

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES DE GESTION

L'adoption des voitures électriques en Belgique
facteurs socioéconomiques et influence de l'infrastructure de recharge

Kairis, Tom

Award date:
2022

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.



EFASM009 Mémoire de Fin d'Études

Master en Sciences Économiques et de Gestion

Année académique 2021-2022

L'adoption des voitures électriques en Belgique : facteurs socio-économiques et influence de l'infrastructure de recharge

Tom KAIRIS

12 juin 2022

Titulaire : Professeur Jean-Yves Gnabo

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

Table des matières

1. Introduction	4
2. Revue de la littérature	5
2.1. Intention d'adoption d'une voiture électrique	5
2.2. Adoption effective d'une voiture électrique	5
3. Modèle et méthodes	7
3.1. Présentation du modèle économétrique.....	7
3.1.1. Variable expliquée.....	8
3.1.2. Variables explicatives.....	8
3.2. Méthode des moindres carrés ordinaires	9
3.3. Traitement du potentiel problème d'endogénéité	9
4. Données.....	10
4.1. Sources des données.....	11
4.2. Description des données	11
4.2.1. Variable expliquée.....	11
4.2.2. Variables explicatives.....	11
4.3. Nettoyage et base de données finale	12
5. Résultats	13
5.1. Régression par la méthode des moindres carrés ordinaires.....	14
5.2. Traitement du potentiel problème d'endogénéité	16
5.3. Test d'homoscédasticité	16
6. Conclusion.....	17
Références bibliographiques	19
Annexe	20

Liste des tables

Table 1 : Aperçu des facteurs significatifs dans l'explication de l'adoption des véhicules électriques identifiés dans la littérature	5
Table 2 : Description des variables et sources des données	8
Table 3 : Coefficients de corrélation de Bravais-Pearson entre le nombre de supermarchés et le nombre de bornes de recharge	10
Table 4 : Statistiques descriptives	13
Table 5 : Résultat de la régression pour l'année 2020.....	14
Table 6 : Résultat de la régression pour l'année 2021	14
Table 7 : Test d'exogénéité du nombre de bornes de recharge (test de Hausman).....	16
Table 8 : Test d'homoscedasticité de la variable dépendante (test de Breusch-Pagan)	17

Liste des figures

Figure 1 : Nuages de points pour la régression de l'année 2020	20
Figure 2 : Nuages de points pour la régression de l'année 2021	22

Liste des abréviations

CO₂ : Dioxyde de carbone

MCO : Moindre Carrés Ordinaires

SPF : Service Public Fédéral

SPW : Service Public de Wallonie

1. Introduction

Le réchauffement climatique est une problématique majeure qui impose notamment de réduire les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) dans le secteur de la mobilité. Les grands centres urbains cherchent en outre à réduire la pollution automobile qui dégrade la qualité de l'air. Le remplacement progressif des voitures à moteur thermique par des voitures à moteur électrique est perçu comme un élément important à cet égard. Dans cette optique, la Commission Européenne propose d'interdire la vente de voitures à moteurs thermiques dans toute l'Union Européenne à l'horizon 2035 (Commission Européenne, 2021). En Belgique, de multiples annonces visant à promouvoir la mobilité électrique sont émises. Au niveau fédéral, la déductibilité fiscale des voitures de société sera restreinte à celles qui n'émettent pas de CO₂ à partir de 2026 (Service Public Fédéral Finances, 2021). La Région de Bruxelles-Capitale interdira à terme les véhicules à moteur thermique sur son territoire (Bruxelles Environnement, 2021), et vise en outre l'installation de 11 000 bornes de rechargement d'ici 2035 pour faciliter l'adoption des véhicules électriques (Région de Bruxelles-Capitale, 2020).

L'objectif de cette étude est d'identifier les déterminants de l'adoption de voitures électriques en Belgique. Pour ce faire, l'étude met en rapport des données officielles de nature socio-économique et sur l'infrastructure de recharge des voitures électriques, avec la part de voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles.

Des études similaires ont été réalisées aux États-Unis (e.g. Soltani-Sobh, et al., 2017) et dans plusieurs pays européens, notamment en Allemagne (e.g. Illman and Kluge, 2020), en Norvège (e.g. Mersky et al., 2016 ; Koch et al., 2021 ; Schultz et Rode, 2022) et en Suède (e.g. Egnér et Trosvik, 2018). La question de l'implantation optimale des bornes de recharge compte tenu du comportement des conducteurs de voitures électriques fait par ailleurs l'objet de recherches spécifiques (e.g. Gonzalez et al., 2014 ; De Clerck et Vanhaverbeke, 2021).

Il n'existe à notre connaissance aucune étude traitant des déterminants de l'adoption des voitures électriques en Belgique. Les résultats de cette analyse confirment l'influence de plusieurs facteurs socio-économiques sur l'adoption d'une voiture électrique, ainsi que celle de l'infrastructure de recharge, sur laquelle les pouvoirs publics peuvent agir.

La méthode de régression utilisée est celle des moindres carrés ordinaires appliquée au pourcentage de voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles, commune par commune. Les données d'infrastructure de recharge n'étant pas disponibles pour la Région Wallonne et la Région de Bruxelles-Capitale, l'analyse se concentre sur les communes flamandes (286 observations, après nettoyage des données). En outre, le nombre de bornes de recharge souffrant d'un potentiel problème d'endogénéité, une régression par la méthode des doubles moindres carrés avec variable instrumentale est effectuée pour confirmer la robustesse du modèle obtenu.

Ce document fournit une présentation de la littérature sur laquelle s'appuie l'étude. Le modèle explicatif et la méthode de régression sont ensuite explicités. La sélection et le traitement des données, ainsi que le résultat des régressions sont présentés. Les conclusions principales de cette recherche sur les déterminants de l'adoption des voitures électriques en Belgique sont finalement exposées.

2. Revue de la littérature

2.1. Intention d'adoption d'une voiture électrique

De nombreuses études se concentrent sur les facteurs influençant l'intention d'acquisition d'une voiture électrique. Singh et al. (2020) ont ainsi répertorié 211 articles de recherche revus par les pairs, et synthétisé l'état de la connaissance sur le sujet. L'intention des consommateurs est positivement corrélée à un environnement socioéconomique élevé. De même, la conscience écologiste favorise l'intention d'acquisition d'une voiture électrique. L'âge, le genre et le niveau d'étude des consommateurs sont aussi des facteurs déterminants. Par ailleurs, les éléments contextuels tels que la politique de subside ainsi que le niveau de disponibilité d'une infrastructure de recharge sont significatifs. Les principales barrières à l'intention d'acquisition sont le prix d'achat ainsi que l'autonomie limitée de ces véhicules.

2.2. Adoption effective d'une voiture électrique

Une littérature grandissante se penche sur les déterminants de l'adoption effective d'une voiture électrique par les consommateurs. Un aperçu en est fourni en Table 1.

Table 1 : Aperçu des facteurs significatifs dans l'explication de l'adoption des voitures électriques identifiés dans la littérature (N étant le nombre d'observations)

Variables explicatives pour l'adoption des voitures électriques									
Auteurs	Pays étudié	Années étudiées	N	Revenu moyen	Densité de population	Distance parcourue en voiture	Conscience écologiste	Nombre de bornes de recharge	Autres facteurs significatifs
Egnér et Trosvik (2018)	Suède	2010 - 2016	290	x		x	x	x	voitures électriques dans la flotte municipale
Illman et Kluge (2020)	Allemagne	2012 - 2017	594					x	
Koch et al. (2021)	Norvège	2012 - 2019	422	x				x	
Liu et al. (2021)	Chine	2009 - 2018	61		x			x	absence de restriction à l'achat d'une voiture électrique
Mersky et al. (2016)	Norvège	2000 - 2013	265	x		x		x	proximité d'une grande ville
Schulz et Rode (2022)	Norvège	2009 - 2019	356					x	
Soltani-Sobh et al. (2017)	États-Unis	2003 - 2011	19			x			prix de l'électricité, réseau routier urbain, incitants financiers

Ce tableau démontre que l'infrastructure occupe une place prépondérante en tant que facteur significatif dans l'adoption des voitures électriques suivie par l'impact du revenu moyen et la distance moyenne parcourue en voiture.

Revenu moyen

La corrélation positive entre l'adoption des voitures électriques dans une commune et le revenu moyen des habitants de cette commune peut s'expliquer par le prix relativement élevé d'une voiture électrique par rapport à une voiture à moteur thermique. Egnér et Trosvik (2018) trouvent par exemple qu'une augmentation de 1000 couronnes suédoises du revenu annuel moyen d'une commune entraîne une augmentation de 2,6% de la part des voitures électriques dans les ventes totales de voitures. Koch et al. (2021) et Mersky et al. (2016) indiquent également qu'il s'agit d'une variable significative dans l'explication de la part de marché des voitures électriques.

Densité de population

La densité de population reflète le caractère plus ou moins urbain d'une commune, et est un facteur explicatif de l'adoption des voitures électriques dans certaines études. Liu et al. (2021) concluent que la densité de population est significative dans l'explication de la part des voitures électriques dans le parc de « voitures commerciales » (catégorie incluant les taxis, les voitures de location, et les voitures appartenant aux autorités publiques).

Distance parcourue en voiture

Il est légitime de penser que la distance parcourue chaque jour par les automobilistes influence leur décision d'acquisition d'une voiture électrique. L'autonomie limitée des voitures électriques constitue en effet un frein à leur acquisition pour les automobilistes parcourant de longues distances. Egnér et Trosvik (2018) trouvent qu'un kilomètre supplémentaire de distance journalière parcourue par les automobilistes en moyenne diminue la part des voitures électriques dans les ventes totales de voitures de 2,3%. Mersky et al. (2016) constatent aussi que la distance journalière parcourue par les automobilistes est un frein à la croissance de la part de marché des voitures électriques.

Conscience écologiste

La conscience écologiste peut favoriser le choix d'une motorisation n'émettant ni CO₂ ni pollution locale. Egnér et Trosvik (2018) utilisent le dernier résultat du parti écologiste aux dernières élections communales comme variable explicative de leur modèle, et trouvent qu'un score électoral d'un point de pourcentage supplémentaire pour ce parti entraîne une croissance moyenne de 8,8% de la part de marché des voitures électriques.

Nombre de bornes de recharge

La disponibilité de l'infrastructure de recharge est un facteur souvent repris dans la littérature. Une densité plus importante de bornes de recharge dans une localité donnée est de nature à y favoriser l'acquisition d'une voiture électrique. Les études menées par Egnér et Trosvik (2018), Illman et Kluge (2020), Koch et al. (2021), Liu et al. (2021), Mersky et al. (2016) et Schultz et Rode (2022) concluent qu'un plus grand nombre de bornes de recharge dans une commune favorise la part de voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles.

En outre, plusieurs auteurs relèvent une possible double-causalité entre le nombre de bornes de recharge et la part de marché des voitures électriques. Une telle double-causalité serait une source de biais d'endogénéité. Koch et al. (2021) confirment la robustesse de leur conclusion

en utilisant le nombre de magasins comme variable instrumentale pour le nombre de bornes de recharge. Egnér et Trosvik (2018) adoptent une technique similaire, mais utilisent les subsides alloués aux communes pour l'installation de bornes de recharge comme variable instrumentale.

Autres facteurs explicatifs

D'autres facteurs explicatifs sont avancés dans la littérature. Egnér et Trosvik (2018) trouvent que l'intégration de voitures électriques dans la flotte de véhicules municipaux est une mesure favorable à l'augmentation de la part des voitures électriques dans les nouvelles immatriculations. Mersky et al. (2016) constatent que la proximité d'une grande ville augmente le nombre de vente de voitures électriques par habitant. Liu et al. (2021) trouvent que l'absence de restriction à l'immatriculation des voitures électriques en Chine favorise leur adoption par les consommateurs. Sur base d'une revue de données de panel au niveau des États américains, Soltani-Sobh et al. (2017) concluent qu'une augmentation du prix de l'électricité est significativement défavorable à l'adoption des voitures électriques. Les mêmes auteurs constatent que le développement d'un réseau routier urbain, ainsi que les incitants financiers favorisent l'acquisition d'une voiture électrique.

3. Modèle et méthodes

3.1. Présentation du modèle économétrique

Le modèle estimé est composé d'une variable expliquée et de cinq variables explicatives en coupe transversale, les observations étant réalisées au niveau communal. Les données disponibles permettent de réaliser deux régressions, pour l'année 2020 et 2021 respectivement.

Le modèle complet est spécifié par l'équation (1). La description des éléments de l'équation (1) et l'origine des données utilisées dans la régression sont reprises en Table 2.

$$\begin{aligned} \ln (BEVPercent_{mt}) \\ = \beta_0 + \beta_1 Income_{m2019} + \beta_2 Density_{mt} + \beta_3 Kilometers_{m2011} \\ + \beta_4 PercentVoteGreen_{m2019} + \beta_5 Charging_{mt} + \mu_{mt} \end{aligned} \quad (1)$$

Table 2 : Description des variables et sources des données

Variable	Description	Source des données
<i>ln(BEVPercent)</i>	Pourcentage de voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles	Office Belge de Statistiques
<i>Income</i>	Revenu moyen par habitant	Office Belge de Statistiques
<i>Density</i>	Nombre d'habitants par km ²	Office Belge de Statistiques
<i>Kilometers</i>	Distance domicile-travail moyenne et à vol d'oiseau	SPF Mobilité et Transports
<i>PercentVoteGreen</i>	Pourcentage de votes reçus par le parti Groen aux dernières élections	SPF Intérieur
<i>Charging</i>	Nombre de bornes de recharge par 1000 habitants	Vlaanderen Mobiliteit en Openbare Werken
β_0	Constante du modèle	
β_1 à β_5	Coefficients des régresseurs	
μ_{mt}	Terme d'erreur du modèle	
<i>m</i>	Indice de la commune	
<i>t</i>	Année 2020 ou 2021	

Ce tableau décrit les variables mais également les différentes sources de données utilisées dans la conception du modèle. Elles sont principalement issues de l'Office Belge de Statistiques, du SPF et de la Vlaanderen Mobiliteit en Openbare Werken. Les descriptions permettent une meilleure compréhension du modèle.

3.1.1. Variable expliquée

La variable expliquée est le pourcentage de voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles, enregistré commune par commune. Le pourcentage de voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles (*BEVPercent*) étant un ratio, une transformation logarithmique lui est appliquée. Cette technique est utilisée par plusieurs auteurs dont Egnér et Trosvik (2018), Koch et al. (2021) et Sierzchula et al. (2014). La variable expliquée est donc *ln(BEVPercent)*. Comme expliqué en section 4.2, les données reprises pour cette variable ont été enregistrées au 1^e août 2020 et 1^e août 2021 respectivement.

3.1.2. Variables explicatives

Les variables explicatives évaluées dans cette étude ont été choisies sur base de la revue de littérature.

Revenu moyen (Income)

Le revenu moyen d'une commune peut avoir un impact sur la décision d'adoption d'une voiture électrique dans cette commune. L'effet significatif de cette variable sur la part de marché des voitures électriques a été identifié par Egnér et Trosvik (2018), Soltani-Sobh et al. (2017) et Mersky et al. (2016). Le revenu moyen par habitant n'est pas encore disponible pour l'année 2020 au moment de l'écriture du rapport. Le revenu moyen de 2019 est donc utilisé dans les deux régressions.

Densité de population (Density)

La densité de population est identifiée par Liu et al. (2021) comme un facteur significatif dans l'explication de la part de marché des voitures électriques. La densité de population est celle recensée aux 1^{er} janvier 2020 et 1^{er} janvier 2021 pour les deux régressions respectivement.

Distance domicile-travail (Kilometers)

La distance journalière moyenne parcourue par les automobilistes peut être un facteur significatif dans l'adoption d'une voiture électrique, comme illustré par Egnér et al. (2018) et Mersky et al. (2016). La distance moyenne domicile-travail à vol d'oiseau, recensée lors d'une enquête de 2011, est utilisée dans les deux régressions.

Résultat du parti écologiste aux dernières élections (PercentVoteGreen)

La conscience écologiste est mesurée par le résultat du parti écologiste de référence aux dernières élections, de manière similaire à la méthode de Egnér et al. (2018). Le résultat du parti écologiste de référence aux élections régionales de mai 2019 est utilisé dans les deux régressions.

Nombre de bornes de recharge (Charging)

Le nombre de bornes de recharge est identifié comme un facteur significatif d'explication de l'adoption des voitures électriques par Egnér et Trosvik (2018), Illman et Kluge (2020), Koch et al. (2021), Liu et al. (2021), Mersky et al. (2016) et Schultz et Rode (2022). Le nombre de bornes de recharge pour voitures électriques est recensé aux 1^{er} janvier 2020 et 1^{er} janvier 2021 pour les deux régressions respectivement.

3.2. Méthode des moindres carrés ordinaires

Le modèle choisi étant linéaire, la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) est utilisée pour en estimer les coefficients. Le logiciel GRETL est utilisé pour effectuer les régressions.

Les résultats de l'estimation par la méthode MCO sont présentés en section 5.1.

3.3. Traitement du potentiel problème d'endogénéité

Le modèle proposé peut souffrir d'endogénéité. En effet, le lien entre le nombre de bornes de recharge et la part des voitures électriques dans le parc total de voitures pourrait être sujet à un problème de double causalité : une augmentation du nombre de voitures électriques dans une commune peut favoriser le développement des bornes de recharge dans cette commune.

Ce problème est traité par la méthode de doubles moindres carrés à l'aide d'une variable instrumentale. La variable instrumentale choisie pour le nombre de bornes de recharge est le nombre de supermarchés par commune en 2013 (variable *Stores2013*), fournie par l'Office belge de statistiques (Statbel)¹. Cette méthode s'inspire de Koch et al. (2021), qui utilisent le nombre total de magasins et de centres commerciaux par commune comme variable instrumentale pour le nombre de bornes de recharge, en argumentant que ce nombre reflète le

¹ L'Office Belge de Statistiques répertorie les statistiques des supérettes, supermarchés et hypermarchés en 2013 sur <https://bestat.statbel.fgov.be/bestat/crosstable.xhtml?view=96161045-8ec4-4a74-9dbe-49878d81dc71> (10 mars 2022). Des chiffres plus récents ne sont pas disponibles.

nombre plus ou moins importants de parkings publics où des bornes de recharge peuvent être installées.

D'un point de vue technique, le choix de la variable instrumentale *Stores2013* se justifie par les coefficients de corrélation présentés dans la Table 3 : il s'agit d'une variable fortement corrélée aux variables *Charging2020*, et *Charging2021*, avec des coefficients de corrélation de Bravais-Pearson de 0,81 et 0,69 respectivement pour l'échantillon de communes étudiées. Par ailleurs cette variable ne peut pas être suspectée d'être influencée par la proportion de voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles. On peut donc supposer qu'elle n'influence pas le terme d'erreur du modèle économétrique estimé dans cette étude.

Les résultats de l'analyse d'endogénéité sont présentés en section 5.2.

Table 3 : Coefficients de corrélation de Bravais-Pearson entre le nombre de supermarchés et le nombre de bornes de recharge

<i>Stores2013</i>	<i>Charging2020</i>	<i>Charging2021</i>	
1,0000	0,8061	0,6933	<i>Stores2013</i>
	1,0000	0,9596	<i>Charging2020</i>
		1,0000	<i>Charging2021</i>

Ce tableau démontre que la variable instrumentale représentant le nombre de supermarchés est fortement corrélée au nombre de bornes de recharge avec des coefficients de corrélation de Bravais-Pearson de 0.81 et 0.69.

4. Données

4.1. Sources des données

Quatre sources ont été exploitées pour construire la base de données complète qui a permis la réalisation de l'étude. Les statistiques d'immatriculation des voitures individuelles (en ce compris les motorisations 100% électriques) ont été obtenues sur demande auprès de l'Office Belge de Statistiques (Statbel²). Les données de revenu moyen et de densité de population proviennent directement du site Internet Statbel^{3,4}. Les données de distance moyenne entre le domicile et le lieu de travail provient de l'enquête Censur 2011⁵, et ont été obtenues sur demande auprès du Service Public Fédéral (SPF) Mobilité et Transports⁶. Les résultats du parti écologiste (Groen) aux dernières élections régionales proviennent du site web du SPF Intérieur⁷. Enfin, les données concernant l'infrastructure de recharge ont été obtenues sur demande auprès du département flamand de la mobilité et des travaux publics (Vlaanderen Mobiliteit en Openbare Werken)⁸.

4.2. Description des données

4.2.1. Variable expliquée

La variable expliquée est le pourcentage de voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles, enregistré commune par commune, aux dates du 1 août 2020 et du 1 août 2021. Cette variable est construite en divisant le nombre total d'immatriculations de voitures électriques par le nombre total d'immatriculations de voitures individuelles. Les données requises sont disponibles pour toutes les communes belges.

4.2.2. Variables explicatives

Revenu moyen

Le site Internet Statbel ne fournit pas encore les revenus moyens par commune en 2020 au moment de l'écriture de ce rapport, de sorte que les données reprises dans l'étude concernent uniquement l'année 2019. Elles sont disponibles pour toutes les communes de Belgique.

Densité de population

La densité de population est obtenue sur le site Internet Statbel pour le 1^{er} janvier 2020 et le 1^e janvier 2021. Cette donnée est disponible pour toutes les communes de Belgique.

Distance domicile-travail

La distance domicile-travail moyenne et à vol d'oiseau en 2011 a été obtenue sur demande auprès du SPF Mobilité. Le SPF Mobilité ne dispose pas d'une information plus récente permettant de représenter les distances parcourues quotidiennement en voiture par commune.

² <https://statbel.fgov.be/fr> (15 décembre 2022)

³ <https://statbel.fgov.be/fr/themes/menages/revenus-fiscaux> (15 décembre 2022)

⁴ <https://statbel.fgov.be/fr/themes/population/structure-de-la-population#figures> (02 février 2022)

⁵ https://www.census2011.be/index_fr.html (16 janvier 2022)

⁶ <https://mobilit.belgium.be/fr> (15 décembre 2022)

⁷ <https://elections2019.belgium.be/fr> (14 février 2022)

⁸ <https://www.vlaanderen.be/departement-mobiliteit-en-openbare-werken> (15 décembre 2022)

Résultat du parti écologiste aux dernières élections

Le pourcentage de votes reçus par le parti écologiste aux élections de mai 2019 est disponible pour chaque commune sur le site dédié du SPF Intérieur.

Nombre de bornes de recharge

Le nombre de bornes de recharge par commune n'est disponible que pour la Flandre, et a été obtenu sur demande auprès du département flamand de la mobilité. Les administrations wallonnes (SPW Mobilité) et bruxelloises (Bruxelles Environnement) ne disposent pas de cette information. Ceci restreint le nombre d'observations disponibles pour cette variable à 298. Le nombre de bornes de recharge pour voitures électriques par commune a été enregistré au 1^{er} janvier 2020 et au 1^{er} janvier 2021.

4.3. Nettoyage et base de données finale

Les déterminants de la part des voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles en Belgique sont évalués à l'échelon communal. Ceci porte théoriquement le nombre d'individus considérés à 581.

Le nombre de bornes de recharge par commune n'est disponible que pour les communes flamandes. La revue de littérature indique qu'il s'agit d'une variable explicative significative dans l'explication de l'adoption des voitures électriques par les automobilistes. Par conséquent, il a été décidé de limiter l'analyse aux communes flamandes, ce qui restreint le nombre d'observations disponibles pour l'analyse à 298.

Sept communes ont en outre été exclues de l'échantillon car elles présentaient des valeurs aberrantes. Quelques communes ont été écartées parce que la part des voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles au 1^{er} janvier 2020 ou au 1^{er} janvier 2021 y était supérieure à 3 points de pourcentage⁹. Plusieurs communes ont également été écartées parce que le nombre total de voitures individuelles y était supérieur au nombre d'habitants¹⁰.

Il est aussi à noter que cinq autres communes ont dû être exclues de l'échantillon car la distance domicile-travail moyenne en était inconnue.

Le nettoyage de la base de données fait passer l'échantillon de 298 à 286 communes. Les données disponibles pour chaque variable sont en coupe transversale. Les statistiques descriptives principales sont fournies en Table 4.

⁹ La moyenne et l'écart-type de la part des voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles sont dans notre échantillon respectivement de 0,44 et 0,19 points de pourcentage en 2020, et de 0,70 et 0,29 points de pourcentage en 2021. Il a été considéré qu'une part de voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles de plus de 3 points de pourcentage reflète une singularité, comme par exemple une proportion importante de voitures de société par rapport au parc de voitures privées dans la commune concernée. Cela rend la commune moins représentative pour l'étude.

¹⁰ S'il y a plus d'une voiture individuelle immatriculée par habitant dans une commune, on peut supposer qu'il existe un nombre relativement important de voitures de sociétés immatriculées dans cette commune. Cela rend la commune moins représentative pour l'étude.

Table 4 : Statistiques descriptives

	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Observations
<i>BEVPercent2020</i>	0,438	0,401	0,147	1,630	286
<i>BEVPercent2021</i>	0,701	0,652	0,262	2,946	286
<i>ln_BEVPercent2020</i>	- 0,905	- 0,914	- 1,915	0,489	286
<i>ln_BEVPercent2021</i>	- 0,422	- 0,427	- 1,338	1,081	286
<i>Income2019</i>	21 047	20 801	14 712	31 801	286
<i>Density2020</i>	565,8	412,7	51,9	3360,3	286
<i>Density2021</i>	568,3	415,0	51,4	3361,9	286
<i>Kilometers2011</i>	16,0	15,6	9,3	35,0	286
<i>PercentVoteGreen</i>	8,4	7,4	2,8	26,6	286
<i>Charging2020</i>	12,8	6,0	0	296	286
<i>Charging2021</i>	17,7	9,0	1	452	286

Ce tableau présente les statistiques descriptives des variables de notre modèle après avoir été nettoyées. Le nombre d'observations représente les communes ayant des données probantes pour les différentes variables explicatives. Ce tableau montre une augmentation notable du pourcentage de voitures électriques dans le parc total et du nombre de bornes de recharge de 2020 à 2021 pour une densité de population n'ayant pas fortement évolué.

5. Résultats

5.1. Régression par la méthode des moindres carrés ordinaires

La relation entre le pourcentage de voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles et les variables explicatives est estimée pour les années 2020 et 2021. Les résultats sont présentés en Table 5 et Table 6. Une visualisation graphique des régressions par nuages de points est disponible en Annexe (Figure 1 et Figure 2).

Table 5 : Résultat de la régression pour l'année 2020

Variable dépendante : Pourcentage de voitures électriques dans le parc total en 2020 (ln)					
Variabiles indépendantes	Coefficient	Écart-type	t-stat	p-valeur	Significativité
Constante	- 2,74	0,173	- 15,9	7,63e-41	***
Revenu de 2019	9,25e-05	7,84e-06	11,8	2,37e-26	***
Densité de population 2020	- 1,38e-05	3,92e-05	- 0,351	0,7255	
Distance domicile-travail 2011	- 0,0209	0,00518	- 4,04	6,91e-05	***
Résultat de Groen aux élections 2019	0,0220	0,00602	3,65	0,0003	***
Nombre de bornes de recharge 2020	0,00273	7,39e-04	3,69	0,0003	***
Nombre de communes observées (N)	286				
Coefficient R^2	0,543				* Significatif au seuil de 10%
Coefficient R^2 ajusté	66,5				** Significatif au seuil de 5%
Statistique de Fisher F	1,24e-45				*** Significatif au seuil de 1%
p-valeur de F					

Ce tableau présente le résultat de la régression linéaire par la méthode des moindres carrés ordinaires pour l'année 2020. Les variables indépendantes sont significatives au seuil de 1% excepté la variable de densité de population en 2020.

Table 6 : Résultat de la régression pour l'année 2021

Variable dépendante : Pourcentage de voitures électriques dans le parc total en 2021 (ln)					
Variabiles indépendantes	Coefficient	Écart-type	t-stat	p-valeur	Significativité
Constante	- 1,89	0,159	- 11,88	1,27e-26	***
Revenu de 2019	7,83e-05	7,17e-06	10,92	2,37e-23	***
Densité de population 2021	- 1,60e-05	3,56e-05	- 0,450	0,0653	
Distance domicile-travail 2011	- 0,0218	0,00473	- 4,62	5,97e-06	***
Résultat de Groen aux élections 2019	0,0145	0,00554	2,62	0,0093	***
Nombre de bornes de recharge 2021	0,00224	4,60e-04	4,87	1,87e-06	***
Nombre de communes observées (N)	286				
Coefficient R^2	0,504		*		Significatif au seuil de 10%
Coefficient R^2 ajusté	57,0		**		Significatif au seuil de 5%
Statistique de Fisher F	9,32e-41		***		Significatif au seuil de 1%
p-valeur de F					

Le test de Fisher permet de rejeter l'hypothèse que le modèle ne présente pas de pouvoir explicatif à un seuil d'erreur de moins de 1%. Les p-valeurs de la statistique F sont en effet très inférieures à 0,01. En observant les t-stat et p-valeurs correspondantes des coefficients estimés des variables explicatives, on constate que le revenu moyen, la distance domicile-travail, le résultat du parti écologiste aux dernières élections et le nombre de bornes de recharge sont des variables significatives dans l'explication du pourcentage de voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles, à un seuil d'erreur de moins de 1% (test bilatéral). Ces résultats sont en ligne avec les conclusions d'études antérieures réalisées pour d'autres pays (Egnér et Trosvik, 2018 ; Illman et Kluge, 2020 ; Koch et al., 2021 ; Liu et al., 2021 ; Mersky et al., 2016 ; Schulz et Rode, 2022 ; Soltani-Sobh et al., 2017). La densité de population, censée refléter le caractère plus ou moins urbain d'une commune, n'est quant à elle pas significative dans l'explication de la part des voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles.

La diminution du coefficient de détermination R^2 entre la régression sur l'année 2020 ($R^2 = 0,543$) et 2021 ($R^2 = 0,504$) pourrait être expliquée par un plus grand décalage temporel entre la variable expliquée et les variables explicatives revenu moyen, distance domicile-travail, et résultat du parti écologiste aux dernières élections.

Selon le modèle retenu¹¹, et suivant l'estimation par la méthode des moindres carrés ordinaires, une augmentation de 1000 euros de salaire annuel moyen a entraîné une augmentation moyenne de respectivement 9,25% et 7,83% de la part de voitures électriques dans le parc total de voitures en 2020 et 2021. Un kilomètre de distance supplémentaire à vol d'oiseau pour se rendre au lieu de travail réduit la part de voitures électriques dans le parc total de voitures de respectivement 2,09% et 2,18% en 2020 et 2021. Un point de pourcentage

¹¹ Dans la mesure où le modèle économétrique considéré est semi-logarithmique, les coefficients des variables explicatives donnent l'accroissement relatif de la variable expliquée lorsque les variables explicatives augmentent d'une unité.

supplémentaire engrangé par le parti écologiste aux dernières élections entraîne une augmentation moyenne de respectivement 2,20% et 1,45% de la part de voitures électriques dans le parc total en 2020 et 2021. Enfin une borne de recharge supplémentaire dans une commune donne lieu à un accroissement moyen de respectivement 0,273% et 0,224% de la part de voitures électriques dans le parc total de voitures en 2020 et 2021.

5.2. Traitement du potentiel problème d'endogénéité

Comme expliqué en section 3.3, une double causalité peut être suspectée entre les variables nombre de bornes de recharge et part de voitures électriques dans le parc total. Une telle double-causalité serait cause d'endogénéité, donc de biais dans l'estimation du coefficient de la variable nombre de bornes de recharge par la méthode des MCO.

La présence d'endogénéité est testée en recourant au test de Hausman, et en utilisant la variable nombre de supermarchés comme instrument pour la variable nombre de bornes de recharges. Le résultat du test est fourni en Table 7.

Table 7 : Test d'exogénéité du nombre de bornes de recharge (test de Hausman)

2020		2021	
Statistique de Hausman	0.00226	Statistique de Hausman	0.404
p-valeur (χ^2 à 1 degré de liberté)	0.962	p-valeur (χ^2 à 1 degré de liberté)	0.525

La p-valeur de la statistique de Hausman par rapport à la distribution χ^2 à 1 degré de liberté (une variable instrumentale) est très supérieure aux seuils d'erreur habituels. Dès lors, il n'est pas possible de rejeter l'hypothèse nulle que l'estimateur du coefficient de la variable nombre de bornes de recharge obtenu par la méthode des MCO n'est pas significativement différent de celui obtenu par la méthode de la variable instrumentale. Ce test confirme la robustesse de l'estimateur obtenu par la méthode des MCO, qui est à privilégier puisqu'il est plus précis que celui obtenu par la méthode de la variable instrumentale.

5.3. Test d'homoscédasticité

L'observation des graphiques de régression de la variable dépendante sur les variables explicatives prises individuellement (Figure 1 et Figure 2 en Annexe) ne fait pas suspecter un problème d'hétéroscédasticité qui pourrait compromettre l'hypothèse d'efficacité de l'estimation par la méthode des moindres carrés ordinaires.

L'hypothèse d'homoscédasticité de la variable dépendante par rapport aux variables indépendantes est confirmée par un test de Breusch-Pagan, qui évalue si la variance des résidus des régressions effectuées dans cette étude dépend d'une combinaison linéaire quelconque des variables explicatives. Le résultat du test est présenté en Table 8. La comparaison de la statistique de Breusch-Pagan avec la distribution χ^2 à 5 degrés de liberté (cinq variables explicatives) ne permet pas de rejeter l'hypothèse nulle d'homoscédasticité (p-valeur très supérieure aux seuils d'erreur habituels).

Table 8 : Test d'homoscedasticité de la variable dépendante (test de Breusch-Pagan)

2020		2021	
Statistique de Breusch-Pagan	6,05	Statistique de Breusch-Pagan	3,93
p-valeur (χ^2 à 5 degrés de liberté)	0,301	p-valeur (χ^2 à 5 degrés de liberté)	0,560

Ce tableau présente le résultat d'un test d'homoscedasticité de la variable dépendante suivant lequel l'hypothèse nulle d'homoscedasticité ne peut pas être rejetée.

6. Conclusion

Les données collectées auprès d'instances officielles belges permettent d'établir un modèle prédictif du pourcentage de voitures électriques dans le parc total de voitures individuelles au niveau communal jouissant d'un pouvoir explicatif réel. L'analyse est limitée aux communes flamandes, car le nombre de bornes de recharge par commune n'est disponible que pour la Flandre, mais pourrait être étendue à l'ensemble des communes belges si cette donnée était à disposition pour l'ensemble du territoire. Après nettoyage de la base de données, 286 communes ont pu être intégrées dans l'analyse.

Selon le modèle retenu, et suivant l'estimation par la méthode des moindres carrés ordinaires, une augmentation de 1000 euros de salaire annuel moyen a entraîné une augmentation moyenne de respectivement 9,25% et 7,83% de la part de voitures électriques dans le parc total de voitures en 2020 et 2021. Un kilomètre de distance supplémentaire à vol d'oiseau pour se rendre au lieu de travail réduit la part de voitures électriques dans le parc total de voitures de respectivement 2,09% et 2,18% en 2020 et 2021. Un point de pourcentage supplémentaire engrangé par le parti écologiste aux dernières élections entraîne une augmentation moyenne de respectivement 2,20% et 1,45% de la part de voitures électriques dans le parc total en 2020 et 2021. Enfin une borne de recharge supplémentaire dans une commune donne lieu à un accroissement moyen de respectivement 0,273% et 0,224% de la part de voitures électriques dans le parc total de voitures en 2020 et 2021.

La potentielle endogénéité du nombre de bornes de recharge par commune dans le modèle a été testée via l'utilisation d'une variable instrumentale. L'analyse conclut que l'estimateur du coefficient de la variable nombre de bornes de recharge calculé par la méthode des MCO est robuste, et peut être conservé.

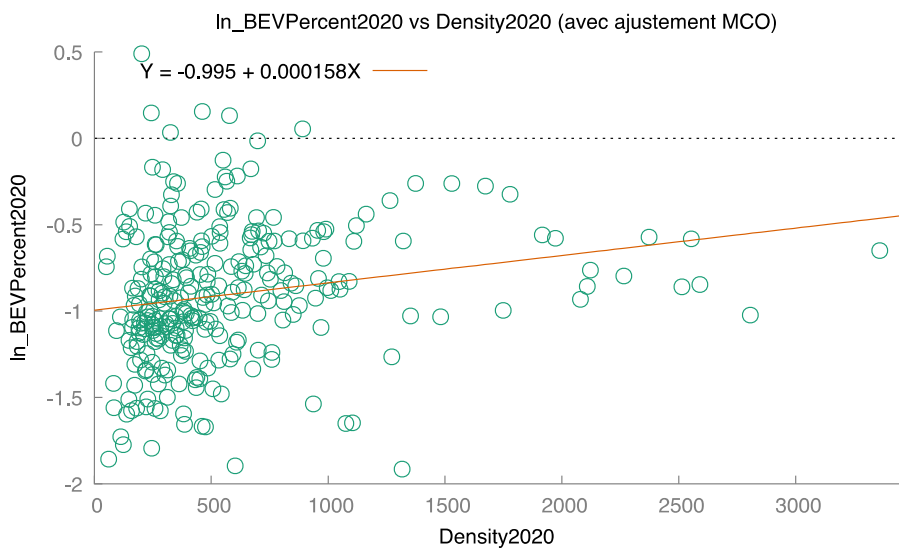
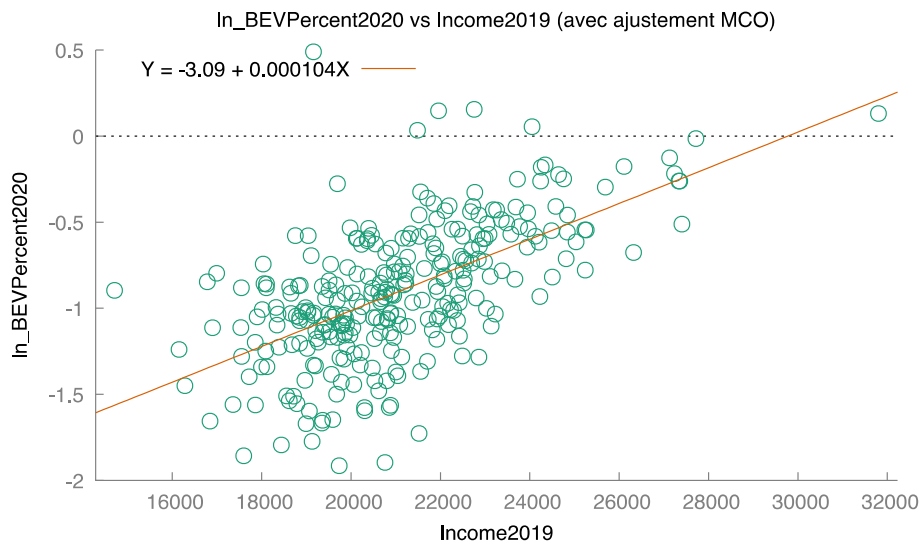
Cette analyse révèle que plusieurs conclusions provenant d'études antérieures menées pour d'autres pays sur les déterminants de l'adoption des voitures électriques sont aussi applicables aux villes flamandes. Le niveau de revenu, ainsi que la conscience écologiste, favorisent significativement l'adoption d'une voiture électrique. La distance domicile-travail est quant à elle un frein à l'acquisition d'une voiture électrique. Enfin, les pouvoirs publics peuvent accélérer l'adoption des voitures électriques en favorisant l'implantation de bornes de recharges supplémentaires sur le territoire.

Références bibliographiques

- BRUXELLES ENVIRONNEMENT (2021), *Stratégie « Low Emission Mobility »*. En ligne : <https://environnement.brussels/thematiques/mobilite/strategie-low-emission-mobility>. Consulté le 27/03/2022.
- COMMISSION EUROPEENNE (2021), *Make transport greener*, En ligne : https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_21_3665. Consulté le 27/03/2022.
- DE CLERCK Q. et VANHAVERBEKE L. (2021), « Quels modèles pour le déploiement d'une infrastructure de recharge publique pour véhicules électriques en Région de Bruxelles-Capitale ? », *Brussels Studies*, n°162.
- EGNER F. et TROSVIK L. (2018), « Electric vehicle adoption in Sweden and the impact of local policy instruments », *Energy Policy*, n°121.
- GONZALEZ J., ALVARO R., GAMALLO C., FUENTES M., FRAILE-ARDANUY J., KNAPEN L. et JANSSENS D. (2014), « Determining Electric Vehicle Charging Points Locations Considering Drivers' Daily Activities », *Procedia Computer Science*, n°32.
- ILLMAN U. et KLUGE J. (2020), « Public charging infrastructure and the market diffusion of electric vehicles », *Transportation Research Part D*, n°86.
- KOCH N., RITTER N., ROHLF A. et SCARAZZATO F. (2021), « Network Effects in Mature Electric Vehicle Markets: Lessons from a Decade of Electrification and Infrastructure Subsidies in Norway », *8th Annual Conference of the French Association of Environment and Resources Economists*.
- LIU X., SUN X., ZHENG H. et HUANG D. (2021), « Do policy incentives drive electric vehicle adoption? Evidence from China » », *Transportation Research Part A*, n°150.
- MERSKY A., SPREI F., SAMARAS C. et QUIAN Z. (2016), « Effectiveness of incentives on electric vehicle adoption in Norway », *Transportation Research Part D*, n°46.
- SCHULZ F. et RODE J. (2022), « Public charging infrastructure and electric vehicles in Norway », *Energy Policy*, n°160.
- SERVICE PUBLIC FEDERAL FINANCES (2021), « Loi du 23 novembre 2021 organisant le verdissement fiscal et social de la mobilité », *Moniteur belge*, 3 décembre 2021.
- SIERZCHULA W., BAKKER S., MAAT K., et VAN WEE B. (2014), « The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption », *Energy Policy*, n°68.
- SINGH V., SINGH V. et VAIBHAV S. (2020), « A review and simple meta-analysis of factors influencing adoption of electric vehicles », *Transportation Research Part D*, n°86.
- SOLTANI-SOBH A., HEASLIP K., STEVANOVIC A., BOSWORTH R., et RADIVOJEVIC D (2017), « Analysis of the electric vehicles adoption over the United States », *Transportation Research Procedia*, n°22.
- REGION DE BRUXELLES-CAPITALE (2020), *Vision sur le déploiement d'une infrastructure de recharge pour véhicules électriques*, En ligne : https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/note_vision_regionale_bornes_fr.pdf. Consulté le 27/03/2022.

Annexe

Figure 1 : Nuages de points pour la régression de l'année 2020



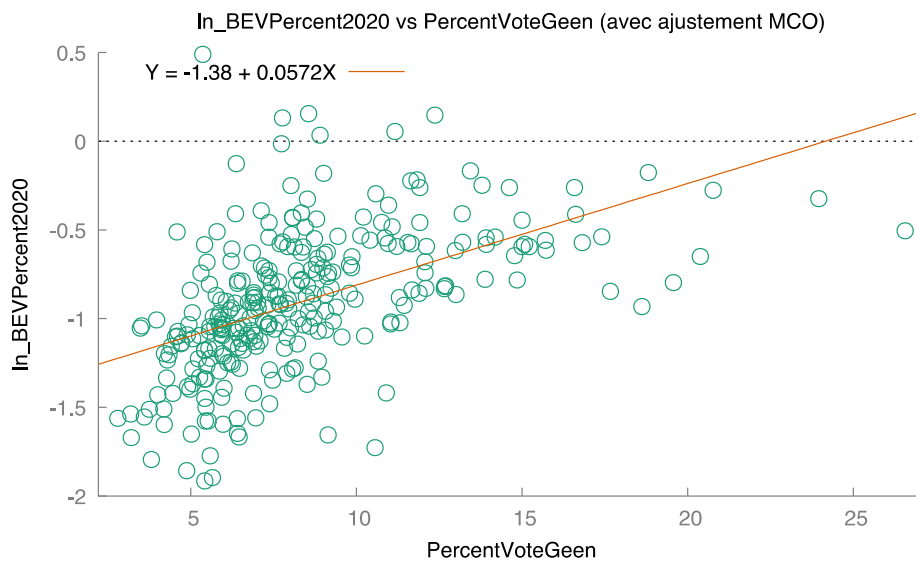
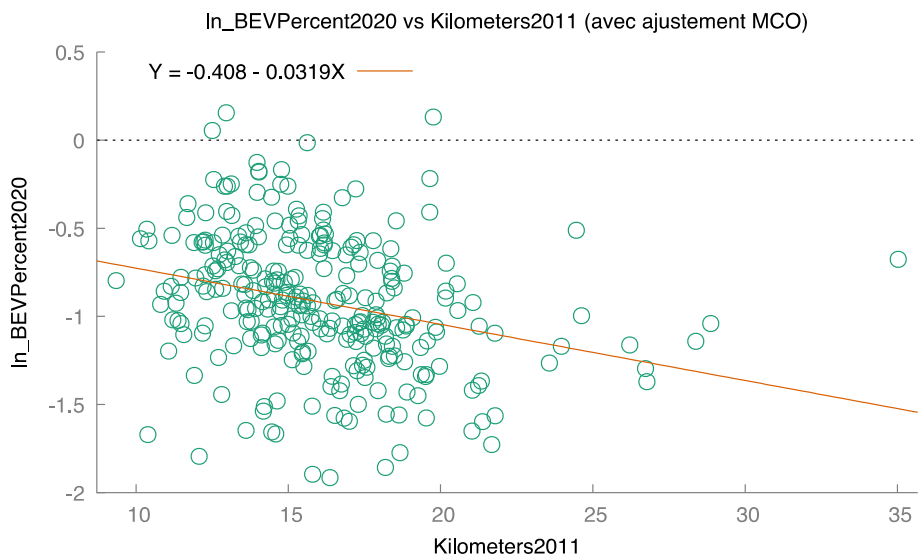


Figure 2 : Nuages de points pour la régression de l'année 2021

