....	53
FIGURE 1.6 : IMPACT OF ENERGY PRICE ON URBAN DENSITY.....	53
FIGURE 1.8: IMPACT OF EFFICIENCY PARAMETERS ON URBAN DENSITY.....	53
FIGURE 1.7: IMPACT OF EFFICIENCY PARAMETERS ON CITY-SIZE.....	53
FIGURE 2.1: FUNNEL GRAPH OF GREEN BUILDING VALUES .....	98
FIGURE 3.1: SPATIAL MODEL SELECTION .....	128
FIGURE 3.2 : URBAN AREA OF DIJON .....	131
FIGURE 3.5: CONDITIONAL DISTRIBUTIONS OF DPE LABEL FOR HOUSE AND APARTMENT MARKETS (%)......	134
FIGURE 3.3: SPATIAL DISTRIBUTION OF HOUSES .....	134
FIGURE 3.4 SPATIAL DISTRIBUTION OF APARTMENTS.....	134
FIGURE 3.6: NEIGHBORHOOD OF K-NEAREST NEIGHBORS ( $K = 7$ ) IN A DENSE AREA (A) AND IN A DISPERSED AREA (B) .....	140
FIGURE 3.7: SPATIAL AUTOCORRELATION OF DWELLING PRICES.....	142

## Liste des tableaux

TABLE 1.1: LITERATURE ESTIMATING ENERGY CONSUMPTION .....	39
TABLE 1.2: STATIC COMPARATIVE.....	50
TABLE 1.3: DESCRIPTION OF THE VARIABLES .....	57
TABLE 1.4: DESCRIPTIVE STATISTICS .....	60
TABLE 1.5: OLS ESTIMATES FOR ENERGY EXPENDITURE AND ENERGY CONSUMPTION .....	65
TABLE 1.6: ENERGY CONSUMPTION (KW/YEAR/M2) .....	68
TABLE 1.7: ENERGY EXPENDITURES (EUROS/YEAR/M2) .....	70
TABLE 2.1: STUDIES INCLUDED IN THE META-ANALYSIS.....	91
TABLE 2.2: DEPENDENT VARIABLE AND MODERATORS.....	93
TABLE 2.3: DESCRIPTIVE STATISTICS .....	94
TABLE 2.4: IDENTIFICATION OF PUBLICATION BIAS BY SEVERAL METHODS .....	99
TABLE 2.5 : META-REGRESSION OF THE BUILDING GREEN PREMIUM FOR DIFFERENT SPECIFICATION AND ROBUSTNESS VALUES .....	101
TABLE 2.6: META-REGRESSION ANALYSIS, ROBUSTNESS ANALYSIS (CONTINUE).....	102
TABLE 3.1: IMPLICIT PRICE OF HOUSING ATTRIBUTE IN DIFFERENT SPATIAL MODELS .....	129
TABLE 3.2: DWELLINGS DISTRIBUTIONS ACCORDING TO DPE.....	136
TABLE 3.3: VARIABLE DEFINITIONS .....	137
TABLE 3.4: DESCRIPTIVE STATISTICS FOR HOUSES SAMPLE .....	138
TABLE 3.5: DESCRIPTIVE STATISTICS FOR APARTMENTS SAMPLE .....	139
TABLE 3.6: DISTANCE BETWEEN CLOSEST OBSERVATIONS (K-NEAREST) .....	139
TABLE 3.7: SDM ESTIMATES FOR HOUSE MARKET.....	145
TABLE 3.8: THE HOUSE MARKET: SPATIAL MULTIPLIER EFFECTS AND IMPLICIT PRICES (TOTAL EFFECT).....	146
TABLE 3.9: SDM ESTIMATES FOR THE APARTMENT MARKET .....	149
TABLE 3.10: THE APARTMENT MARKET: SPATIAL MULTIPLIER EFFECTS AND IMPLICIT PRICES (TOTAL EFFECT) .....	150
TABLE 4.1: EVOLUTION DES RÉGLEMENTATIONS THERMIQUES (RT) .....	162
TABLE 4.2: DISPOSITIFS EXISTANTS DANS LE CADRE DE LA MAÎTRISE DE LA DEMANDE D'ÉNERGIE DU SECTEUR RÉSIDENTIEL .....	164
TABLE 4.3: DISTRIBUTION DES ÉTIQUETTES DPE .....	169
TABLE 4.4: DESCRIPTION DES VARIABLES .....	170
TABLE 4.5: STATISTIQUES DESCRIPTIVES (ÉCHANTILLON) .....	171
TABLE 4.6: RÉSULTATS DES RÉGRESSIONS LOGISTIQUES DES MODÈLES « LOGEMENTS VERTS » ET « LOGEMENTS ÉNERGIVORES ».....	174
TABLE 4.7: DISTRIBUTION DES ÉTIQUETTES ÉNERGÉTIQUES DPE SELON LA SURFACE DU LOGEMENT .....	175
TABLE 4.8: RÉSULTATS DE LA RÉGRESSION LOGISTIQUE ORDINALE POUR LE MODÈLE « ÉTIQUETTE ÉNERGÉTIQUE SUPÉRIEURE » .....	179

## Table des matières

Valeur verte et approches spatialisées de la maîtrise de la demande d'énergie .....	i
Remerciements.....	vii
Préambule.....	ix
<b>Introduction générale.....</b>	<b>13</b>
1. La maîtrise de la demande d'énergie .....	13
2. Concept et enjeux .....	15
2.1. Efficacité énergétique et services énergétiques.....	15
2.2. La valeur verte.....	16
2.2.1. Approche économique de la valeur verte.....	16
2.2.2. Conditions d'émergence de la valeur verte .....	17
2.2.3. La labellisation énergétique des logements .....	17
2.3. Enjeux .....	18
2.3.1. L'effet rebond.....	18
2.3.2. Choix de localisation et consommation d'énergie .....	19
2.3.3. La précarité énergétique.....	20
3. Promouvoir la valeur verte pour réduire les consommations d'énergie.....	21
3.1. Chapitre 1 : Energy management: interactions between choice of location, energy services and transport.....	21
3.2. Chapitre 2: Does the literature support a high willingness to pay for green label buildings? An answer with treatment of publication bias .....	23
3.3. Chapitre 3: Hedonic estimation of the green value of residential housing .....	25
3.4. Chapitre conclusif: De la valeur verte à la maîtrise de la demande d'énergie : l'enjeu de l'accessibilité aux logements verts.....	27
Bibliographie :.....	29
Annexe A :.....	32
<b>1. Chapitre 1: Energy management: interactions between the choice of location, energy services, and transport.....</b>	<b>33</b>
1.1 Introduction.....	35
1.2 Literature review and motivations.....	36
1.2.1 Energy services and choice of location .....	37
1.2.2 Determinants of energy demand.....	38
1.3 Choice of location and energy consumption model.....	42
1.3.1 Theoretical framework .....	42
1.3.2 Household spatial equilibrium and energy demand .....	46

1.4	Data and methods of estimation .....	55
1.4.1	Purpose of the empirical study.....	55
1.4.2	Sample and data.....	55
1.4.3	Estimation strategy.....	61
1.5	Results .....	62
1.5.1	OLS estimates of energy consumption and expenditures.....	62
1.5.2	Quantile regression .....	66
1.6	Conclusion.....	72
	Bibliography .....	<b>73</b>
	Appendix 1.A: Graphic results for energy consumption .....	79
	Appendix 1.B: Graphic results for energy expenditure .....	81
<b>2.</b>	<b>Chapitre 2: Does the literature support a high willingness to pay for green label buildings? An answer with treatment of publication bias .....</b>	<b>83</b>
2.1	Introduction.....	85
2.2	Data and processing method .....	87
2.2.1	Data collection and processing.....	88
2.2.2	Moderators .....	90
2.3	Methodology of estimation .....	90
2.3.1	Treatment of the dependence effect .....	92
2.3.2	Treatment of multicollinearity and outliers .....	94
2.3.3	Identification and correction of publication bias .....	94
2.4	Results .....	97
2.4.1	Estimation of effect size without moderators and impact of publication bias .....	97
2.4.2	Meta-regression with publication bias correction and moderators.....	99
2.5	Discussion and recommendations .....	103
2.5.1	Robustness and impact of the 2008 crisis.....	103
2.5.2	Recommendations for public policies and investors .....	105
2.5.3	Recommendations for future hedonic studies and new research avenues for meta-analysis	106
2.6	Conclusion.....	107
	Bibliography.....	108
	Meta-analysis bibliography.....	111
	Appendix 2.A: Description of the selection process of the studies for the meta-analysis .....	115
	Appendix 2.B: Changes in mean effect size as a function of the number of estimations included in the meta-analysis (decreasing precision).....	116

Appendix 2.C: Relationship between the share of our sample citing the study and the precision of the study.....	117
Appendix 2.D: Relationship between precision of the study and the SJR of the review publishing the study.....	118
<b>3. Chapitre 3: Hedonic estimation of the green value of residential housing .....</b>	<b>119</b>
3.1 Introduction.....	121
3.2 Green value estimation .....	122
3.2.1 Existing literature and motivations.....	122
3.2.2 Spatial hedonic evaluation.....	124
3.3 Study area and data.....	130
3.3.1 The urban area of Dijon (France).....	130
3.3.2 Data .....	132
.....	137
3.4 Spatial analysis.....	140
3.4.1 Neighborhood analysis and definition of spatial interaction patterns.....	140
3.4.2 Spatial autocorrelation of dwelling prices.....	142
3.4.3 Spatial hedonic model selection .....	143
3.5 Results and discussions.....	143
3.5.1 Houses .....	144
3.5.2 Apartments.....	148
3.6 Conclusion.....	151
Bibliography.....	153
<b>4. Chapitre 4 : De la valeur verte à la maîtrise de la demande d'énergie : l'enjeu de l'accessibilité aux logements verts .....</b>	<b>157</b>
4.1 Introduction.....	159
4.2 Valeur verte et politiques publiques de la maîtrise de la demande d'énergie.....	160
4.2.1 La maîtrise de la demande d'énergie.....	161
4.2.2 Résultats de la thèse et implications .....	165
4.3 Choix résidentiels et performance énergétique : cadre empirique.....	167
4.3.1 L'enjeu des choix résidentiels .....	167
4.3.2 Données.....	168
4.3.3 Stratégie d'estimation.....	172
4.4 Choix résidentiels des ménages et politiques publiques de la maîtrise de la demande d'énergie.....	172
4.4.1 Les déterminants des choix résidentiels dans le cas des logements verts .....	173

4.4.2	Les déterminants des choix résidentiels dans le cas des logements énergivores....	176
4.4.3	Les facteurs permettant de vivre dans un logement avec une meilleure performance énergétique .....	178
4.4.4	Conséquences pour les politiques d'incitations de la maîtrise de la demande d'énergie	180
4.5	Conclusion .....	181
	Bibliographie : .....	184
	<b>Liste des figures.....</b>	<b>187</b>
	<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>188</b>
	<b>Table des matières.....</b>	<b>189</b>
	<b>Résumé .....</b>	<b>193</b>
	<b>Abstract.....</b>	<b>193</b>

## **Résumé**

Les contraintes économiques et environnementales actuelles impliquent un besoin de maîtrise de la demande d'énergie du secteur résidentiel. Pour parvenir à cette fin, il est nécessaire d'identifier les déterminants de la consommation d'énergie des ménages puis de trouver des solutions pour réduire la demande d'énergie. Les travaux présentés dans la thèse portent sur le rôle des choix de localisation des ménages dans la formation de la demande d'énergie du secteur résidentiel et s'intéresse à la valeur verte comme outil de promotion des biens immobiliers énergétiquement efficaces. Le premier chapitre étudie les choix de localisation résidentielle et de consommation énergétique des ménages dans le cadre d'un modèle de microéconomie urbaine. Pour compléter cette analyse théorique, une approche empirique estimant la demande d'énergie des ménages est effectuée. Les chapitres 2 et 3 étudient la valeur verte et son rôle pour favoriser l'adoption de logements économes par les ménages. Une méta-analyse de la littérature estimant la valeur verte est tout d'abord effectuée dans le chapitre 2. Dans le chapitre 3, nous utilisons un modèle hédonique spatial pour estimer la valeur verte pour le secteur résidentiel sur l'aire urbaine de Dijon. Finalement, dans le chapitre conclusif nous nous intéressons aux choix résidentiels des ménages concernant l'efficacité énergétique de leur logement. Pour cela, nous estimons la probabilité des ménages à vivre dans un logement économe ou énergivore. Les résultats issus de cette étude empirique et de la thèse nous permettent de discuter la pertinence des politiques publiques déployées dans le cadre de la maîtrise de la demande d'énergie.

## **Abstract**

The current environmental and economic context implies a need to manage energy demand. In order to do this, understanding completely the determinants of energy demand is first required. Also, there is a need to find tools to reduce energy consumption. In this thesis, we are interested in the consequences of a household's choice of location on energy consumption and on the role of the green value to promote the adoption of energy-efficient buildings by households. The first chapter analyzes an urban microeconomic model of residential choice of location and energy consumption. In order to complete this theoretical analysis, we estimate the energy demand of the residential sector. The second and third chapters study the green value and its role in the promotion of green buildings. In chapter 2, we present a meta-analysis of the literature estimating the green value. In chapter 3, we use a spatial hedonic model to estimate the residential green value for the urban area of Dijon. Finally, in the last chapter, we study the residential choice of households concerning the energy performance of their dwelling. To do so, we estimate the probability of households to live in an energy-efficient building or not. The results of these estimates and the results of the previous chapters are then mobilized to discuss the efficiency of the public policy used for managing energy demand.