

**Economics School of Louvain – ESL  
Economics School of Namur - ESN**

# **Quels sont les effets du revenu sur la consommation énergétique résidentielle au niveau local ?**

Analyse empirique basée sur les communes  
wallonnes

Auteur : Louis Gigounon

Promoteur : Muriel Dejemepe

Recteur : Didier Lambert

Année académique 2023-2024

Master en Sciences économiques – 60 crédits



*Je tiens tout d'abord à remercier la professeure Muriel Dejemeppe, qui a supervisé l'élaboration de ce travail. Je la remercie pour ses conseils et ses remarques. Je voudrais également remercier mes parents, qui ont relu ce travail et m'ont permis de compléter ma formation de manière sereine.*

## ***TABLES DES MATIÈRES***

<b>1. Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Consommation énergétique résidentielle .....</b>	<b>2</b>
2.1. Contexte .....	2
2.2. Panorama en wallonie .....	3
<b>3. Revenu .....</b>	<b>8</b>
3.1. Contexte .....	8
3.2. Panorama en wallonie .....	9
<b>4. Lien entre Consommation énergétique résidentielle et Revenu .....</b>	<b>11</b>
4.1. Revue de la littérature .....	11
4.2. Analyse empirique .....	13
4.2.1 Objectif .....	13
4.2.2 Données .....	13
4.2.3 Variables .....	16
4.2.4 Statistique descriptive .....	17
4.2.5 Méthodes d'estimation .....	20
4.2.6 Resultats .....	23
<b>5. Conclusion et recul critique .....</b>	<b>28</b>
<b>6. Bibliographie .....</b>	<b>30</b>

## 1. INTRODUCTION

En tenant compte du réchauffement climatique actuel et de la crise énergétique que nous avons traversée, la transition énergétique est un enjeu qui concerne l'ensemble de la société. Cependant, cette transition se heurte à des problématiques sociales, notamment parce que les ménages à revenu plus bas sont plus vulnérables aux changements qui en résultent. C'est pourquoi il est crucial de ne pas opposer les dimensions environnementales et sociales, mais plutôt de comprendre comment elles interagissent (Lormeteau, 2021).

Dans le secteur de la consommation énergétique résidentielle, de nombreuses mesures sont prises afin de réduire la consommation énergétique, mais elles sont parfois appliquées de manière uniforme, indépendamment du niveau de revenu. La compréhension du lien entre revenu et consommation énergétique permet de guider des politiques qui ne renforcent pas les inégalités sociales existantes ni ne créent de nouvelles vulnérabilités (Quirion, 2022).

Nous comptons donc essayer de comprendre ce lien à travers un travail structuré en trois parties principales. Nous introduirons chaque section en nous appuyant sur la littérature existante, puis nous approfondirons notre analyse au niveau des communes wallonnes. Dans la première partie, nous aborderons la consommation énergétique résidentielle. Nous commencerons par contextualiser cette notion en explorant les facteurs qui influencent cette consommation et en soulignant son importance dans l'empreinte carbone des ménages. Par la suite, nous dresserons un panorama de la consommation énergétique résidentielle en Wallonie.

Dans la seconde partie, nous examinerons la notion de revenu, en particulier dans le contexte des dépenses énergétiques. Nous établirons un panorama des disparités de revenu spécifique à la Wallonie, car cela est essentiel pour comprendre le lien entre revenu et consommation énergétique.

Dans la dernière partie, nous nous pencherons sur le lien entre la consommation énergétique résidentielle et le revenu. Nous commencerons par passer en revue la littérature qui a étudié ce lien d'un point de vue théorique et empirique, en nous intéressant particulièrement à l'effet attendu du revenu sur la consommation énergétique résidentielle et aux différentes méthodes pour le mesurer. Ensuite, nous construirons notre propre modèle en exposant nos objectifs, hypothèses, données et variables utilisées, ainsi qu'en présentant les résultats obtenus.

## 2. CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE RÉSIDENIELLE

### 2.1. CONTEXTE

L'énergie résidentielle est principalement utilisée pour la production de chaleur. En effet, si nous nous basons sur les chiffres de la Wallonie, le chauffage (chauffage d'appoint compris) représente l'usage le plus important (75 %) de la consommation énergétique résidentielle. Le chauffage de l'eau sanitaire compte pour 11 %, la cuisson pour 2 %, le solde restant étant essentiellement consommé par les différentes applications spécifiques de l'électricité : éclairage, électroménager, etc. (SPW, 2022)

Ce sont donc avant tout les caractéristiques du logement (type, taille, confort, équipement, ancienneté) qui déterminent le niveau de consommation des ménages (Haas, 1997). Ainsi, en moyenne, une maison "quatre façades" entraîne une consommation d'énergie plus élevée que celle d'un appartement, tandis que les ménages habitant un petit logement consomment en moyenne moins que ceux habitant un grand logement (SPW, 2022). Abdallah et al. (2011) mettent aussi en avant le type de logement comme principal déterminant de la consommation liée au logement. Lévy et al. (2014) ainsi que Pottier et al. (2020) pointent d'ailleurs de fortes différences d'émissions entre les zones urbaines et rurales. Les conditions climatiques sont également un facteur essentiel de la consommation d'énergie du secteur résidentiel, celui-ci consacrant la majeure partie de ses besoins énergétiques au chauffage des bâtiments (Pottier et al., 2020 ; SPW, 2022). Haas (1997) souligne aussi l'importance du prix de l'énergie dans la consommation des ménages.

Haas (1997), Le Quéré et al. (2018), et Pottier et al. (2020) montrent aussi l'importance de l'efficacité énergétique via l'amélioration des qualités énergétiques du logement et de ses équipements. Le SPW (2022) chiffre aussi que la consommation du secteur résidentiel était en 2019 supérieure de 2,9 % à son niveau de 1990, pour un parc de logements qui a augmenté de 20 % dans le même temps. Ces chiffres confirment la thèse de Schipper & Grubb (2000) qui ont examiné les preuves empiriques d'un "effet rebond" de la demande énergétique en réponse aux améliorations de l'efficacité énergétique. L'effet rebond est un phénomène selon lequel les gains d'efficacité énergétique entraîneraient une augmentation de la consommation d'énergie au lieu de la diminution attendue. Pour Schipper & Grubb (2000), l'effet rebond n'existe pas et les économies d'énergie conduisent à une utilisation moindre de l'énergie.

Certains auteurs (Druckman & Jackson, 2008 ; Liu et al., 2016 ; Pottier et al., 2020 ; SPW, 2022) pointent également le revenu comme un déterminant de la consommation énergétique résidentielle. Nous y reviendrons dans la dernière partie de ce travail.

Après avoir analysé comment était consommée l'énergie résidentielle, nous allons montrer son impact au niveau des émissions carbone. La consommation d'énergie résidentielle est traitée dans le cadre du secteur des bâtiments dans le rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)<sup>1</sup>. Ce secteur des bâtiments résidentiels (hors électricité, qui est considérée comme une émission indirecte) représente 5,6 % des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial (IPCC, 2023).

Au niveau de la Wallonie, Le Quéré et al. (2018) ont estimé que le secteur résidentiel (hors électricité) représentait 15 % des émissions totales wallonnes en 2016. Le résidentiel est le troisième secteur le plus émetteur d'émissions derrière l'industrie (30 %) et le transport (25 %), mais devant l'agriculture (13 %). Ces émissions totales wallonnes s'élevaient à 36,1 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>-équivalent<sup>2</sup>, ce qui revient à 10 tonnes de CO<sub>2</sub>-éq. /habitant.

À l'échelle belge, Le Quéré et al. (2018) estiment que la consommation de l'énergie dans les bâtiments résidentiels représente environ 13,5 % de l'empreinte carbone moyenne. Le chauffage représente 10,5 % de ces 13,5%, tandis que les autres usages de l'énergie dans l'habitation représentent seulement 3 %. Le résidentiel est le quatrième poste le plus important de l'empreinte carbone moyenne d'un Belge, derrière le transport des personnes (18 %), les loisirs (14 %) et l'alimentation (14 %) (Le Quéré et al., 2018).

## **2.2. PANORAMA EN WALLONIE**

Après avoir analysé les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur à différentes échelles, nous allons maintenant dresser une analyse détaillée de la consommation énergétique des communes en Wallonie. Nous allons nous focaliser sur la répartition de la consommation entre différents secteurs et vecteurs énergétiques pour l'année 2019, ainsi que l'évolution de cette consommation et répartition au fil des années en se basant sur les données de Walsat (2024).

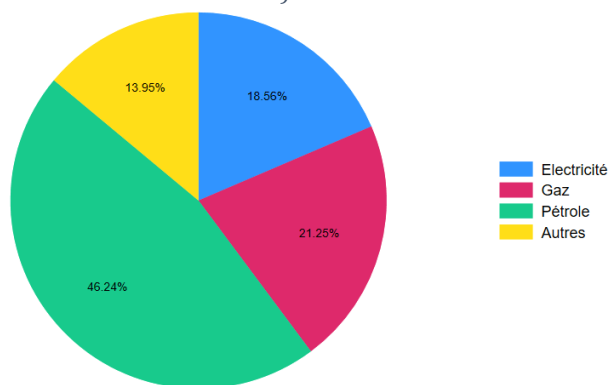
---

<sup>1</sup> Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC)

<sup>2</sup> En ne prenant pas en compte les émissions du secteur forestier

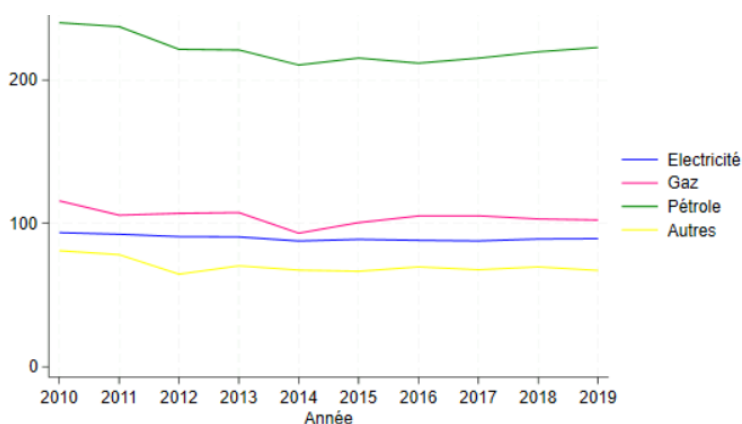
La *figure 2.1* illustre les sources d'énergie utilisées pour la consommation moyenne des communes (481 GWh) en 2019. Les produits pétroliers, représentés en vert, alimentent presque la moitié de la consommation énergétique totale (46%). Le gaz naturel, en rose, est une autre source majeure de consommation avec 21%. L'électricité, en bleu, est également une source importante avec 18% de la consommation totale d'énergie, alors que les autres vecteurs énergétiques représentent 14%.

*Figure 2.1 : Répartition de la consommation moyenne des communes entre les différents vecteurs en 2019 (Walstat, 2024)*



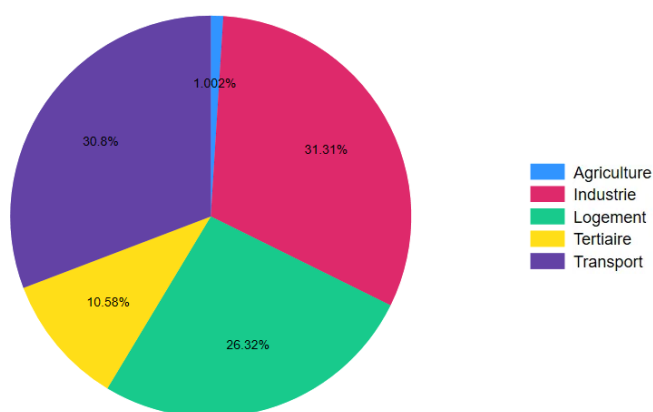
La *figure 2.2* présente l'évolution de la consommation énergétique moyenne des communes, mesurée en gigawattheures (GWh), pour ces différentes sources d'énergie de 2010 à 2019. Le graphique montre que l'usage du pétrole est resté relativement stable autour de 220 GWh. La consommation de gaz a connu quelques fluctuations, mais est restée à un niveau constant au-delà de 100 GWh. La consommation d'électricité a légèrement diminué au cours de la période pour arriver sous les 90 GWh, tandis que les autres sources d'énergie sont restées constamment sous ce seuil.

*Figure 2.2 : Évolution de la consommation moyenne (GWh) des communes entre les différents vecteurs entre 2010 et 2019 (Walstat, 2024)*



La *figure 2.3* illustre la répartition de la consommation énergétique moyenne des communes wallonnes (481 GWh) entre différents secteurs pour l'année 2019. Le secteur industriel, représenté en rose, constitue une part importante de la consommation énergétique (31%). Les transports, en violet, utilisent également une part notable de l'énergie avec 31% également de la consommation totale. Les logements, indiqués en vert, sont une autre composante significative de la consommation avec 26%. Le secteur tertiaire, en jaune, contribue également de manière notable mais moindre (11%) par rapport aux trois plus gros secteurs : l'industrie, le logement et le transport. Enfin, le secteur agricole, en bleu, ne représente qu'une petite part de la consommation énergétique globale (1%).

*Figure 2.3 : Répartition de la consommation moyenne des communes entre les différents secteurs en 2019 (Walstat, 2024)*



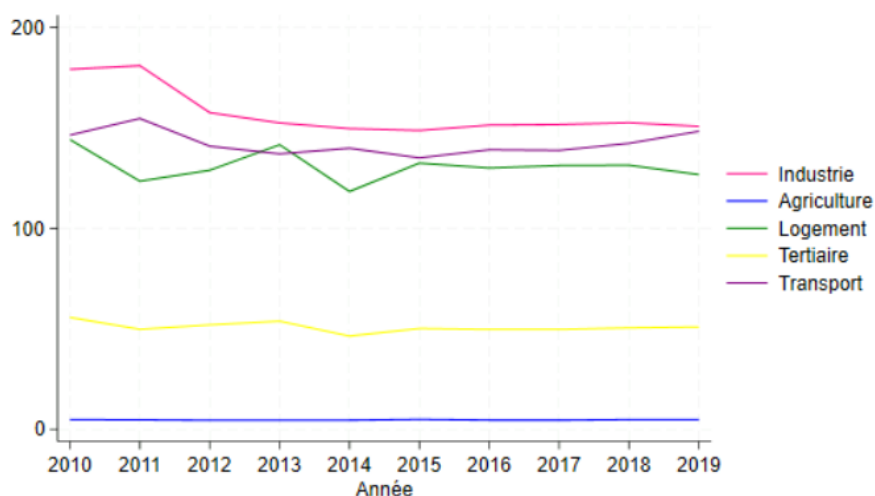
Nous remarquons que l'ordre de contribution des secteurs à la consommation totale est similaire à leur ordre de contribution aux émissions totales<sup>3</sup>, nous pouvons donc supposer qu'il n'y a pas une grande disparité dans les sources d'énergie utilisées entre les différents secteurs. En effet, certaines sources d'énergie émettent moins d'émissions que d'autres. Par exemple, l'électricité produite par les centrales nucléaires (0,006 kg) émet beaucoup moins de CO<sub>2</sub> par kWh que le gaz naturel (0,243 kg) et le pétrole (0,27 kg) (ADEME, 2021).

La *figure 2.4* montre l'évolution de la consommation énergétique moyenne des communes, mesurée en gigawattheures (GWh), par secteur de 2010 à 2019. La consommation dans l'industrie a diminué légèrement début 2012 mais reste relativement stable autour de 150 GWh au cours des dernières années. La consommation dans le secteur des transports a connu des variations mais reste globalement stable autour de 140 GWh avec une légère tendance à la hausse à partir de

<sup>3</sup> Excepté pour l'agriculture

2018. La consommation énergétique dans les logements est la plus volatile à travers les années avec une forte augmentation en 2013 pour atteindre 140 GWh et une forte diminution en 2014 pour revenir à 120 GWh mais reste relativement stable autour de 130 GWh. La consommation énergétique du secteur tertiaire est stable avec une très légère baisse en 2014 mais reste autour de 50 GWh. Enfin, le secteur agricole montre la plus faible consommation et reste autour de 4 GWh tout au long de la période.

Figure 2.4 : Évolution de la consommation moyenne (GWh) des communes entre les différents secteurs de 2010 à 2019 (Walstat, 2024)



Sur base des données Walstat (2024) dont nous disposons, nous remarquons (figure 2.5) que la consommation énergétique résidentielle est haute pour les grandes communes alors qu'elle est plus basse pour les plus petites. Les grandes communes urbaines comme Charleroi et Liège ont une consommation d'énergie totale élevée, tandis que les petites communes rurales comme Martelange et Daverdisse ont une consommation d'énergie totale plus faible.

Figure 2.5 : Top 10 des communes avec la consommation d'énergie résidentielle (GWh) la plus élevée (gauche) et plus faible (droite) en 2019 (Walstat, 2024)

RANG	COMMUNE	CONSUMMATION D'ÉNERGIE (GWH)	RANG	COMMUNE	CONSUMMATION D'ÉNERGIE (GWH)
1	Charleroi	1799,6	1	Martelange	22,1
2	Liège	1553,9	2	Daverdisse	22,9
3	Namur	874,8	3	Wasseiges	23,9
4	Mons	874,5	4	Rouvroy	25,3
5	La Louvière	684,5	5	Herbeumont	26,0
6	Tournai	659,5	6	Tinlot	27,7
7	Verviers	552,1	7	Fauvillers	28,0
8	Seraing	479,8	8	Crisnée	28,2
9	Mouscron	428,0	9	Berloz	28,4
10	Binche	333,8	10	Lincet	28,4

Cependant, lorsque nous examinons la consommation d'énergie par habitant dans la *figure 2.6*, nous constatons que le classement est presque inversé. Des communes rurales comme Vresse-sur-Semois et Rendeux ont une consommation d'énergie par habitant plus élevée, tandis que des communes plus urbaines comme Mouscron et Tubize ont une consommation d'énergie par habitant plus faible. Cela suggère que la consommation d'énergie par habitant est plutôt inversement proportionnelle à la taille de la commune. Cela confirme le constat de Lévy et al. (2014) et Pottier et al. (2020) qui pointent une plus grande consommation dans les zones rurales que dans les zones urbaines notamment car les maisons 4 façades y sont plus nombreuses (Abdallah et al., 2011).

*Figure 2.6 : Top 10 des communes avec la consommation d'énergie résidentielle par habitant (kWh) la plus élevée (gauche) et plus faible (droite) en 2019 (Walstat, 2024)*

<b>RANG</b>	<b>COMMUNE</b>	<b>CONSOMMATION D'ÉNERGIE (KWH)</b>	<b>RANG</b>	<b>COMMUNE</b>	<b>CONSOMMATION D'ÉNERGIE (KWH)</b>
<b>1</b>	Vresse-sur-Semois	24 470	<b>1</b>	Mouscron	8 530
<b>2</b>	Rendeux	20 520	<b>2</b>	Tubize	8 560
<b>3</b>	Herbeumont	19 510	<b>3</b>	Wavre	8 660
<b>4</b>	La Roche-en-Ardenne	19 320	<b>4</b>	Mont-Saint-Guibert	8 780
<b>5</b>	Stoumont	19 010	<b>5</b>	Dison	8 810
<b>6</b>	Gedinne	18 880	<b>6</b>	Braine-l'Alleud	8 840
<b>7</b>	Daverdisse	18 600	<b>7</b>	Chastre	8 850
<b>8</b>	Érezée	18 480	<b>8</b>	Herstal	9 020
<b>9</b>	Manhay	17 210	<b>9</b>	Gembloux	9 110
<b>10</b>	Bièvre	17 100	<b>10</b>	Court-Saint-Étienne	9 110

## 3. REVENU

### 3.1. CONTEXTE

Le revenu dont nous parlons dans ce travail est le revenu total net imposable, car il est calculé sur la base des déclarations à l'impôt des personnes physiques. Le revenu net imposable par déclaration reprend l'ensemble des revenus pris en compte par les déclarations moins les dépenses déductibles. C'est sur ce revenu que l'administration fiscale applique le barème progressif pour déterminer le montant de l'impôt dû par le contribuable. Le revenu total net imposable se compose de tous les revenus professionnels nets, revenus immobiliers nets, revenus mobiliers nets et revenus divers nets (Walstat, 2024).

Jamasb & Meier (2010) montrent que le revenu a un effet significativement positif sur la facture énergétique. Statbel<sup>4</sup> (2010) montre également, par une enquête sur le budget des ménages (BDM), que le montant de la facture énergétique augmente avec le revenu. Cependant, la part des revenus consacrés à des dépenses énergétiques diminue avec l'augmentation du revenu (Statbel, 2010). En effet, les services énergétiques peuvent être considérés comme un bien de première nécessité, ce qui implique une élasticité-revenu supérieure à zéro et inférieure à 1 (Jamasb & Meier, 2010). Les plus pauvres sont donc plus impactés par des modifications sur le marché de l'énergie que les plus riches.

Le montant de la facture énergétique n'est donc pas linéaire avec celui du revenu et nous pouvons expliquer ce constat notamment par une augmentation moins rapide de la facture d'énergie par rapport au revenu. Cela peut être dû à un effet quantité (diminution de la croissance de consommation) ou à un effet prix (diminution de la croissance du coût de la consommation). La diminution de la consommation peut être due à une diminution des besoins ou à une augmentation de l'efficacité énergétique, tandis que la diminution du coût de la consommation peut être due à la capacité de se diriger vers des sources d'énergie moins chères.

Pottier et al. (2020) ont montré que l'efficacité énergétique, à énergie dépensée par m<sup>2</sup> pour le chauffage, n'était pas spécialement plus importante chez les plus hauts revenus en France. Les sources d'énergie sont également similaires au sein de chaque décile de revenu (Pottier et al., 2020). Ils montrent cependant que les besoins énergétiques sont plus grands chez les plus riches,

---

<sup>4</sup> Anciennement Direction générale Statistique et Information économique (DGSIE)

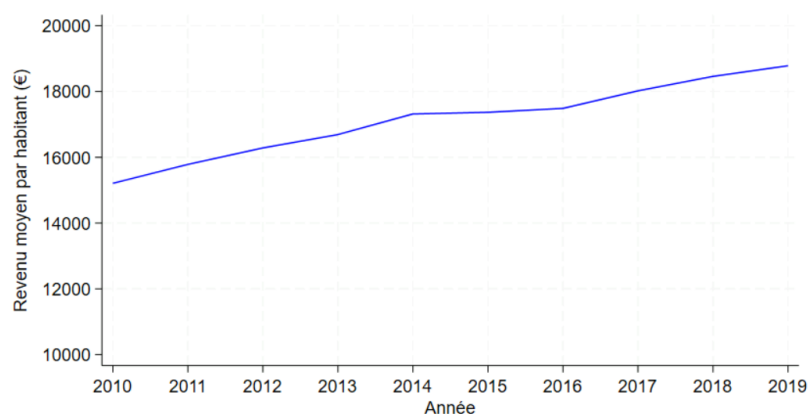
avec une plus grande surface à chauffer en moyenne, mais plafonnent à un certain moment. Les plus riches ne voient donc pas leur facture d'énergie décroître rapidement grâce à des investissements d'isolation ou des contrats beaucoup plus avantageux. Le fait que le montant de la facture énergétique n'est pas linéaire avec celui du revenu s'explique donc plus par une augmentation plus rapide du revenu par rapport à la facture énergétique que par une augmentation moins rapide de la facture d'énergie par rapport au revenu.

### 3.2. PANORAMA EN WALLONIE

Nous allons maintenant dresser une analyse détaillée du revenu par habitant des communes en Wallonie, en nous focalisant sur la répartition du revenu entre les différentes communes pour l'année 2019, ainsi que l'évolution du revenu au fil des années en nous basant sur les données de Walsat (2024).

La *figure 3.1* illustre une tendance à la hausse du revenu moyen par habitant des communes en Wallonie de 2010 à 2019. Cette augmentation régulière du revenu moyen, qui varie de 15 000 en 2010 à presque 19 000€ en 2019 diffère de la stabilité de la consommation énergétique observée *aux figures 2.2 et 2.4*

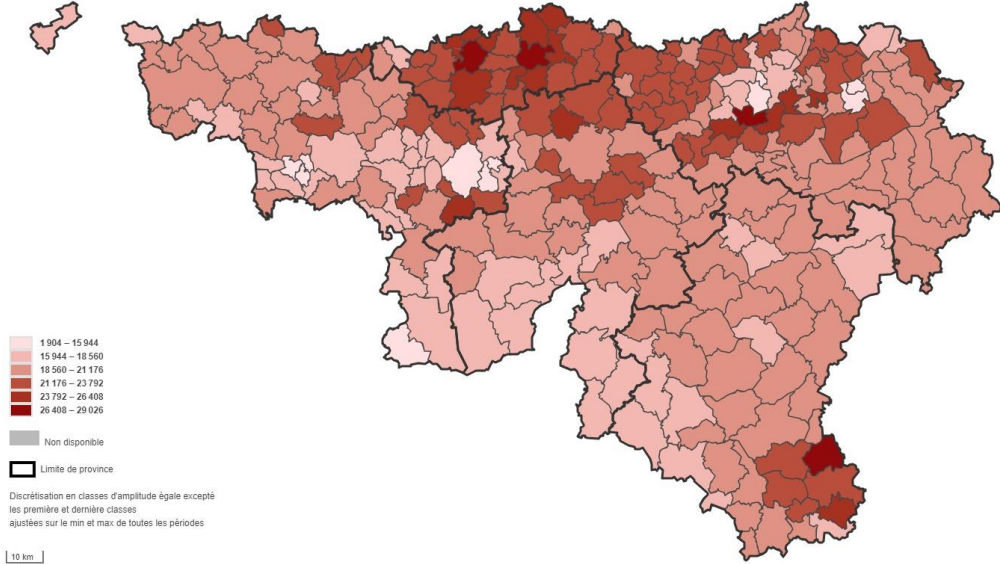
Figure 3.1 : Évolution du revenu par habitant (€) moyen des communes entre 2010 et 2019 (Walstat, 2024)



Lorsque nous observons la carte du revenu moyen par habitant en Wallonie (*figure 3.2*), nous voyons clairement quelques clusters se dessiner. Cet indicateur est beaucoup plus élevé dans la province du Brabant-Wallon et dans le sud-est de la province du Luxembourg que dans la province du Hainaut ou le sud de la province de Namur. Par exemple, le revenu moyen par habitant de la commune la plus riche (Lasne, 26 687€) est 1,5 fois supérieur à celui de la moyenne des

communes wallonnes (17 150€) et presque 3 fois supérieur à celui de la commune la plus pauvre (Dison, 12 623€).

Figure 3.2 : Carte du revenu moyen par habitant (€) en Wallonie en 2019 (Walstat, 2024)



## **4. LIEN ENTRE CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE RÉSIDEN­TIELLE ET RE­VENU**

### **4.1. REVUE DE LA LITTÉRATURE**

En parcourant la littérature scientifique, nous avons remarqué qu'il existe de nombreuses méthodes différentes pour mesurer l'effet du revenu sur la consommation énergétique résidentielle, et que les résultats peuvent varier en fonction de la méthode et de l'unité statistique utilisé.

De nombreuses études utilisent un modèle linéaire avec trend qui utilise le PIB comme variable explicative d'intérêt et le prix de l'électricité comme variable de contrôle. Ces études, menées au niveau des pays développés, montrent une élasticité du revenu sur la consommation énergétique résidentielle entre 0,5 et 1 (Brenkert et al., 2004 ; Paltsev et al., 2005 ; Webster et al., 2008). Liu et al. (2016) ont également montré que la consommation électrique résidentielle augmentait proportionnellement (0,996) avec le revenu, à travers une expérimentation au niveau des provinces chinoises. Liu et al. (2016) ont utilisé un modèle linéaire par morceaux <sup>5</sup> à effet fixe, en utilisant le PIB comme variable explicative d'intérêt mais sans variables de contrôle.

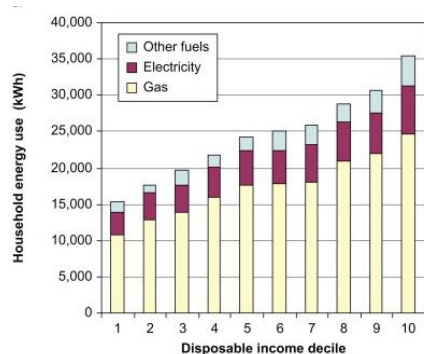
Cependant, d'autres études n'ont pas permis d'établir un effet aussi clair entre le revenu et la consommation énergétique résidentielle. Ces études ont utilisé un panel de ménages et ont modélisé la demande énergétique en fonction du revenu mais aussi de nombreuses autres variables de contrôle, comme la surface du ménage, le fait d'être propriétaire, les équipements de chauffage et de refroidissement du ménage, etc. Alberini et al. (2011) ont trouvé une élasticité du revenu non significative sur la consommation résidentielle de gaz et d'électricité avec un panel de ménages américains. Un constat similaire a été dressé par Rehdanz (2007) ainsi que par Meier et Rehdanz (2010), qui ont examiné les dépenses de chauffage résidentiel respectivement en Allemagne et au Royaume-Uni.

Il existe aussi de nombreuses études qui se basent sur des données d'enquête des ménages et qui montrent graphiquement, sur une année, la consommation moyenne par décile de niveau de vie. C'est le cas de Druckman & Jackson (2008) qui ont montré une relation linéaire entre les tranches de revenu et la consommation d'énergie résidentielle en Grande-Bretagne (figure 4.1).

---

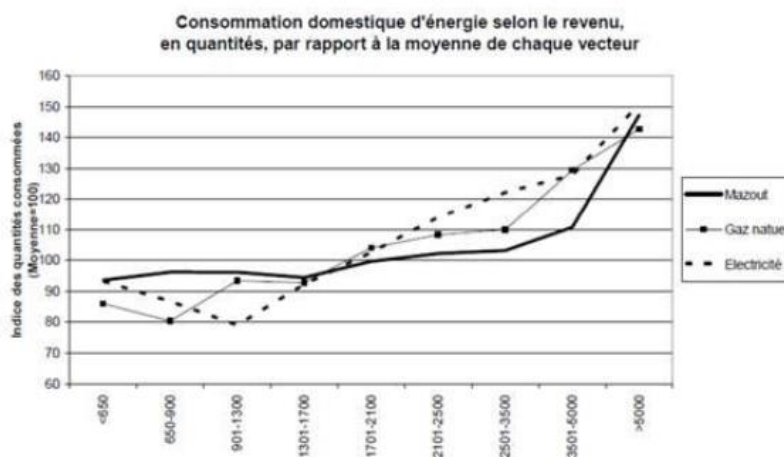
<sup>5</sup> piecewise linear model

Figure 4.1 : Consommation énergétique résidentielle (kWh) moyenne selon le décile de revenu (€) en 2007 (Druckman & Jackson, 2008)



En Belgique, les seules études qui étudient le lien entre consommation énergétique résidentielle et revenu le sont via cette méthode. Statbel (2010) montre que le revenu a un impact sur consommation d'énergie domestique car nous observons une relation linéaire entre les tranches de revenu et la consommation d'énergie résidentielle. Le lien est principalement visible pour la tranche la plus aisée de la population qui consomme beaucoup plus d'énergie que les autres (figure 4.2).

Figure 4.2 : Consommation d'énergie résidentielle moyenne par vecteur selon le décile de revenu (€) en 2009 (Statbel, 2010)



Cependant, Pottier et al. (2020) mettent en évidence la limite de cette méthode, en démontrant qu'il pouvait exister une forte variabilité au sein de chaque décile de revenu en prenant en compte seulement la moyenne de consommation. Selon Pottier et al. (2020), la variabilité de la consommation énergétique résidentielle est davantage influencée par d'autres facteurs que le

revenu, comme le tissu urbain dans lequel se situe le logement. Nous pensons donc qu'il serait pertinent d'analyser l'effet entre le revenu et la consommation d'énergie résidentielle en Belgique, et plus précisément en Wallonie, de manière plus rigoureuse via un modèle empirique et des données de panel au niveau des communes. Nous utiliserons ainsi une méthode à mi-chemin entre le modèle sans variables de contrôle avec le panel des provinces de Liu et al. (2016), et le modèle avec de nombreuses variables de contrôle ainsi qu'un panel de ménages de Meier et Rehdanz (2010) et Alberini et al. (2011).

## **4.2. ANALYSE EMPIRIQUE**

### **4.2.1 OBJECTIF**

Étant donné que la construction d'un modèle empirique est le cœur de ce mémoire, nous allons commencer par essayer de comprendre les défis que représente l'étude empirique du lien causal entre le revenu et la consommation d'énergie résidentielle. D'abord, il existe de nombreuses autres variables qui peuvent influencer la consommation d'énergie indépendamment du revenu des ménages, ce qui rend difficile l'isolation de l'effet causal du revenu. Ensuite, la collecte de données longitudinales fiables sur le revenu et la consommation d'énergie est complexe et coûteuse, mais nécessaire pour établir une relation causale (Liu et al., 2016). Néanmoins, nous pensons modestement pouvoir contourner au moins en partie ces difficultés afin de déterminer l'effet du revenu sur la consommation énergétique résidentielle au niveau communal.

### **4.2.2 DONNÉES**

Nous utiliserons dans ce travail des données au niveau communal provenant de Walstat qui est le portail d'informations statistiques locales sur la Wallonie. Il est géré par l'IWEPS qui est un institut scientifique public créé en 2003. Voici quelques explications sur la méthodologie utilisée par cet institut pour les différentes variables que nous pourrions utiliser dans notre modèle :

#### **Consommation énergétique résidentielle par habitant (kWh)**

Le besoin énergétique résidentielle théorique de chaque commune est calculée en multipliant la somme des bâtiments par leurs consommations spécifiques définies par la base de données de la PEB (performance énergétique des bâtiments). En fonction du type de logement (appartement/maisons 2, 3 ou 4 façades), de l'âge, du type d'environnement de la commune (urbain, semi-rural, rural), raccordé ou non au réseau de distribution de gaz naturel, une consommation énergétique théorique est définie. Nous divisons ensuite cet indicateur Walstat de

la consommation énergétique résidentielle (GWh) par le nombre d'habitants de chaque commune<sup>6</sup>.

Il est à noter que cette approche théorique peut affecter les résultats en ne reflétant pas précisément la consommation réelle. Cependant, la méthode utilisée se base sur une modélisation relativement élaborée et tient compte de l'évolution des spécificités communales. Au fur et à mesure de l'augmentation du nombre de bâtiments dans la base de données, les incertitudes seront réduites. Nous allons d'ailleurs développer plus en profondeur les données et la méthodologie utilisée par Simus & Orsini (2020) pour calculer cette consommation théorique par commune. Ils se basent sur quatre sources de données : le cadastre du bâti par commune en cartographie (propriétés foncières et bâtiments situés sur la commune), les données de ce cadastre par commune (propriétaires, utilisation, etc.), la base de données de la PEB (besoin énergétique des bâtiments résidentiels et tertiaires) et les degrés-jour normaux par commune fournis par la station IRM<sup>7</sup>.

Sur base de ces données, Simus & Orsini (2020) ont construit une méthodologie qui permet de trouver la consommation énergétique pour la somme des logements de la commune, sans distinction du type de logement ou de l'usage mais en tenant compte des constructions et rénovations. Le calcul de la consommation va être différent pour chaque usage :

- *Chauffage et Eau Chaude Sanitaire (ECS)* : C'est cet usage qui représente l'immense majorité de la consommation énergétique du logement. Pour le *Chauffage*, Simus & Orsini (2020) classent sur base du cadastre tous les logements de la commune en fonction de leur type (appartements, maisons 2, 3, ou 4 façades) et de leur classe d'âge. Ils multiplient ensuite les consommations spécifiques de la PEB par les catégories du cadastre communal (type et âge), on obtient alors un besoin énergétique théorique total par commune. Pour l'*Eau Chaude Sanitaire (ECS)*, la méthodologie est la même sauf qu'ils ne prennent pas en compte la classe d'âge des logements. Ensuite, ce besoin énergétique global est traduit pour chaque commune en consommation grâce à la répartition des vecteurs énergétiques dans la commune (gaz naturel, fioul, électricité) fournie par la PEB. La clé de répartition des vecteurs est appliquée aux besoins énergétiques de chaque type de bâtiment au sein de la commune, cela permet d'attribuer les différents types d'énergie (et de consommations qui y sont liés) aux besoins des bâtiments.

---

<sup>6</sup> Chiffre provenant également de Walstat, qui reprend la population totale au 1er janvier

<sup>7</sup> Institut royal météorologique de Belgique

- *Cuisson* : Simus & Orsini (2020) se basent sur le chiffre de la consommation de *cuisson* par combustible au niveau régional qu'ils répartissent ensuite au prorata de la consommation totale de *Chauffage et Eau Chaude Sanitaire (ECS)* par commune. Si une commune représentait 1% de la consommation totale wallonne de *Chauffage et Eau Chaude Sanitaire*, Simus & Orsini (2020) font l'hypothèse qu'on peut lui attribuer 1% de la consommation totale wallonne de *cuisson* par combustible. Pour la consommation de *cuisson* par électricité, nous déduisons la moyenne de consommation de *cuisson* par combustible de la moyenne réelle de consommation régionale de la *cuisson* et nous multiplions ensuite ce solde par le nombre de logements.
- *Chauffage d'appoint* : Simus & Orsini (2020) divisent la consommation de *chauffages d'appoint* au charbon et au bois au niveau régional au prorata de la consommation totale de *Chauffage et Eau Chaude Sanitaire (ECS)* par commune. Par ailleurs, ils divisent la consommation de *chauffages d'appoint* à l'électricité au niveau régional de manière uniforme entre tous les logements.
- *Electricité spécifique (hors chauffage, ECS, cuisson, appoint)* : Simus & Orsini (2020) divisent cette consommation pour 50% sur base du nombre d'habitants et 50% sur base du niveau de revenu communal. Simus & Orsini (2020) identifient donc un lien entre la *consommation d'électricité spécifique* et le revenu.

### **Revenu moyen par habitant (€)**

Il est calculé sur la base des déclarations à l'impôt des personnes physiques et donc du revenu total net imposable. Certains revenus sont mal ou pas pris en compte parce qu'ils sont partiellement, forfaitairement ou pas déclarés (revenus d'intégration qui ne sont pas imposables, revenu du patrimoine).

### **Part de la population de plus de 65 ans (%)**

Elle est calculée sur base de la population totale.

### **Densité de la population (hab./km<sup>2</sup>)**

C'est le rapport entre la population d'une commune et sa superficie.

### 4.2.3 VARIABLES

En parcourant la littérature (Haas, 1997 ; Jamasb & Meier, 2010 ; Lévy et al., 2014 Le Quéré et al., 2018 ; Pottier et al., 2020), nous avons identifié différentes variables de contrôle souvent utilisées pour essayer d'isoler l'effet du revenu sur la consommation résidentielle :

- **Part de la population de plus de 65 ans** : Cette variable constitue un bon indicateur des besoins énergétiques. En effet, les retraités ont tendance à passer plus de temps à domicile que les travailleurs qui se rendent quotidiennement sur leur lieu de travail (Abdallah et al., 2011). Cependant, nous sommes conscients que cette tendance a été atténuée ces dernières années avec l'expansion du télétravail.
- **Densité de la population** : Cette variable reflète le taux d'urbanisation de la commune, qui a un impact significatif sur la consommation énergétique par habitant (Jamasb & Meier, 2010).
- **Efficacité Énergétique** : Cette variable évalue la performance énergétique des bâtiments, notamment leur capacité à conserver la chaleur en hiver et à maintenir la fraîcheur en été. Elle dépend de facteurs tels que l'isolation, les matériaux de construction ou les équipements de chauffage (SPW, 2022).

Nous avons dès lors décider de tester avec notre jeu de données si ces variables pouvaient être pertinentes à ajouter dans notre modèle. D'abord, la variable de l'efficacité énergétique n'était pas disponible au niveau communal. Ensuite, nous avons étudié si les variables de la part des plus de 65 ans et de densité de la population avaient une corrélation avec la variable du revenu par habitant. Nous obtenons une corrélation négative modérée pour la densité (-0,248) et une corrélation très faible pour la part de plus de 65 ans (0,051). En ce qui concerne la variation au cours du temps de ces deux variables, la part des plus de 65 ans augmente en moyenne de 0,26 point de pourcentage par an (variation approximative de 1%) avec un écart-type de 0,10 point de pourcentage et la densité augmente en moyenne de 1.34 habitant par kilomètre carré par an (variation approximative de 0,4%) avec un écart-type de 0.5 habitant par kilomètre carré. Bien que nous ne prévoyions pas que ces variables changent significativement nos résultats avec des méthodes à effets fixes, nous testerons des modèles incluant ces variables pour voir si elles influencent l'effet de la variable explicative principale.

De plus, nous avons également remarqué qu'il pouvait être intéressant d'ajouter des variable explicative d'intérêt retardée d'un an et de deux ans au sein de notre modèle. Cela permet de capturer les changements retardés de consommation énergétique en réponse au changement de revenu (Friedman, 2018). Nous avons également décidé d'appliquer des logarithmes à nos variables numériques afin de simplifier l'analyse des résultats.

#### 4.2.4 STATISTIQUE DESCRIPTIVE

Nous avons tout d'abord utilisé les écarts-types dans notre jeu de données pour identifier et exclure les observations présentant des valeurs extrêmes. En ce qui concerne la consommation énergétique par habitant, nous avons exclu les communes rurales de Herbeumont, Rendeux et La Roche et nous avons exclu la commune de Lasne en ce qui concerne le revenu. Notre jeu de données est alors passé de 262 à 258 communes.

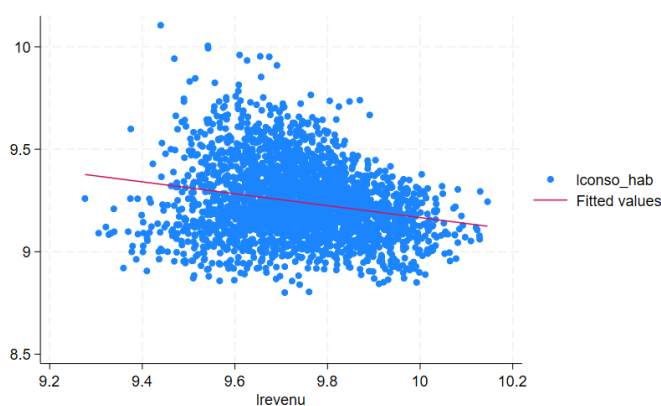
Avant la suppression, la consommation par habitant moyenne des communes était de 10 568 kWh, avec un écart-type de 2 125 kWh, et les valeurs variaient entre 6 638 kWh et 24 466 kWh. Après la suppression, la moyenne de consommation reste similaire à 10 500 kWh, mais l'écart-type diminue à 2 036 kWh, indiquant une réduction de la variabilité des données. De même, le revenu moyen des communes avant la suppression était de 17 150 €, avec un écart-type de 2 411 €, et des valeurs allant de 10 680 € à 27 780 €. Après la suppression des valeurs extrêmes, le revenu moyen devient légèrement inférieur à 17 141 €, et l'écart-type réduit à 2 371 €, avec une diminution du maximum à 25 480 €. Ces ajustements montrent que la suppression des valeurs extrêmes a légèrement affiné les estimations et réduit la dispersion des données, rendant les statistiques plus robustes et représentatives des tendances générales.

*Table 4.1 : Moyennes, Écarts-Types, Minimum et Maximum des variables consommation énergie résidentielle par habitant (kWh) et revenu (€) avant et après suppression des valeurs extrêmes*

<b>Variables</b>	<b>Obs</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Écart type</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>Consommation par habitant (kWh)</b>	262	10 568	2 125	6 638	24 466
	258	10 500	2 036	6 638	24 466
<b>Revenu (€)</b>	262	17 150	2 411	10 680	27 780
	258	17 141	2 371	10 680	25 480

Avec ce nouveau jeu de données, nous avons dressé une *figure (4.3)* où chaque point représente une commune pour laquelle les moyennes de la consommation énergétique résidentielle par habitant et du revenu moyen par habitant sur la période allant de 2010 à 2019 ont été calculées. Ces données ont ensuite été mises en échelle logarithmique afin d'en faciliter la représentation et l'interprétation. On observe sur ce graphique, par la courbe de tendance linéaire en rouge, qu'en moyenne les communes ayant la plus grande consommation énergétique par habitant sont aussi celles avec le revenu moyen le plus faible. Cette tendance, contraire à ce que la littérature nous a appris, montre qu'il est nécessaire de contrôler certaines autres caractéristiques communales. Cela peut se faire via l'ajout de variables de contrôles ou avec des méthodes d'estimation statistiques qui contrôlent des facteurs communaux non observés et invariants dans le temps (Wooldridge, 2012).

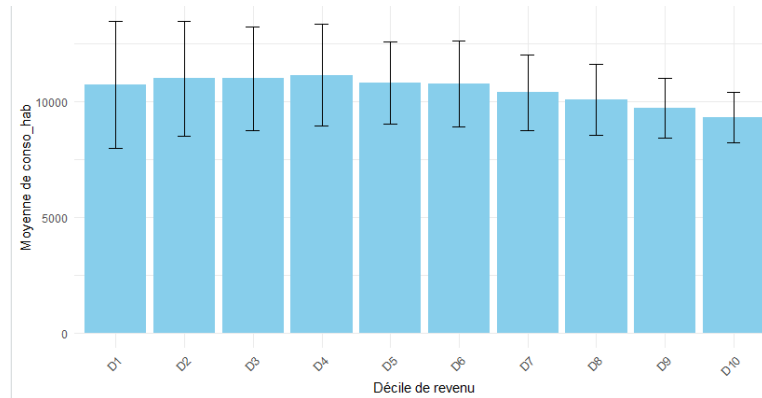
*Figure 4.3 : Distribution la consommation d'énergie résidentielle moyenne par habitant et du revenu par habitant sur la période 2010-2019 (en logarithme)*



Nous avons ensuite segmenté notre panel de 258 communes en fonction du revenu. Chaque commune s'est vu attribuer un numéro de 1 à 10, en fonction de la tranche de revenu moyen par habitant à laquelle elle appartient au sein des 258 communes wallonnes. Lorsque nous analysons les résultats des moyennes de consommation à la *figure 4.4*, nous observons un effet du revenu sur la consommation énergétique inverse à celui attendu comme pour la figure précédente (4.3). Néanmoins nous remarquons que plus les déciles de revenu augmentent plus l'écart-type diminue et plus la probabilité de retrouver une consommation proche de la moyenne est élevée. Au contraire, l'intervalle de l'écart-type pour les premiers déciles de revenu est beaucoup plus grand et donc la probabilité de se retrouver plus bas que la moyenne est plus grande. Si nous regardons la limite inférieure de l'intervalle pour chaque décile de revenu, nous retrouvons la tendance attendue d'une augmentation de la consommation d'énergie par habitant avec le revenu jusqu'au

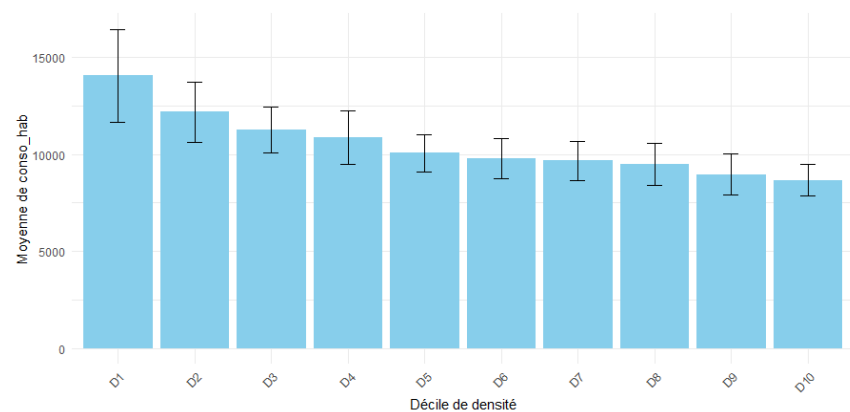
sixième décile de revenu. Ensuite, nous observons une diminution de la consommation jusqu'au dixième décile.

Figure 4.4 : Consommation d'énergie résidentielle par habitant (kWh) moyenne sur la période 2010-2019 selon le décile de revenu



Nous avons également segmenté notre panel en fonction de la densité. Chaque commune s'est vu attribuer un numéro de 1 à 10, en fonction de la tranche de densité à laquelle elle appartient. Nous pouvons voir sur la *figure 4.5* une tendance nette à la diminution de la consommation avec l'augmentation de la densité d'habitant. Cette *figure 4.5* montre que la densité pourrait être un bon candidat pour devenir une variable de contrôle dans notre modèle.

Figure 4.5 : Consommation d'énergie résidentielle par habitant (kWh) moyenne sur la période 2010-2019 selon le décile de densité



Pour conclure, ces statistiques descriptives ne nous permettent pas de déterminer l'effet du revenu sur la consommation. Nous aurons besoin d'une étude économétrique causale plus rigoureuse que nous allons développer dans la suite de ce travail grâce à différentes méthodes d'estimation.

## 4.2.5 MÉTHODES D'ESTIMATION

### **MOINDRES CARRÉS AGREGES**

Comme nous travaillons avec des données de panel (258 communes wallonnes sur la période 2010-2019), le modèle empirique utilisé sera un modèle à effet non observé. Comme discuté dans la section variable, notre modèle sera composé de la consommation énergétique résidentielle par habitant comme variable dépendante, du revenu par habitant comme variable explicative d'intérêt et de cette même variable explicative d'intérêt retardée d'un an. Notre modèle passe donc de 10 périodes à 9 périodes  $t = 1, 2, \dots, 8$ .

Nous décidons d'ajouter la densité comme variable de contrôle dans ce modèle, car elle a une corrélation avec la variable explicative d'intérêt et on lui suspecte d'avoir un impact sur la consommation énergétique par habitant comme nous l'avons vu dans la partie statistique descriptive.

Afin de mieux identifier l'effet causal du revenu sur la consommation énergétique résidentielle, nous commençons par la méthode des moindres carrés agrégés afin de capturer et comprendre les relations à long terme entre les variables tout en tenant compte des dynamiques à court terme.

L'équation de notre modèle empirique avec la méthode des moindres carrés agrégés est donc la suivante :

$$\left[ \begin{array}{l} \log(Conso_{\{i,t\}}) = \beta_0 + \delta_1 * d1_t + \dots + \delta_9 * d9_t + \beta_1 * \log(Revenu_{\{i,t\}}) \\ \quad + \beta_2 * \log(Revenu_{\{i,t-1\}}) + \beta_3 * \log(Densité_{\{i,t\}}) + \alpha_i + u_{\{i,t\}} \end{array} \right]$$

$t = 1, 2, \dots, 8 ; i = 1, 2, \dots, 258$

$Conso_{\{i,t\}}$  = Consommation énergétique par habitant de la commune  $i$  durant la période  $t$

$Revenu_{\{i,t\}}$  = Revenu par habitant de la commune  $i$  durant la période  $t$

$Densité_{\{i,t\}}$  = Densité de population de la commune  $i$  durant la période  $t$

### **DIFFÉRENCE PREMIÈRE**

Étant donné qu'il y a de nombreux facteurs communaux non observés et invariants dans le temps à contrôler, nous pensons qu'il est pertinent d'utiliser la méthode en différence première ou à effet fixe pour analyser l'effet du revenu sur la consommation énergétique résidentielle par habitant. L'avantage des méthodes en différence première et à effet fixe réside dans leur capacité à contrôler des facteurs non observés constants dans le temps au niveau communal  $\alpha_i$ . Elles

permettent ainsi de réduire le biais lié à la variable omise rencontré avec la méthode des moindres carrés agrégés (Wooldridge, 2012).

Nous pensons donc que les variables de contrôle utilisées dans la littérature ou dans le précédent modèle ne seront, à priori, pas pertinentes pour exprimer le lien de causalité que nous étudions avec ces méthodes. Cependant, nous testerons des variantes de notre modèle principal avec ces variables de contrôle en prenant en compte que cela risque d'augmenter l'écart-type du coefficient de notre variable explicative d'intérêt et donc de diminuer la précision de notre relation (Wooldridge, 2012).

Afin de choisir entre la méthode à effet fixe et la méthode en différence première, nous avons réalisé un test d'autocorrélation AR(1) sur les résidus de notre modèle (sans variables de contrôle) avec la méthode en différence première. Comme l'autocorrélation était proche de 0 (-0,140), nous avons pris la décision d'utiliser la méthode en différence première plutôt que la méthode à effet fixe.

L'équation de notre modèle empirique principal avec la méthode en différence première est donc la suivante (avec une période en moins par rapport au modèle en MCO comme nous utilisons la différence) :

$$\left[ \begin{aligned} \log(\text{Conso}_{\{i,t\}}) &= \delta_0 + \delta_1 * d1_t + \dots + \delta_8 * d8_t + \beta_1 * \Delta \log(\text{Revenu}_{\{i,t\}}) \\ &+ \beta_2 * \Delta \log(\text{Revenu}_{\{i,t-1\}}) + \Delta u_{\{i,t\}} \end{aligned} \right]$$

$t = 1,2, \dots, 7 ; i = 1,2, \dots, 258$

*Conso<sub>{i,t}</sub> = Consommation énergétique par habitant de la commune i durant la période t*

*Revenu<sub>{i,t}</sub> = Revenu par habitant de la commune i durant la période t*

L'équation de la variante de ce modèle prenant en compte toutes les variables de contrôle est donc la suivante :

$$\left[ \begin{aligned} \log(\text{Conso}_{\{i,t\}}) &= \delta_0 + \delta_1 * d1_t + \dots + \delta_8 * d8_t + \beta_1 * \Delta \log(\text{Revenu}_{\{i,t\}}) \\ &+ \beta_2 * \Delta \log(\text{Revenu}_{\{i,t-1\}}) + \beta_3 * \Delta \log(\text{Revenu}_{\{i,t-2\}}) + \beta_4 * \Delta \log(\text{Densité}_{\{i,t\}}) + \beta_5 * \Delta \log(\text{Part65}_{\{i,t\}}) + \Delta u_{\{i,t\}} \end{aligned} \right]$$

$t = 1,2, \dots, 6 ; i = 1,2, \dots, 258$

*Conso<sub>{i,t}</sub> = Consommation énergétique par habitant de la commune i durant la période t*

*Revenu<sub>{i,t}</sub> = Revenu par habitant de la commune i durant la période t*

*Densité<sub>{i,t}</sub> = Densité de population de la commune i durant la période t*

*Part65<sub>{i,t}</sub> = Part de la population de plus de 65 ans de la commune i durant la période t*

### **DIFFÉRENCE PREMIÈRE AVEC TREND**

Pour tenir compte d'une endogénéité possible dans notre modèle (il pourrait exister des variables non observées variant dans le temps qui sont corrélées avec le revenu), nous décidons d'ajouter des indicatrices communales au modèle. Nous ajoutons donc des effets fixes par commune, permettant ainsi à la consommation énergétique par habitant de chaque commune d'évoluer selon une tendance spécifique, c'est-à-dire un effet temporel linéaire propre à chaque commune. L'ajout de tendances spécifiques par commune aide donc à contrôler les variations locales qui pourraient influencer à la fois le revenu et la consommation d'énergie (politiques environnementales différentes, infrastructures énergétiques variées, ou caractéristiques démographiques distinctes), et ainsi affecter la relation entre le revenu et la consommation d'énergie de manière spécifique à chaque commune.

L'équation de notre modèle empirique principal avec la méthode en différence première et l'ajout de tendance communale sera donc la suivante :

$$\left[ \begin{array}{l} \log(Conso_{\{i,t\}}) = \delta_0 + \delta_1 * d1_t + \dots + \delta_8 * d8_t + \beta_1 * \Delta \log(Revenu_{\{i,t\}}) \\ + \beta_2 * \Delta \log(Revenu_{\{i,t-1\}}) + \alpha_3 * Commune1_{\{i\}} + \dots + \alpha_{259} * Commune258_{\{i\}} + \Delta u_{\{i,t\}} \end{array} \right]$$

$t = 1,2 \dots, 7 ; i = 1,2, \dots, 258$

$Conso_{\{i,t\}}$  = Consommation énergétique par habitant de la commune  $i$  durant la période  $t$

$Revenu_{\{i,t\}}$  = Revenu par habitant de la commune  $i$  durant la période  $t$

$Densité_{\{i,t\}}$  = Densité de population de la commune  $i$  durant la période  $t$

$$Commune1_{\{i\}} \begin{cases} 1 \text{ si commune } i = 1 \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

L'équation de la variante de ce modèle prenant en compte toutes les variables de contrôle est donc la suivante :

$$\left[ \begin{array}{l} \log(Conso_{\{i,t\}}) = \delta_0 + \delta_1 * d1_t + \dots + \delta_8 * d8_t + \beta_1 * \Delta \log(Revenu_{\{i,t\}}) \\ + \beta_2 * \Delta \log(Revenu_{\{i,t-1\}}) + \beta_3 * \Delta \log(Revenu_{\{i,t-2\}}) + \beta_4 * \Delta \log(Densité_{\{i,t\}}) + \beta_5 * \Delta \log(Part65_{\{i,t\}}) \\ + \alpha_6 * Commune1_{\{i\}} + \dots + \alpha_{262} * Commune258_{\{i\}} + \Delta u_{\{i,t\}} \end{array} \right]$$

$t = 1,2 \dots, 6 ; i = 1,2, \dots, 258$

$Conso_{\{i,t\}}$  = Consommation énergétique par habitant de la commune  $i$  durant la période  $t$

$Revenu_{\{i,t\}}$  = Revenu par habitant de la commune  $i$  durant la période  $t$

$Densité_{\{i,t\}}$  = Densité de population de la commune  $i$  durant la période  $t$

$Part65_{\{i,t\}}$  = Part de la population de plus de 65 ans de la commune  $i$  durant la période  $t$

$$Commune1_{\{i\}} \begin{cases} 1 \text{ si commune } i = 1 \\ 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

#### 4.2.6 RÉSULTATS

Dans cette partie, nous allons analyser les résultats obtenus avec nos différents modèles principaux élaborés au point précédent. Nous allons également analyser les résultats des variantes de ces modèles afin d'observer s'il existe des différences. Il est à noter que, pour chacune des régressions réalisées, les écarts-types ont été corrigés pour la présence de toute forme arbitraire d'autocorrélation et d'hétéroscédasticité dans les erreurs grâce à la fonction *cluster()* de Stata.

#### MOINDRES CARRÉS AGRÉGÉS

Lorsque nous implémentons notre modèle avec la méthode des moindres carrés agrégés dans Stata, nous remarquons que l'impact du revenu sur la consommation énergétique est significativement négatif, contrairement aux effets attendus discutés au point 4.1. Néanmoins, nous pensons que notre coefficient  $\beta_1$  est biaisé, car le facteur non observé  $a_i$  est corrélé avec les variables explicatives. Nous avons donc un biais d'endogénéité pour notre estimation, lequel pourrait être corrigé en utilisant la méthode en différence première, qui permet de tenir compte des effets non observés stables dans le temps (Wooldridge, 2012).

Table 4.2 : Résultats du modèle avec la méthode des moindres carrés agrégés

	(1) MCO AGREGES
Log(Revenu t)	-0.299*** [0.044]
Log(Revenu t-1)	-0.283*** [0.094]
Log(Densité)	-0.129*** [0.006]
Indicatrices annuelles	oui
Indicatrices communales	non
Cluster	oui
Nombre de communes	258
Nombre de périodes	9
Nombre d'observations	2,322
R <sup>2</sup>	0.691

Robust standard errors entre crochets

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

#### DIFFÉRENCE PREMIÈRE

Lorsque nous implémentons nos différentes versions du modèle avec la méthode en différence première dans Stata, nous obtenons les résultats détaillés présentés dans le *tableau 4.3*.

La première version, le modèle principal (2), contient les variables indicatrices temporelles, le revenu actuel et le revenu retardé d'un an. Le revenu moyen par habitant a un impact significatif mais modéré (0,186) sur la consommation énergétique liée au logement. Ce coefficient signifie que lorsque le revenu augmente de 1% (10%), la consommation d'énergie résidentielle augmente en moyenne de 0,186% (1,86%).

Cependant, nous observons un impact faiblement significatif du revenu retardé sur la consommation d'énergie résidentielle (-0,107). Ce coefficient signifie que lorsque le revenu de l'année précédente augmente de 1% (10%), la consommation d'énergie résidentielle diminue en moyenne de 0,107% (1,07%). Ce phénomène peut s'expliquer par le fait qu'il y a un lissage de la consommation d'énergie au fil du temps (Friedman, 2018). Même si le revenu fluctue d'une période à l'autre, il y a une préférence pour maintenir un niveau de confort énergétique constant, à épargner et ne pas changer immédiatement ses habitudes, ce qui entraîne un impact faiblement significatif du revenu retardé sur la consommation d'énergie actuelle. Nous pouvons aussi interpréter cet effet comme une augmentation de l'efficacité énergétique lorsque le revenu augmente, ce que Pottier et al. (2020) n'ont pas confirmé dans leur étude.

Lorsque nous ajoutons à notre modèle une variable retardée de deux ans (4), c'est l'hypothèse du lissage de la consommation qui semble se confirmer. Les coefficients de la variable explicative (0,315) et de la variable explicative retardée d'un an (-0,316) sont tous les deux significatifs et s'annulent car ils ont presque la même grandeur et des signes opposés. Cela peut indiquer qu'il y a une anticipation des variations futures du revenu et un ajustement de la consommation énergétique en conséquence. Le revenu retardé de deux ans a un impact significatif mais plus faible (0,089) sur la consommation énergétique. Cela montre que les variations de revenu ont tout de même un impact persistant dans le temps sur la consommation énergétique.

Lorsque nous testons le modèle avec nos deux variables de contrôle (3), nous remarquons que notre variable explicative d'intérêt a un effet moindre et moins significatif sur la consommation d'énergie (0,106). Le revenu retardé n'est plus significatif et la densité de population a un impact élevé et extrêmement significatif sur la consommation (-0,878). Par ailleurs, la part des plus de 65 ans a un impact négligeable sur la consommation et sur les autres coefficients du modèle. Les variables de contrôle expliquent une partie de la variance de la consommation initialement attribuée au revenu dans la version (2). Cela signifie que la densité de population explique une part importante de la consommation d'énergie, réduisant ainsi l'impact du revenu.

Lorsque nous cumulons l'ajout de variables de contrôle et de la variable explicative du revenu retardé de deux ans dans notre modèle (5), l'effet du revenu augmente légèrement par rapport au modèle sans variable explicative retardée (3), mais nous retrouvons cet effet de lissage (0,205 pour la variable explicative actuelle et -0,192 pour la variable explicative retardée d'un an) déjà présent dans la version (4). Nous pouvons cependant noter que ce lissage est moins présent et que le revenu n'a donc pas un impact nul sur la consommation énergétique résidentielle.

Table 4.3 : Résultats du modèle avec la méthode en différence première

	(2) FD	(3) FD	(4) FD	(5) FD
Log(Revenu t)	<b>0.186***</b> [0.051]	<b>0.106**</b> [0.044]	<b>0.315***</b> [0.078]	<b>0.205***</b> [0.070]
Log(Revenu t-1)	<b>-0.107**</b> [0.042]	-0.036 [0.038]	<b>-0.316***</b> [0.099]	<b>-0.192**</b> [0.089]
Log(Revenu t-2)	/	/	<b>0.089***</b> [0.032]	<b>0.067**</b> [0.030]
Log(Densité)	/	<b>-0.878***</b> [0.086]	/	<b>-0.851***</b> [0.091]
Part des + 65 ans	/	-0.001 [0.001]	/	-0.001 [0.001]
Indicatrices annuelles	oui	oui	oui	oui
Indicatrices communales	non	non	non	non
Cluster	oui	oui	oui	oui
Nombre de communes	258	258	258	258
Nombre de périodes	8	8	7	7
Nombre d'observations	2,064	2,064	1,806	1,806
R <sup>2</sup>	0.952	0.957	0.952	0.956

Robust standard errors entre crochets

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

### ***DIFFÉRENCE PREMIÈRE AVEC TREND***

Lorsque nous implémentons notre modèle avec la méthode en différence première et l'ajout d'indicatrices communales dans Stata, nous obtenons les résultats détaillés présentés dans le *tableau 4.4*.

Le test de la significativité simultanée de tous les paramètres liés aux variables indicatrices communales dans notre modèle principal (6) ( $F = 218$ ) montrent que ces paramètres ont un impact significatif sur le modèle. Cela suggère que les tendances spécifiques par commune aident effectivement à expliquer une part importante de la variation dans la consommation énergétique par habitant. En effet, lors de l'analyse du modèle principal (6), nous remarquons que le revenu moyen par habitant a un impact moindre (0,12) et moins significatif que sans la trend sur la consommation énergétique liée au logement. Cependant, nous retrouvons à nouveau l'effet attendu conforme à la littérature. Comme pour le modèle sans trend, l'effet de la variable retardée du revenu est significatif (-0,07). Nous observons le même lissage de la consommation qu'avec le modèle sans trend, mais beaucoup moins significativement.

Lorsque nous ajoutons la variable explicative retardée de deux ans (8), nous retrouvons sensiblement les mêmes changements que lorsque nous étions passés du modèle (2) au modèle (4) : une augmentation de la grandeur des coefficients (de 0,12 à 0,24 pour la variable du revenu) et de l'effet de lissage (de -0,07 à -0,24 pour la variable du revenu retardé).

Lorsque nous ajoutons des variables de contrôle à notre modèle de base (7), la significativité et l'importance de la variable explicative d'intérêt augmentent considérablement (1,19), alors qu'elles avaient plutôt tendance à diminuer sans la trend. Nous pouvons expliquer ce phénomène par les indicateurs communaux qui capturent des effets fixes spécifiques à chaque commune. En contrôlant ces effets fixes avec d'autres variables de contrôle, nous isolons mieux l'impact direct du revenu sur la consommation énergétique, en éliminant la variation due à des facteurs communaux constants (Wooldridge, 2012).

Par ailleurs, lorsque nous combinons l'ajout de la variable explicative retardée de deux ans et l'ajout de variables de contrôle (9), nous obtenons des résultats non significatifs de l'impact du revenu sur la consommation d'énergie. Nous pouvons également expliquer ce phénomène par les indicateurs communaux qui capturent des effets fixes spécifiques à chaque commune. L'ajout de la variable de revenu retardée avec les variables de contrôle change la dynamique et la répartition

de l'importance des différentes variables explicatives. En effet, la consommation est maintenant capturée en grande partie par la densité de population (-1,03).

Table 4.4 : Résultats modèle en différence première avec trend

	(6)	(7)	(8)	(9)
	FD TREND	FD TREND	FD TREND	FD TREND
Log(Revenu t)	0.124** [0.059]	1.196*** [0.090]	0.240** [0.110]	0.038 [0.094]
Log(Revenu t-1)	-0.076* [0.045]	-0.594*** [0.053]	-0.245* [0.126]	-0.026 [0.109]
Log(Revenu t-2)	/	/	0.069* [0.038]	0.020 [0.036]
Log(Densité)	/	-0.440*** [0.130]	/	-1.030*** [0.108]
Part des + 65 ans	/	0.001 [0.003]	/	0.001 [0.003]
Indicatrices annuelles	oui	oui	oui	oui
<b>Indicatrices communales</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>	<b>oui</b>
Cluster	oui	oui	oui	oui
Nombre de communes	258	258	258	258
Nombre de périodes	8	8	7	7
Nombre d'observations	2,064	2,064	1,806	1,806
R <sup>2</sup>	0.956	0.914	0.957	0.961

Robust standard errors entre crochets

\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

## 5. CONCLUSION ET REcul CRITIQUE

Notre analyse empirique via notre modèle à effets fixes montre que le revenu a un impact significatif mais relativement faible sur la consommation d'énergie résidentielle par rapport à une variable comme la densité de la population. Nous pouvons dire que nos résultats se situent à mi-chemin entre le modèle avec le panel des provinces sans variables de contrôle de Liu et al. (2016) et le modèle avec le panel de ménages ainsi que de nombreuses variables de contrôle de Meier et Rehdanz (2010) et Alberini et al. (2011). En effet, Liu et al. (2016) avaient montré que le revenu avait un impact proche de 1 sur la consommation d'énergie résidentielle, alors que Meier et Rehdanz (2010) et Alberini et al. (2011) n'avaient pas trouvé d'effet clair entre ces deux variables.

Cependant, il est important de garder à l'esprit que nous nous appuyons sur une consommation énergétique et un revenu théoriques plutôt qu'effectifs. Cette distinction peut affecter la fiabilité de nos résultats, c'est pourquoi nous devons les analyser avec prudence. En effet, la consommation est moins précise pour les communes rurales que pour les communes urbaines, où il y a un plus grand nombre de bâtiments.

La majorité des études scientifiques (Rehdanz, 2007 ; Meier et Rehdanz, 2010 ; Alberini et al., 2011) qui étudient la causalité entre revenu et consommation énergétique se concentrent sur une approche plus « micro », en utilisant des panels de ménages plutôt que des données au niveau communal. Cette approche plus fine permet d'obtenir des résultats plus précis, mais malheureusement, nous ne disposons pas de ces données détaillées. Nous pouvons donc difficilement nous appuyer sur la littérature pour construire un modèle aussi robuste et précis que souhaité.

Enfin, étant donné que nous disposons de données de panel et de peu de variables de contrôle, il nous semblait logique d'opter pour un modèle à effets non observés. Dans ce cadre, certaines variables de contrôle présentes dans la littérature, que nous aurions pu inclure dans d'autres types de modèles, deviennent moins pertinentes lorsque leur variation dans le temps est limitée. De plus, même lorsque ces variables de contrôle variaient dans le temps, telles que l'efficacité énergétique des bâtiments, nous étions confrontés au manque de données disponibles, ce qui a un impact sur la qualité de nos résultats.

Pour approfondir notre analyse, il pourrait être utile de recueillir des données directement au niveau des ménages wallons, incluant leur consommation énergétique, leur revenu, ainsi que

d'autres variables de contrôle telles que le type d'habitat, l'efficacité énergétique, le type de chauffage, les équipements ou encore la surface de leur logement. La collecte de ces données plus précises, bien que plus coûteuses, permettrait de mieux cerner les dynamiques entre revenu et consommation énergétique en Wallonie.

## 6. BIBLIOGRAPHIE

- Abdallah, S., Gough, I., Johnson, V., Ryan-Collins, J., & Smith, C. (2011). The distribution of total greenhouse gas emissions by households in the UK, and some implications for social policy. *CASE Papers*. <https://ideas.repec.org/p/cep/sticas/case152.html>
- ADEME. (2021). Accueil | Base Empreinte®. <https://base-empreinte.ademe.fr/>
- Alberini, A., Gans, W., & Velez-Lopez, D. (2011). Residential consumption of gas and electricity in the U.S.: The role of prices and income. *Energy Economics*, 33(5), 870-881. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.01.015>
- Brenkert, A., Sands, R., Kim, S., & Pitcher, H. (2004). Model Documentation The Second Generation Model.
- Druckman, A., & Jackson, T. (2008). Household energy consumption in the UK: A highly geographically and socio-economically disaggregated model. *Energy Policy*, 36(8), 3177-3192. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.021>
- Filippini, M., & Pachauri, S. (2004). Elasticities of electricity demand in urban Indian households. *Energy Policy*, 32(3), 429-436. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00314-2](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00314-2)
- Friedman, M. (2018). *Theory of the Consumption Function* (pp. 1-296).
- Haas, R. (1997). Energy efficiency indicators in the residential sector: What do we know and what has to be ensured? *Energy Policy*, 25(7), 789-802. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(97\)00069-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(97)00069-4)
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC) (Ed.). (2023). Emissions Trends and Drivers. In *Climate Change 2022—Mitigation of Climate Change* (1st ed., pp. 215-294). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.004>
- Jamasb, T., & Meier, H. (2010). Household Energy Expenditure and Income Groups: Evidence from Great Britain. *Energy Policy Research Group, University of Cambridge*. <https://www.jstor.org/stable/resrep44805>
- Le Quéré, C., Andrew, R. M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Pongratz, J. (2018). Global Carbon Budget 2017. *Earth System Science Data*, 10(1), 405-448. <https://doi.org/10.5194/essd-10-405-2018>
- Lévy, J.-P., Roudil, N., Flamand, A., & Belaïd, F. (2014). Les déterminants de la consommation énergétique domestique. *Flux*, 96(2), 40-54. <https://doi.org/10.3917/flux.096.0040>
- Liu, Y., Gao, Y., Hao, Y., & Liao, H. (2016). The Relationship between Residential Electricity Consumption and Income: A Piecewise Linear Model with Panel Data. *Energies*, 9(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/en9100831>
- Lormeteau, B. (2021). Justice énergétique et inégalités: Introduction à la vulnérabilité énergétique. *Revue juridique de l'environnement*, 46(3), 541-558.

- Meier, H., & Rehdanz, K. (2010). Determinants of residential space heating expenditures in Great Britain. *Energy Economics*, 32(5), 949-959. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.11.008>
- Paltsev, S., Reilly, J. M., Jacoby, H. D., Eckaus, R. S., McFarland, J. R., Sarofim, M. C., Asadoorian, M. O., & Babiker, M. H. M. (2005). The MIT Emissions Prediction and Policy Analysis (EPPA) Model: Version 4 [Technical Report]. *MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change*. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/29790>
- Pottier, A., Combet, E., Cayla, J.-M., de Lauretis, S., & Nadaud, F. (2020). Qui émet du CO2 ? Panorama critique des inégalités écologiques en France. *Revue de l'OFCE*, 169(5), 73-132. <https://doi.org/10.3917/reof.169.0073>
- Quirion, P. (2022). Les outils économiques pour favoriser la transition écologique et leurs effets distributifs. *Informations sociales*, 206(2), 22-29. <https://doi.org/10.3917/inso.206.0022>
- Rehdanz, K. (2007). Determinants of residential space heating expenditures in Germany. *Energy Economics*, 29(2), 167-182. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.04.002>
- Schipper, L., & Grubb, M. (2000). On the rebound? Feedback between energy intensities and energy uses in IEA countries. *Energy Policy*, 28, 367-388. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00018-5)
- Simus, P., & Orsini, M. (2020, juillet 30). Méthodologie pour la production des Bilans énergétiques communaux de la Région Wallonne. *Institut de Conseil et d'Etudes en Développement Durable asbl*.
- SPW. (2022). Bilan domestique et assimilés 2019. *Site énergie du Service public de Wallonie*. Consulté 18 juillet 2024, à l'adresse <https://energie.wallonie.be/fr/bilan-domestique-et-assimiles-2019.html?IDC=6288&IDD=158620>
- Statbel. (2010). Enquête sur le budget des ménages (EBM).
- Walstat. (2024). IWEPS - *Portail d'infos statistiques locales sur la Wallonie*. Consulté 8 avril 2024, à l'adresse <http://walstat.iweps.Be/>
- Webster, M., Paltsev, S., & Reilly, J. (2008). Autonomous efficiency improvement or income elasticity of energy demand: Does it matter? *Energy Economics*, 30(6), 2785-2798. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.04.004>
- Wooldridge, J. M. (2012). *Introductory Econometrics: A Modern Approach* (5th ed.). Cengage Learning.