



UNIVERSITÉ  
DE NAMUR

University of Namur

# Institutional Repository - Research Portal Dépôt Institutionnel - Portail de la Recherche

researchportal.unamur.be

## THESIS / THÈSE

### MASTER EN SCIENCES ÉCONOMIQUES

#### Quels sont les déterminants de la consommation électrique des ménages au sein de l'Union européenne ?

Campagna, Francesco

*Award date:*  
2019

*Awarding institution:*  
Universite de Namur

[Link to publication](#)

#### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

#### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Download date: 23. Jun. 2020



EFASM403/009 Séminaire d'Analyse de Données / Mémoire de Fin d'Etudes

Master en Sciences Economiques et de Gestion

Année Académique 2018-2019

**Quels sont les déterminants de la  
consommation électrique des ménages  
au sein de l'Union européenne ?**

**CAMPAGNA Francesco**

Titulaire : Professeur Jean-Yves Gnabo

Assistants : Doux Baraka Kusinza, Auguste Debroise, Francois-Xavier Ledru

## Table des matières

<b>I. INTRODUCTION</b> .....	<b>4</b>
<b>II. REVUE DE LITTERATURE</b> .....	<b>5</b>
<b>III. PRESENTATION DES DONNEES :</b> .....	<b>7</b>
1. SOURCE .....	7
2. LES VARIABLES .....	8
a. <i>Variable endogène</i> : .....	8
b. <i>Variables exogènes</i> : .....	8
<b>IV. METHODOLOGIE</b> .....	<b>10</b>
1. PRESENTATION DU MODELE .....	10
2. PRESENTATION DE LA METHODE .....	11
3. HYPOTHESES DE DEPART .....	11
4. PROBLEME D'ENDOGENEITE .....	13
5. PROBLEME D'HETEROSCEDASTICITE .....	13
<b>V. ANALYSE DES RESULTATS</b> .....	<b>14</b>
1. STATISTIQUES DESCRIPTIVES .....	14
2. MATRICE DE CORRELATION .....	15
3. ANALYSE ECONOMETRIQUE .....	16
4. QUALITE DU MODELE .....	17
5. ANALYSE DES VARIABLES .....	17
6. RELATION QUADRATIQUE .....	18
<b>VI. LIMITES DU MODELE</b> .....	<b>20</b>
<b>VII. ÉTUDE DE CAS SUR LA PRODUCTION ELECTRIQUE BELGE ISSUE DES ENERGIES RENOUVELABLES</b> .....	<b>21</b>
1. PROBLEMATIQUE ENVIRONNEMENTALE .....	21
2. SOURCES D'ENERGIES RENOUVELABLES .....	22
3. TYPES DE PRODUCTIONS ELECTRIQUE EN BELGIQUE .....	23
4. TYPES DE PRODUCTIONS ELECTRIQUE PROVENANT DES ENERGIES RENOUVELABLES EN BELGIQUE .....	24
<b>5. CONCLUSION</b> .....	<b>26</b>

<b>6. BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>28</b>
1. LIVRES .....	28
2. ARTICLES SCIENTIFIQUES .....	28
3. ARTICLES NON SCIENTIFIQUES ET SITES INTERNET .....	28

## I. Introduction

Le marché de l'électricité est un secteur en constante croissance. Depuis l'avènement des nouvelles technologies et notamment internet, l'énergie électrique fait partie intégrante des enjeux majeurs de notre société. A l'heure actuelle, au total le numérique consomme 10 à 15% de l'électricité mondiale avec une consommation doublant tous les 4 ans. Le chercheur Gerhard Fettweis estime qu'à l'horizon 2030 la consommation électrique du réseau internet atteindra la demande totale de l'année 2008 tous secteurs confondus.

Face à ces enjeux, il est donc important de comprendre les déterminants impactant la consommation électrique à l'aube de la quatrième révolution industrielle car celle-ci sera essentiellement basée sur le numérique avec l'électricité comme principale source énergétique.

A l'avenir, il sera donc nécessaire d'avoir des moyens de production d'électricité de plus en plus performants tout en conservant une empreinte écologique acceptable. En effet, au niveau européen, il a déjà été convenu en 2009 de réduire d'ici 2050 les émissions de gaz à effet de serre de 80-95% par rapport au niveau de 1990.

Il était donc impératif de démarrer une transition énergétique que l'on peut déjà observer dans différents pays avec l'arrêt de leurs activités nucléaires. Un défi énorme attend certains pays dépendant de cette énergie pour produire de l'électricité. En exemple, durant l'hiver 2018, la Belgique a d'ailleurs fait face à une pénurie électrique avec l'arrêt de deux centrales sur trois.

Ces éléments nous amènent à supposer qu'ils auront un impact sur le prix de l'électricité dans les prochaines années. Il est donc intéressant d'observer le comportement des consommateurs aux variations du prix de l'électricité ainsi que leur demande en fonction de leur revenu. Notre analyse se concentre uniquement sur le secteur résidentiel et vise donc à déterminer les élasticités prix et revenu de court terme de la demande électrique des ménages. Notre hypothèse de départ étant que l'électricité est un bien inélastique au prix et au revenu à court terme.

Notre étude se différencie de la littérature existante en se concentrant uniquement sur l'Union européenne qui semble à notre connaissance peu référencée à l'heure actuelle. Cependant, les résultats que nous avons obtenus correspondent aux valeurs observées à travers les autres études. Nous avons estimé des élasticités prix et revenu de la demande électrique résidentielle

respectivement de  $-0,12\%$  et  $0,32\%$ . Ces résultats concordent avec nos hypothèses de départ et confirment l'inélasticité de l'électricité à court terme.

Cette présente étude s'avère intéressante dans le cadre de politique économique au niveau européen, en permettant d'évaluer le comportement des consommateurs résidentiels vis-à-vis de l'énergie électrique.

## II. Revue de littérature

Il existe de nombreux articles étudiant le sujet de l'estimation de demande de l'électricité ainsi que la détermination des élasticité-prix et élasticité-revenu pour ce bien. Ces études se différencient toutefois en fonction des modèles appliqués, des données utilisées (macroéconomiques ou microéconomiques) et des zones géographiques étudiées.

Le secteur de l'électricité américain est un marché énormément étudié dans le cadre des estimations de l'élasticité-prix de la demande électrique pour le secteur résidentiel. C'est pourquoi, afin de construire notre modèle économétrique, nous nous sommes principalement basés sur l'étude de Burke et Abayasekara (2018). Leur étude est une estimation des élasticités-prix à court et long terme de la demande d'électricité aux Etats-Unis. Pour cela, ils ont utilisé des données macroéconomiques tridimensionnelles, observées annuellement sur les trois secteurs (commercial, industriel et résidentiel), couvrant une zone de 48 États américains pour la période comprise en 2003 et 2015. Leurs résultats pour le secteur résidentiel ont montré une élasticité-prix de court terme assez peu réactive de  $-0,1\%$  ou moins, chiffres confortant notre hypothèse de départ. Par contre, pour ce qui est de l'élasticité-prix de la demande électrique à long terme, celle-ci est plus importante avec des valeurs avoisinant  $-1,0\%$ . Ce qui a permis de constater que la consommation d'électricité pour le secteur résidentiel est plus sensible au prix à long terme. En effet, de nombreuses activités sont difficiles à ajuster à court terme.

Nous retrouvons des résultats assez similaires parmi d'autres études sur le secteur résidentiel américain. En effet, il existe un consensus entre les résultats observés selon lequel l'élasticité-prix à court terme de la demande globale d'électricité pour le secteur résidentiel est en moyenne de  $-0,1\%$  avec une élasticité de long terme beaucoup plus importante. Sun et Yu (2017) ont estimé des élasticités-prix à court et long terme de la demande résidentielle en électricité, soit respectivement  $-0,1\%$  et  $-1,0\%$ . Albertini et Filippini (2011) avaient estimé l'élasticité-prix à

court terme de la demande électrique toujours autour de  $-0,1\%$ , par contre leur estimation de l'élasticité-prix de long terme était quant à elle légèrement plus faible autour de  $-0,7\%$ .

Les pays du G7 (Allemagne, Canada, États-Unis, France, Italie, Japon et Royaume-Uni) sont aussi une zone géographique assez étudiée de par leur importance au niveau de la production d'électricité mondiale,  $50\%$  du total à eux seuls et leurs responsabilités quant aux émissions de dioxyde de carbone.

Narayan, Smyth et Prasad (2007) ont estimé des élasticité-prix et revenus de court et long terme à l'aide de données macroéconomiques en panel. Ces données sont observées annuellement et couvrent la période de 1978 à 2003. Leur conclusion est que la demande résidentielle d'électricité dans les pays du G7 est inélastique au revenu et élastique au prix à long terme. Leurs modèles estiment des élasticités du revenu à long terme comprises entre  $0,2$  et  $0,4\%$ . Pour ce qui est de l'élasticité-prix, ils trouvent une estimation de  $1,450\%$  à  $1,563\%$ . A long terme, une augmentation de  $1\%$  du prix de l'électricité réduirait la consommation électrique résidentielle de  $1,5\%$ .

L'exploitation des données microéconomiques étant particulièrement intéressante dans le cadre de notre recherche au regard de son potentiel explicatif sur le comportement des ménages en matière de consommation électrique. Nous avons observé l'étude de Krishnamurthy et Kriström (2013) sur l'élasticité-prix et revenu pour 11 pays de l'OCDE (Australie, Canada, Chili, Espagne, France, Israël, Corée du Sud, Japon, Pays-Bas, Pays-Bas, Suède et Suisse). Leurs données ont été collectées grâce à une enquête sur internet menée en 2011 qui a permis d'interroger 1000 personnes dans chaque pays, avec au final un échantillon total de 12200 ménages.

Pour la plupart des pays, ils ont constaté une réactivité au prix faible à modérée, avec des élasticités variant de  $0,27$  pour la Corée du Sud à  $1,4$  pour l'Australie. La plupart des pays adoptant une élasticité-prix supérieure à  $0,5\%$ . Comparativement aux autres études, nous pouvons observer que l'élasticité des prix est plus grande dans ce cas-ci.

L'élasticité-revenu, quant à elle, est en revanche assez faible, avec des estimations qui varient entre  $0,07\%$  et  $0,16\%$ , cependant il est à noter que ces résultats sont rarement significatifs dans leurs régressions.

Bien que les méthodes d'estimation diffèrent, les résultats des études observés ont donc tendance à s'accorder avec notre hypothèse de départ, l'électricité est un bien inélastique. Les faibles réactions de la demande des ménages aux potentiels variations de prix à court terme de ce bien vont dans ce sens dans l'ensemble de la littérature existante. Il est généralement admis que l'élasticité-prix de court terme de la demande électrique est en moyenne faible en raison du fait que l'électricité est un bien difficilement substituable. Sur le long-terme, un ajustement de sa consommation électrique est envisageable c'est pourquoi nous observons des élasticités plus importantes.

### **III. Présentation des données :**

#### **1. Source.**

Les données que nous avons utilisées pour cette étude proviennent de la base de données d'Eurostat.

Eurostat est l'office statistique de l'UE et a donc pour rôle de fournir les statistiques officielles pour l'Europe. « En cherchant des moyens pour continuellement améliorer ses produits et services, Eurostat a reçu la reconnaissance « Committed to Excellence » (Engagement vers l'Excellence) de la part de la Fondation européenne pour la gestion de la qualité (EFQM) en novembre 2016 ».

Une fiabilité optimale des données étant indispensable pour réaliser notre étude, cette source s'est donc imposée d'elle-même vu que l'ensemble des données indispensables à notre étude était accessible sur le site internet d'Eurostat.

Notre base de données est une série en panel. Notre premier échantillon comportait énormément de données manquantes. Certaines données étaient quasiment inexistantes pour certains pays. Au vu du nombre de données manquantes, nous avons réduit le nombre de pays à 20 au lieu des 28 constituant l'Union européenne. Nous avons également réduit la période entre 2007 et 2014 (initialement prévue à partir de 1990) car certaines variables étaient peu disponibles ou avec des données manquantes sur plusieurs années consécutives. Une interpolation aurait été trop imprécise. De plus, les données concernant le prix du gaz et de l'électricité avant 2007 ont

été obtenues avec une méthodologie différente. Nous ne pouvions donc pas combiner les données avant 2007 avec celles après 2007 dans une seule et unique base de données (référence Eurostat).

Après un nettoyage de la base de données, notre échantillon final comporte donc 160 observations pour lesquelles nous n'avons constaté aucune variable aberrante (à l'aide de l'utilisation de graphiques).

## **2. Les variables.**

Nous avons sélectionné une série de variables en nous basant sur la théorie économique ainsi que la littérature existante permettant d'expliquer notre question de recherche de manière la plus précise possible.

### **a. Variable endogène :**

- Consommation électrique (CE) :

Il s'agit de la consommation électrique totale des ménages pour chaque pays européen que nous avons choisi afin d'alimenter notre base de données. Cette variable est exprimée annuellement en kWh.

### **b. Variables exogènes :**

- Prix de l'électricité pour client résidentiel (PE) :

Le prix de l'électricité est une des variables les plus importantes pouvant expliquer une variation de la consommation électrique. Il est exprimé en euro (taxes comprises) par kWh.

- Prix du gaz pour client résidentiel (PG) :

Le gaz pouvant être une énergie se substituant à l'électricité, il pourrait influencer la consommation électrique. Le prix du gaz est exprimé en euro (taxes comprises) par kWh.

**Le kWh (kilowattheure)** est l'unité traditionnelle de mesure de l'énergie électrique. Il correspond au fonctionnement d'une puissance de 1 kW pendant 1 heure.

Ces deux variables étaient exprimées de manière semi-annuelle. Afin d'obtenir des valeurs annuelles, nous avons simplement effectué la moyenne des deux valeurs pour chaque année.

- Journée de climatisation (JCl) et de chauffage (JCh) :

La climatisation utilise principalement l'énergie électrique pour fonctionner. En ce qui concerne le chauffage, même si l'énergie électrique n'est probablement pas la source principale d'énergie utilisée par les ménages pour se chauffer, certaines habitations utilisent cette énergie comme installation de chauffage.

L'installation nécessaire pour se chauffer à l'électricité est la moins coûteuse mais sur le long terme c'est la solution la plus chère. Cependant, certaines habitations de faible surface ou bien très bien isolées optent pour ce système. D'autres utilisent l'électricité en complément d'un chauffage au bois ou encore d'un système plus performant de pompe à chaleur fonctionnant à l'aide de l'énergie électrique.

Ces deux variables sont exprimées en degrés-jours (degrés-jours de chauffage ou degrés-jours de refroidissement). L'indice des degrés-jours est basé sur des conditions météorologiques pour déterminer les besoins en chauffage ou en climatisation des bâtiments. Les degrés-jours sont calculés en tenant compte de la température extérieure et de la température ambiante moyenne.

- Nombre de ménages privés (NM) :

Il s'agit du nombre total de ménages privés existant dans chaque pays pour chaque année.

- Revenus moyen des ménages (RM) :

Cette variable correspond au revenu moyen des ménages (en euros toutes taxes comprises) pour chaque année dans chaque pays. C'est cette variable qui est utilisée comme indice de richesse d'un pays en lieu et place du PIB par tête.

## IV. Méthodologie

### 1. Présentation du modèle

Pour rappel, l'objectif de notre étude est de déterminer l'influence d'une variation du prix de l'électricité dans le comportement des consommateurs (ménages). A l'aide de la littérature existante sur le sujet et de la théorie économique, nous avons déterminé le modèle économétrique suivant :

Modèle économétrique :

$$CE_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 PE_{i,t} + \beta_2 RM_{i,t} + \beta_3 NM_{i,t} + \beta_4 PG_{i,t} + \beta_5 JCl_{i,t} + \beta_6 JCh_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad [1]$$

L'intérêt de notre étude est de déterminer principalement différentes élasticités, il est donc nécessaire de passer à un modèle économétrique de type logarithmique (log-log). En effet, nous cherchons à déterminer une variation en pourcentage de nos variables.

Le modèle économétrique devient donc :

$$\ln CE_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \ln PE_{i,t} + \beta_2 \ln RM_{i,t} + \beta_3 \ln NM_{i,t} + \beta_4 \ln PG_{i,t} + \beta_5 \ln JCl_{i,t} + \beta_6 \ln JCh_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad [1.2]$$

Dans le cadre de données de panel, il existe certains phénomènes inobservés qui peuvent influencer les différentes variables que l'on appelle effets fixes (Wooldridge, 2015). Si ces effets venaient à être corrélés avec les variables explicatives, la valeur de nos estimateurs serait biaisée. On appelle ce biais un biais d'hétérogénéité, « en réalité, il s'agit d'un biais induit par l'omission d'une variable constante au cours du temps » (Wooldridgr, 2015). Il est donc nécessaire d'inclure ces effets fixes dans notre modèle. Il existe à la fois des effets fixes inhérents à chaque pays qui tiennent compte des variations de croissance de la consommation d'électricité ainsi que des effets fixes propres à chaque année qui prennent en compte les chocs temporels pouvant impacter la consommation d'électricité. Nous incluons donc ces différents effets dans notre modèle économétrique afin d'obtenir des estimateurs les plus précis possible.

Le modèle économétrique prend donc la forme ci-dessous :

$$\ln CE_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \ln PE_{i,t} + \beta_2 \ln RM_{i,t} + \beta_3 \ln NM_{i,t} + \beta_4 \ln PG_{i,t} + \beta_5 \ln JCl_{i,t} + \beta_6 \ln JCh_{i,t} + \delta_i \sum_{i=1}^{n-1} EFi + \delta_t \sum_{t=1}^{n-1} Eft + \varepsilon_{i,t} \quad [1.3]$$

## 2. Présentation de la méthode

Nous avons utilisé la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) comme modèle de régresse car sous certaines hypothèses (théorème de Gauss-Markov), cette méthode permet d'obtenir les meilleurs estimateurs linéaires non-biaisés (BLUE).

## 3. Hypothèses de départ

Afin de réaliser notre étude, nous avons dû émettre plusieurs hypothèses de départ sur les résultats potentiels attendus en se basant essentiellement sur la théorie économique et l'analyse des résultats de la littérature existante :

- Notre principale hypothèse de départ est que le prix de l'électricité devrait avoir peu d'influence sur la demande électrique. En effet, l'électricité étant aujourd'hui un bien primaire et indispensable, nous supposons que sa demande est très inélastique et donc très peu influencée par une variation des prix.

- En ce qui concerne le prix gaz, il est difficile d'interpréter son influence sur la consommation électrique car le gaz peut être à la fois une énergie substitut ou complémentaire à l'électricité. L'effet du prix du gaz sur la consommation électrique devrait être relativement faible car nous supposons que le gaz est principalement utilisé comme bien complémentaire, en effet, seul l'effet de substitution pourrait avoir un impact sur la consommation électrique.
- Le revenu des ménages devrait également avoir deux effets sur la consommation électrique. Un effet de revenu et un effet de substitution.

L'effet de revenu (via une augmentation du revenu) aura pour conséquence une augmentation de la consommation électrique. En effet, étant plus riches, les ménages devraient consommer plus de biens nécessitant de l'énergie électrique (plus grande maison, plus d'appareils électriques ou encore des appareils plus puissants qu'avant donc plus énergivores).

L'effet de substitution aura pour conséquence un changement de comportement au sein du ménage en substituant des biens utilisant une autre énergie (mazout) pour un même bien utilisant l'énergie électrique (voiture électrique).

Dans tous les cas, nous devons donc observer une variation de la consommation électrique allant dans le même sens que la variation de revenu et dont l'intensité dépendra des deux effets.

- Le nombre de ménage devrait tout simplement varier dans le même sens que la consommation électrique avec une élasticité se rapprochant de 1.
- La climatisation utilisant uniquement l'énergie électrique implique donc qu'une augmentation des journées de climatisation devrait influencer positivement la consommation électrique.

Quant aux journées de chauffage, une augmentation de celles-ci devraient également entraîner une augmentation de la consommation électrique, néanmoins de manière relativement faible car l'énergie électrique n'est pas l'unique source d'énergie utilisée pour se chauffer (gaz, mazout, bois).

#### **4. Problème d'endogénéité**

Dans notre modèle, un problème d'endogénéité existe pour nos estimations. Il existe plusieurs sources d'endogénéité. Dans notre contexte, il s'agit de simultanéité signifiant qu'au moins une des variables explicatives du modèle de régression linéaire multiple est déterminée conjointement avec la variable dépendante. En effet, au cours d'une même année, les variations de prix de l'électricité peuvent être provoquées par les variations de la demande en électricité (= consommation).

Afin de résoudre ce problème, nous avons inclus un décalage temporel d'une année pour les variables explicatives pouvant influencer directement la consommation électrique. De cette manière, nous supprimons tout problème d'endogénéité. Cette méthode a déjà été utilisée dans la littérature existante notamment par Dellis, Sondermann et Vansteenkiste (2017).

#### **5. Problème d'hétéroscédasticité**

Notre modèle faisant face à un problème évident d'hétéroscédasticité, il est donc nécessaire d'inclure des écarts-types robustes dans notre régression linéaire.

## V. Analyse des résultats

Avant d'effectuer notre analyse économétrique, nous pouvons effectuer une première analyse des statistiques descriptives et de la matrice de corrélation afin d'avoir une vue d'ensemble sur notre échantillon ainsi qu'une première intuition de nos résultats économétriques futurs.

### 1. Statistiques descriptives

Nous commencerons par une brève analyse des statistiques descriptives. Ces statistiques permettent de mettre directement en évidence s'il existe des écarts importants dans nos données.

Figure 1 : Tableau des statistiques descriptives de notre échantillon

<b>Variab</b> les	<b>Observations</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Écart-type</b>
<b>CE</b>	160	$7,7643 \times 10^8$	$1,6613 \times 10^{11}$	$3,6739 \times 10^{10}$	$4,6532 \times 10^{10}$
<b>PE</b>	160	0,0891	0,28580	0,18610	0,042679
<b>RM</b>	160	9950	32368	19107	5394,4
<b>NM</b>	160	$1,8660 \times 10^5$	$3,9710 \times 10^7$	$9,3756 \times 10^6$	$1,1328 \times 10^7$
<b>PG</b>	160	0,0332	0,19690	0,083851	0,028220
<b>JCI</b>	160	1	310,85	47,705	71,563
<b>JCh</b>	160	1092,6	6003,2	3036,3	921,88

A la première lecture des statistiques descriptives, on remarque directement d'importants écarts entre les minima et maxima pour l'ensemble de nos variables. Ces écarts peuvent être expliqués par la configuration de l'Europe elle-même. Les pays sont très variables en taille, population, situation économique, situation géographique et climatologique.

Concernant notre variable dépendante, on remarque en triant les données que la consommation semble être corrélée avec le nombre de ménages. On peut donc supposer que la consommation électrique dépend notamment de la taille du pays et sa densité de population. On obtient d'ailleurs les valeurs minimales pour le Luxembourg et l'Estonie et les valeurs maximales pour la France et l'Allemagne.

En ce qui concerne, le prix de l'électricité et du gaz, ces différences s'expliquent par le fait que « le prix de l'énergie dans l'UE dépend de tout une série de conditions influant sur l'offre et la demande, tels que la situation géopolitique, le bouquet énergétique national, la diversification des importations, les coûts de réseaux, les coûts liés aux mesures de protection de l'environnement, les mauvaises conditions climatiques ou le niveau des accises et des taxes. » Il est donc difficile de comparer ces différences de prix de l'électricité au sein de l'Union européenne.

Pour le chauffage et la climatisation, on observe d'après nos données une symétrie entre le nord et le sud de l'Europe. Les pays du nord étant soumis à des températures beaucoup plus froides que les pays du sud auront des besoins en chauffage beaucoup plus importants et inversement pour les pays du sud qui dépendront beaucoup plus de la climatisation dû au climat méditerranéen.

## 2. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation permet de vérifier s'il existe une relation plus ou moins forte entre les variables.

Figure 2 : coefficient de corrélation

	CE	PE	RM	NM	PG	JCI	JCh
CE	<b>1</b>						
PE	<b>- 0,0840</b>	<b>1</b>					
RM	<b>0,3765</b>	- 0,2051	<b>1</b>				
NM	<b>0,9436</b>	0,1041	0,3203	<b>1</b>			
PG	<b>0,2775</b>	0,0937	0,3988	0,1715	<b>1</b>		
JCI	<b>0,1151</b>	0,3525	- 0,1341	0,2103	- 0,0259	<b>1</b>	
JCh	<b>- 0,2178</b>	- 0,2581	- 0,1510	- 0,2928	0,0953	<b>- 0,5984</b>	<b>1</b>

Les coefficients de corrélation obtenus semblent correspondre à nos premières intuitions économiques et rejoignent les résultats obtenus dans la littérature existante. La consommation électrique a une relation forte et positive le nombre de ménage. Plus le nombre de ménages augmente et plus la consommation électrique augmente.

La corrélation entre le revenu des ménages et la consommation électrique est également intéressante. Cette corrélation est plutôt moyenne et positive. On s'attend donc à une

augmentation allant de faible à moyenne de la consommation électrique avec une augmentation du revenu.

Le signe observé du prix de l'électricité correspond à nos attentes et à la revue de la littérature. Ce signe implique qu'une augmentation du prix de l'électricité devrait entraîner une baisse de sa consommation. L'électricité est donc un bien normal.

Cependant, la corrélation étant très faible implique qu'une variation du prix de l'électricité n'aura que très peu d'impact sur sa consommation. Ce qui confirme notre hypothèse d'inélasticité entre le prix et la consommation électrique.

### 3. Analyse économétrique

Dans cette partie, nous allons étudier les résultats de la régression linéaire (MCO) effectuée à l'aide du programme Gretl. Dans un premier temps, nous analyserons le problème économétrique avec uniquement un retard temporel d'une année sur les variables présentant un risque d'endogénéité. Il s'agira de notre modèle de base.

Figure 3 : Régression linéaire du modèle de base

	<b>Coefficient</b>	<b>Erreur standard</b>	<b>T de student</b>	<b>p. critique</b>
<b>Cste</b>	4,82320	5,56727	0,8663	0,3971
<b>PE</b>	-0,120660	0,0521447	-2,314	0,0320**
<b>NM</b>	0,960679	0,316630	3,034	0,0068***
<b>RM</b>	0,322839	0,120079	2,689	0,0145**
<b>PG</b>	-0,031282	0,038924	-0,8037	0,4315
<b>JCI</b>	0,008005	0,00721613	1,109	0,2811
<b>JCh</b>	0,0558368	0,117754	0,4742	0,6408

$R^2$  ajusté = 0,423143

F-stat = 2,76511 avec une valeur p. critique = 0,0418554

## 4. Qualité du modèle

Le pouvoir explicatif du modèle est donné par le  $R^2$ . Cependant dans notre régression, le  $R^2$  est beaucoup trop influencé par les effets fixes par pays et temporels qui l'influencent par l'augmentation du nombre de variables.

Le  $R^2$  ajusté est une version modifiée du  $R^2$  qui n'augmente que si les termes ajoutés améliorent le modèle plus que prévu par le hasard. Il est toujours inférieur au  $R^2$ . Nous nous référons donc au  $R^2$  ajusté pour déterminer la qualité de notre modèle.

Avec une valeur de 0.423143, cela signifie que notre modèle explique à 42,3% les variations de la consommation électrique totale des ménages en excluant les variables explicatives non pertinentes pour déterminer la variation de la variable dépendante.

Afin de déterminer si notre modèle fait sens, nous nous référons au test de Fisher qui permet de tester la significativité conjointe des variables explicatives. Les valeurs critiques de cette statistique pour notre modèle sont : 5% : 2,63 ; 2.5% : 3,17 et 1% : 3,94.

Avec une F-stat égale à 2,76511, nous pouvons uniquement rejeter l'hypothèse au seuil de 5%. Nos variables explicatives sont donc conjointement significatives au seuil de 5% ce qui nous permet de conclure qu'elles expliquent bien les variations de la consommation totale d'électricité des ménages.

## 5. Analyse des variables

Le résultat de la régression linéaire (via la méthode des moindres carrés ordinaires) pour notre modèle affiche une significativité pour trois variables explicatives à savoir : le nombre de ménage, le prix de l'électricité et le revenu moyen des ménages. Ces variables influencent donc la consommation électrique des ménages de manière significative contrairement aux autres variables de contrôles. Il est donc intéressant d'interpréter les coefficients obtenus pour chaque variable en les comparant aux résultats observés dans la littérature existante.

Le prix de l'électricité est significatif au seuil de 5% pour la statistique de student avec un p. critique 0,0320. Le coefficient obtenu pour cette variable est de -0,120660 ce qui implique qu'une variation de 1% du prix de l'électricité entraîne en moyenne une baisse de 0,12% de la consommation électrique totale des ménages. Le coefficient de l'élasticité-prix rejoint celui de Paul J. Burke and Ashani Abayasekara (2018) ainsi que l'ensemble de la littérature sur la demande résidentielle en électricité américaine. La valeur de -0,12 pour le coefficient conforte notre hypothèse de départ selon laquelle la demande d'énergie électrique pour les ménages est inélastique au prix à court terme.

Le nombre de ménages est significatif au seuil de 1% pour la statistique de student avec un p. critique de 0,0068. Le coefficient obtenu pour cette variable est de 0,960679 ce qui implique qu'une variation de 1% du nombre de ménages entraîne en moyenne une augmentation de la consommation électrique totale des ménages de 0,96%. La variable que nous avons utilisée fait référence à la variable population que l'on peut trouver dans l'étude de Paul J. Burke and Ashani Abayasekara (2018). Le coefficient de 0,96 que nous avons obtenus est très proche de leurs estimations pour la variable population.

Le revenu moyen des ménages est significatif au seuil de 5% pour la statistique de student avec un p. critique de 0,0145. Nous obtenons une valeur pour l'élasticité-revenu de 0,322834 ce qui signifie qu'une augmentation de 1% du revenu moyen des ménages entraîne en moyenne une augmentation de la consommation électrique totale des ménages de 0,32%. Nous pouvons considérer que l'élasticité-revenu est assez inélastique bien que positive. Cette valeur est dans les mêmes ordres de grandeur que dans l'étude de Paresh Kumar Narayan, Russell Smyth, Arti Prasad (2007). Concernant l'étude de Paul J. Burke and Ashani Abayasekara (2018), la variable retenue comme indice de richesse est le PIB par tête. Les coefficients qu'ils ont trouvés pour cette variable se rapproche fortement de celui de notre variable revenu moyen.

## 6. Relation quadratique

Dans notre modèle nous suspectons qu'il pourrait y avoir des fonctions non linéaires. La variable principalement suspectée et la plus intéressante est la variable revenu. Afin de vérifier l'effet quadratique de la fonction revenu, nous avons ajouté dans notre régression le carré de la variable  $\log(\text{revenu})$ . Ci-dessous la nouvelle régression :

Figure 4 : Régression linéaire du revenu<sup>2</sup>

	<b>Coefficient</b>	Erreur standard	T de student	p. critique
Cste	30,9374	13,8230	2,238	0,0374**
PE	-0,0908043	0,0477027	-1,904	0,0722*
NM	1,07115	0,326823	3,277	0,0040***
<b>RM</b>	<b>-5,52339</b>	3,33122	-1,658	0,1137
PG	-0,0394413	0,0340456	-1,158	0,2610
JCl	0,00811406	0,00658660	1,232	0,2330
JCh	0,0576234	0,112732	0,5112	0,6151
<b>RM<sup>2</sup></b>	<b>0,306888</b>	0,175375	1,750	0,0963*

Selon les résultats obtenus, il existe une relation quadratique entre le revenu moyen des ménages et la consommation électrique totale des ménages. La variable revenu<sup>2</sup> est significative au seuil de 10%. En ce qui concerne l'interprétation des coefficients, on constate que le signe de la variable revenu est négatif alors que celui de la variable revenu<sup>2</sup> est positif. Nous avons donc une fonction en forme de U. Les coefficients indiquent que pour une valeur faible du revenu, une augmentation de celui-ci entraîne un effet négatif sur la consommation électrique jusqu'à un certain seuil où l'effet devient ensuite positif. À partir de ce seuil, la forme quadratique signifie que l'élasticité de la consommation électrique par rapport au revenu moyen augmente quand le revenu moyen augmente.

Il est nécessaire de déterminer le point de retournement de la fonction revenu à l'aide de la formule suivante :

$$x^* = | B^1 / (2B^2) | \quad [2]$$

En remplaçant les coefficients par les valeurs de la régression, nous obtenons :

$$x^* = | -5,52339 / (2 \cdot 0,306888) | = 8,999$$

Le point de retournement se situe donc pour une valeur du log(revenu) de 8,999. En comparant cette valeur à notre échantillon, il apparaît qu'aucun pays ne dispose d'une valeur inférieure à

9. Nous pouvons donc ignorer la partie de la fonction se situant avant le retournement qui est décroissante et ne considérer que la partie croissante de la fonction dont la pente augmente continuellement avec une augmentation du revenu.

Ce type de fonction implique que l'électricité est donc un bien inférieur avant de devenir un bien normal une fois le seuil de retournement dépassé.

## **VI. Limites du modèle**

Une des principales limites de notre étude concerne les données elles-mêmes. Les données récoltées par Eurostat pour le prix du gaz et de l'électricité avant 2007 ont été réalisées avec une méthodologie différente. Cela a eu pour effet de nous contraindre dans la période temporelle. Il fallait donc faire un choix de période temporelle avec comme limite l'année 2007. Notre choix s'est porté sur la période la plus récente possible afin d'avoir une étude plus actuelle.

Ce choix a eu comme conséquence une période temporelle assez restreinte. L'effet immédiat est qu'il nous a été impossible de déterminer des élasticités-prix individuellement pour chaque pays. En effet, la période temporelle choisie est trop faible pour le nombre de variables explicatives dont nous disposons et supprimer des variables explicatives aurait donné des valeurs biaisées du coefficient. Travailler sur la période temporelle avant 2007 nous aurait permis de calculer ces élasticités individuellement au détriment d'une période moins intéressante car plus ancienne et avec une méthodologie de recensement des données qui n'est plus à jour. Il faudra donc attendre quelques années encore afin de résoudre ce problème grâce à un plus grand nombre de données.

A la différence de la littérature existante, nous nous sommes restreints aux observations d'élasticités de court terme. Il serait intéressant de poursuivre cette étude afin de déterminer des élasticités de long terme au sein de l'Union européenne.

A notre connaissance, il n'existe pas dans la littérature d'étude basée uniquement sur l'Union européenne. Nos résultats ont donc principalement été comparés avec des études analysant soit les États-Unis ou un ensemble de pays complètement hétérogènes (G7, OCDE).

A la lecture des résultats de la régression, le test de Durbin-Watson ayant pour valeur 1,158606 avec un p. critique significatif à 1% indique que nous avons de l'autocorrélation positive du terme d'erreur. En effet, en se basant sur la table de Savin et White (1977), notre valeur de 1,158606 est inférieure à la première borne qui est égale à 1,543. Ce qui implique l'existence d'un lien significatif entre les résidus de notre régression. Afin de résoudre ce problème, il serait intéressant d'utiliser d'autres méthodes d'estimation ou de trouver de nouvelles variables explicatives pouvant expliquer l'information restante dans le terme d'erreur.

## **VII. Étude de cas sur la production électrique belge issue des énergies renouvelables**

### **1. Problématique environnementale**

Dans cette partie, nous étudierons l'aspect environnemental de la production d'électricité en se concentrant principalement sur le cas de la Belgique. Nous la comparerons ensuite avec les pays les plus avancés en la matière afin de situer la Belgique par rapport à cette problématique sachant que la directive européenne (2018/2001) relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables fixe des objectifs contraignant aux États membres de l'UE afin de réduire les émissions de l'Union de 40% par rapport à 1990 et ce pour l'horizon 2030<sup>1</sup>. L'objectif d'ici 2030 est que l'ensemble des États membres participent collectivement à une consommation finale brute avec 32% d'énergies renouvelables pour l'ensemble de l'Union<sup>1</sup>.

Les objectifs à atteindre diffèrent selon les pays par rapport à leur potentiel en énergie renouvelable. Des objectifs intermédiaires à l'horizon 2020 ont été fixés par l'Union dans la directive (2009/28)<sup>2</sup>. La Belgique a un objectif contraignant de 13% à atteindre dans la production d'énergie renouvelable dans la consommation finale brute et un objectif de production électrique issue d'énergie renouvelable pour 2020 de 20%<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Source : <https://www.apere.org/fr/observatoire-energies-renouvelables>

<sup>2</sup> Source : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX:32009L0028>

Pour rappel, la quatrième révolution industrielle essentiellement basé sur le numérique constitue un enjeu environnemental important. Internet qui pollue 1,5 fois plus que le transport aérien en matière d'émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère<sup>3</sup> en est le parfait exemple. Un autre exemple très actuel est le minage de la célèbre crypto-monnaie Bitcoin qui nécessite une quantité importante d'électricité<sup>4</sup>. En Chine, cette pratique pourrait être interdite en raison d'une pollution jugée inutile surtout qu'une grosse partie de l'électricité produite en en Chine pour répondre à ce besoin émane des régions charbonnières<sup>5</sup>.

Cette consommation importante doit impérativement être prise en compte surtout que le phénomène du numérique est exponentielle. La production d'électricité via les énergies renouvelables constituera donc un élément majeur afin de répondre au besoin du numérique tout en ayant un impact environnement le plus faible possible. Plusieurs usines de « minage » du Bitcoin se sont d'ailleurs installées dans des pays où l'énergie est produite essentiellement avec des énergies renouvelables<sup>6</sup>.

Dans le but de répondre à la problématique environnementale, il est maintenant essentiel de déterminer les différentes possibilités de produire de l'électricité à l'aide des énergies renouvelables et de définir les différents moyens technologiques utilisés par la Belgique en la matière.

## 2. Sources d'énergies renouvelables

Il existe plusieurs sources d'énergies renouvelables mais les cinq principales sont<sup>7</sup> :

- L'énergie solaire puisant ses ressources grâce aux rayons du soleil afin de produire de l'électricité.
- L'énergie éolienne qui utilise le vent afin de faire tourner les pales de l'éolienne qui à leur tour font tourner un générateur électrique permettant de produire de l'électricité.

---

<sup>3</sup> Source : <https://www.fournisseur-energie.com/internet-plus-gros-pollueur-de-planete/>

<sup>4</sup> Source: [https://www.lepoint.fr/monde/le-minage-du-bitcoin-bientot-hors-la-loi-en-chine-09-04-2019-2306733\\_24.php](https://www.lepoint.fr/monde/le-minage-du-bitcoin-bientot-hors-la-loi-en-chine-09-04-2019-2306733_24.php)

<sup>5</sup> Source: <https://dailygeekshow.com/interdiction-minage-bitcoin-chine/>

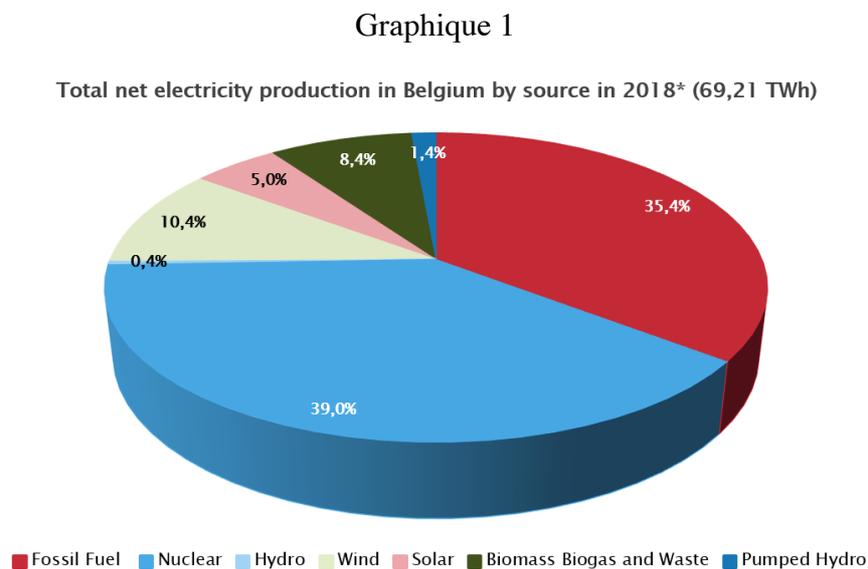
<sup>6</sup> Source : <https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/informatique-bitcoin-minage-quatre-fois-plus-energivore-celui-or-73476/>

<sup>7</sup> Source : <https://callmepower.be/fr/energie/guides/environnement/renouvelables>

- L'énergie hydraulique permettant de produire de l'électricité grâce à l'eau en utilisant notamment des barrages.
- L'énergie biomasse qui permet aux matières organiques (animales et végétales) de produire de l'énergie et notamment de l'électricité.
- L'énergie géothermique qui produit de l'énergie grâce à la chaleur naturelle dans le sol.

### 3. Types de productions électrique en Belgique

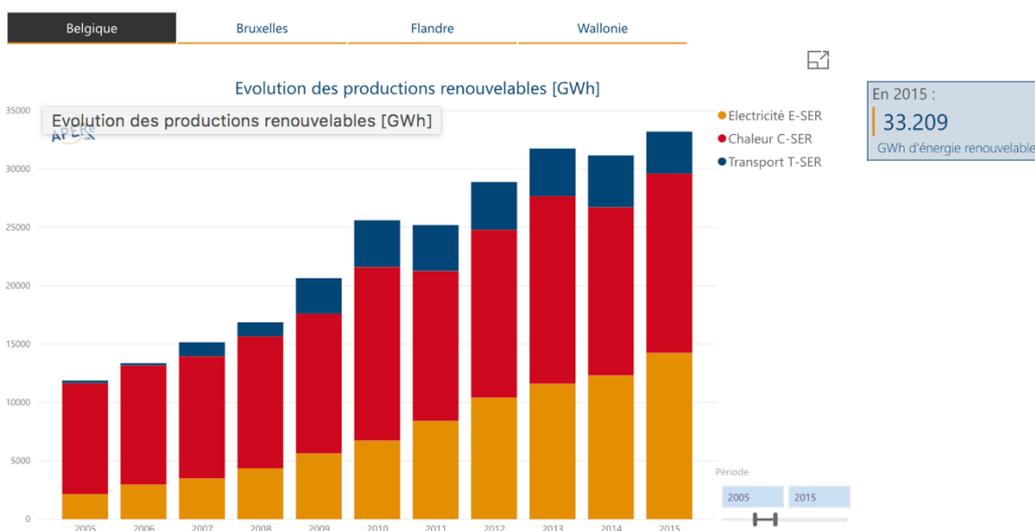
Le graphique ci-dessous représente les différentes sources (en pourcentage) utilisées dans la production électrique belge <sup>8</sup>.



A la lecture du graphique, on constate que la plus grosse partie de l'énergie électrique en Belgique est produite grâce au nucléaire. On constate néanmoins qu'environ 20% de la production électrique provient d'énergies renouvelables.

<sup>8</sup> Source : <https://www.febeg.be/fr/statistiques-electricite>

Graphique 2<sup>9</sup> : évolution des productions renouvelables

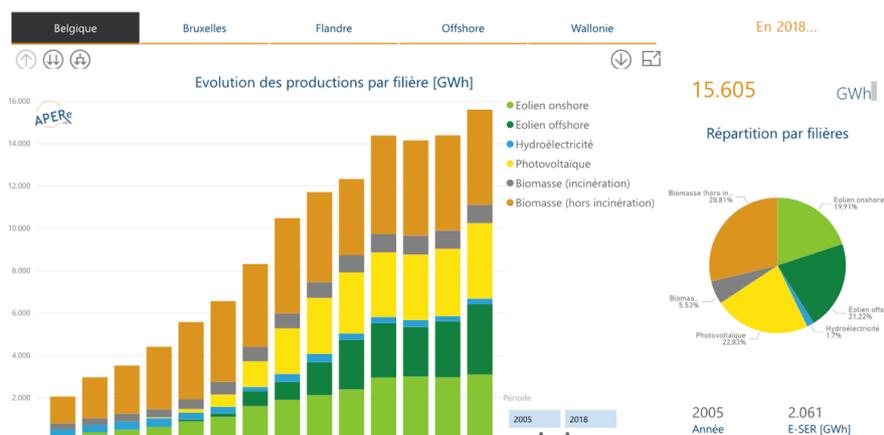


Sur le graphique 2 qui montre l'évolution des productions d'énergies issues des énergies renouvelables pour les différents secteurs, on constate que la meilleure évolution et, la plus constante se situe au niveau de l'électricité.

#### 4. Types de productions électrique provenant des énergies renouvelables en Belgique

Intéressons-nous maintenant aux différentes filières de productions d'énergies renouvelables.

Graphique 3<sup>9</sup> : évolution des productions électriques par source d'énergies renouvelables

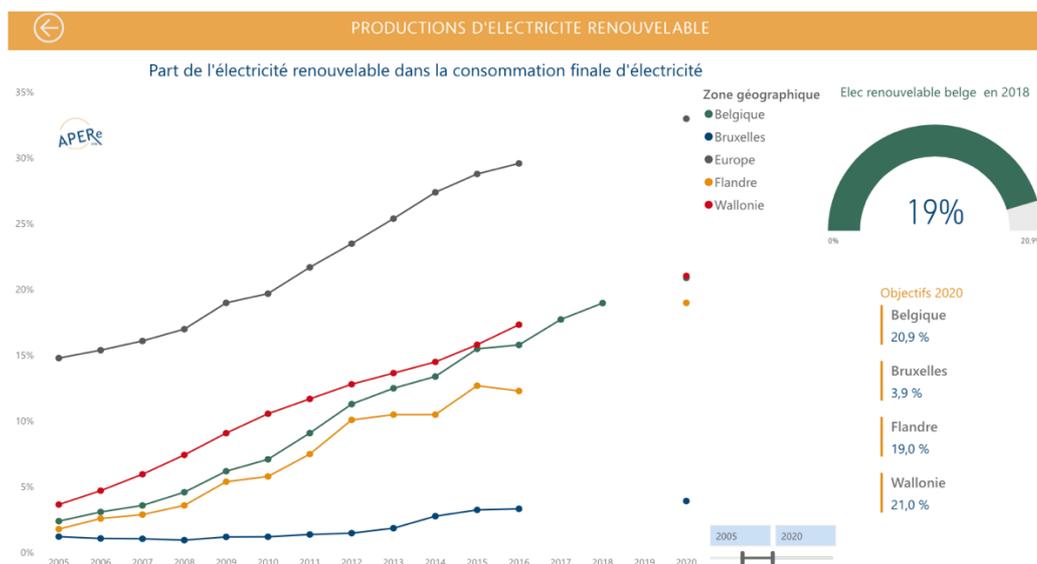


<sup>9</sup> Source : <https://www.apere.org/fr/observatoire-energies-renouvelables>

A la lecture du graphique, on constate que la Belgique se diversifie assez bien afin de produire de l'électricité à partir d'énergie renouvelable. Les principaux secteurs qui ont été développés sont les parcs éoliens, les installations solaires photovoltaïques et l'énergie issue à partir de la biomasse. Cette diversification s'explique par le potentiel limité<sup>10</sup> de la Belgique en énergie renouvelable. En effet, contrairement à d'autres pays européens comme la Suède, la Belgique ne dispose pas d'une énergie renouvelable pouvant remplir pratiquement à elle seule la fonction principale de production. La Belgique est donc obligée de diversifier ses investissements dans les diverses technologies.

La Belgique a produit 19% de sa production totale en électricité à l'aide des énergies renouvelables comme le montre le graphique 4 ci-dessous :

Graphique 4 : production d'électricité renouvelable



A titre de comparaison, la Suède qui est l'exemple type au sein de l'Union au niveau de la transition énergétique, a une production électrique issue des énergies renouvelables d'environ 60% cependant pratiquement 50% de cette production est issue uniquement de l'énergie hydroélectrique en 2012<sup>11</sup>. Elle possède des ressources dans ce domaine qui lui permette de

<sup>10</sup> Source : <https://www.elia.be/~media/files/Elia/publications-2/Rapports/Elia-view-on-Belgium-Energy-Vision-for-2050-FR.pdf>

<sup>11</sup> Source : <http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/html/inventaire/pdf/15e-inventaire-Chap03-3.5.19-Suede.pdf>

concentrer ces investissements dans cette technologie et de profiter au maximum de son plein potentiel.

Il en est de même pour la Lettonie où sa production électrique issue des énergies renouvelables avoisinait en 2012 70% de sa production totale d'électricité avec 60% issue de l'hydroélectrique<sup>12</sup>. L'Autriche est dans le même ordre de grandeur pour l'année 2018<sup>13</sup>.

Le Danemark fait aussi parti des meilleurs élèves au sein de l'Union avec 60% de sa production électrique issue des énergies renouvelables dont 50% uniquement grâce à l'éolien.

Néanmoins, le graphique 4 révèle que la Belgique a atteint une production d'électricité issue des énergies renouvelables de 19% en 2018. Avec un objectif contraignant fixé à 20% à l'horizon 2020, on peut estimer qu'elle a déjà réussi son pari au niveau d'une production plus propre de l'électricité. Cependant, elle reste à la traîne dans l'objectif d'énergie globale provenant des énergies renouvelables avec seulement 8,7% alors que l'objectif fixé par l'Union est de 13% pour 2020<sup>14</sup>.

## 5. Conclusion

L'objectif de notre étude était de définir les déterminants influençant la consommation électrique des ménages au sein de l'Union européenne, et ce afin de comprendre le comportement des consommateurs face à des variations plus ou moins importantes liées aux variables influençant la consommation électrique.

L'analyse de la revue de littérature nous a, dans un premier temps, aidé à identifier les variables pertinentes expliquant la demande électrique des ménages ainsi qu'à définir plusieurs hypothèses, et dans un second temps, nous a permis de mettre en relation nos résultats et nos analyses.

---

<sup>12</sup> Source : <http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/html/inventaire/pdf/15e-inventaire-Chap03-3.6.5-Lettonie.pdf>

<sup>13</sup> Source : [https://www.francetvinfo.fr/replay-radio/en-direct-du-monde/en-autriche-70-de-lelectricite-issue-des-energies-renouvelables\\_3401551.html](https://www.francetvinfo.fr/replay-radio/en-direct-du-monde/en-autriche-70-de-lelectricite-issue-des-energies-renouvelables_3401551.html)

<sup>14</sup> Source : <https://www.lecho.be/entreprises/energie/la-belgique-a-la-traine-dans-les-renouvelables/9976060.html>

Les résultats de nos régressions nous ont permis d'identifier deux variables essentielles expliquant la consommation électrique des ménages, le prix de cette énergie et le revenu moyen des ménages.

Ainsi, il ressort de notre analyse que l'élasticité prix de l'électricité est négative et très faible. Ce qui implique que conformément à nos hypothèses de départ, la demande en électricité est très inélastique. A court terme, le prix n'a donc pas d'influence sur la consommation électrique du secteur résidentiel au sein des 20 pays étudiés appartenant à l'Union européenne.

En ce qui concerne le revenu, nos résultats montrent une élasticité positive et plus élevée en valeur absolue que celle du prix. Il a donc plus d'influence à court terme sur la consommation électrique mais sa valeur relativement faible nous indique que le revenu est également inélastique vis-à-vis de la demande en électricité résidentielle de la zone étudiée.

Néanmoins, nous avons pu déterminer que l'élasticité avait tendance à augmenter avec des variations positives du revenu. Plus les ménages sont riches, plus l'élasticité revenu de la demande électrique augmente.

Notre étude de cas portée sur la production électrique issue des énergies renouvelables en Belgique a montré que la Belgique répond aux attentes fixées par l'Union à ce niveau. Une énergie électrique produite à l'aide des énergies renouvelables coûte moins chère en plus d'être plus propre d'après une étude réalisée par l'Ademe. Il serait intéressant de voir comment une production plus propre influencera l'élasticité-prix de l'électricité à l'avenir et comment les politiques économiques s'y adapteront.

## 6. Bibliographie

### 1. Livres

- BLANCHARD O., COHEN D., JOHNSON D, 2013, Macroéconomie, 6<sup>ème</sup> édition, Pearson, France.
- WOOLDRIDGE J., Introduction à l'économétrie, Louvain-la-Neuve, De Boeck supérieur, 2015.

### 2. Articles scientifiques

- Chandra Kiran B. Krishnamurthy et Bengt Kriström, A cross-country analysis of residential electricity demand in 11 OECD-countries. Article in SSRN Electrical Journal, Janvier 2013.
- Paul J. Burke and Ashani Abayasekara, The Price Elasticity of Electricity Demand in the United States : A Three-Dimensional Analysis. The Energy Journal, Vol. 39, No. 2. 2018 by the IAEE.
- Paresh Kumar Narayan, Russell Smyth, Arti Prasad, Electricity consumption in G7 countries: A panel cointegration analysis of residential demand elasticities, Energy Policy 35, 2007.

### 3. Articles non scientifiques et sites internet

- Eurostat (2018), Prix du gaz pour client résidentiel - données semestrielles (à partir de 2007) ; [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_pc\\_202&lang=fr](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_202&lang=fr)
- Eurostat (2018), Prix de l'électricité pour client résidentiel - données semestrielles (à partir de 2007) ; [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_pc\\_204&lang=fr](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_204&lang=fr)
- Eurostat (2018), Approvisionnement, transformation et consommation d'électricité; <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
- Eurostat (2018), Revenu moyen et médian par type de ménage ; <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>

- Eurostat (2018), Degrés-jours de chauffage et de refroidissement par pays - données annuelles ; <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
- Eurostat (2018), Nombre de ménages privés par composition du ménage, nombre d'enfants et statut professionnel au sein des ménages (1 000) ; [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=lfst\\_hhnhwhtc&lang=fr](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=lfst_hhnhwhtc&lang=fr)
- Eurostat (2018), Part de l'énergie provenant de sources renouvelables ; <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>
- Eurostat (2018), Taille moyenne des ménages ; [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=ilc\\_lvph01&lang=fr](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=ilc_lvph01&lang=fr)
- Quelle énergie choisir pour se chauffer ? <https://www.mychauffage.com/blog/quelle-energie-choisir-pour-se-chauffer>
- Quelles sont les avantages et inconvénients des pompes à chaleur ? <https://www.viessmann.be/fr/chauffage-batiments-residentiels/systeme-chauffage/questions-pompes-a-chaaleur.html>
- Faut-il encore se chauffer avec un chauffage électrique ? <https://www.picbleu.fr/page/faut-il-encore-se-chauffer-avec-un-chauffage-electrique>
- Les degrés-jour pour vous guider à travers les caprices du climat. <https://energie.wallonie.be/fr/les-degres-jours-pour-vous-guider-a-travers-les-caprices-du-climat.html?IDC=9480&IDD=12611>
- Energy statistis – cooling and heating degree days. Reference Metadata in Euro SDMX Metadata Structure (ESMS). Compiling agency: Eurostat, the statistical Office of the European Union. [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nrg\\_chdd\\_esms.htm#unit\\_measure1554283803348](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nrg_chdd_esms.htm#unit_measure1554283803348)
- kWh. <https://www.edfenr.com/lexique/kwh/>

- Eurostat, Statistiques sur les prix de l'électricité ; [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity\\_price\\_statistics/fr#Les prix de 1.27.C3.A9lectricit.C3.A9 pour les consommateurs r.C3.A9sidentiels](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics/fr#Les_prix_de_1.27.C3.A9lectricit.C3.A9_pour_les_consommateurs_r.C3.A9sidentiels)
  
- MINITAB (2018), Régression multiple : quand utiliser le  $R^2$  ajusté ou le  $R^2$  prévu ? ; <http://www.minitab.com/fr-fr/Published-Articles/Regression-multiple-R2-ajuste-R2-prevu/>
  
- Internet, le plus gros pollueur de la planète ; <https://www.fournisseur-energie.com/internet-plus-gros-pollueur-de-planete/>
  
- Le mix électrique de l'Autriche : hydraulique, fossile et biomasse ; <https://lenergeek.com/2013/08/13/le-mix-electrique-de-lautriche-hydraulique-fossile-et-biomasse/>
  
- Ademe (2018) Étude : quelle trajectoire d'évolution du #mix #électrique français d'ici 2060 ? ; <https://presse.ademe.fr/2018/12/etude-quelle-trajectoire-devolution-du-mix-electrique-francais-dici-2060.html>
  
-