UCLouvain

epl

École polytechnique de Louvain

How many cars do we need in Belgium?

What is the potential of shared mobility in Belgium?

Auteur: **Matthias Brabant**
Promoteur: **Francesco Contino**
Lecteurs: **Xavier Rixhon, Diederik Coppitters**
Année académique 2024–2025
Master [120] : ingénieur civil en génie de l'énergie

Remerciements

Je tenais tout d'abord à remercier Prof. Francesco Contino de m'avoir guidé à travers ce mémoire et de l'avoir nourri de ses idées.

Je voudrais également remercier messieurs Diederik Coppitters et Xavier Rixhon de leur aide dans la prise en main respectivement de GIS et Energyscope.

Je souhaite aussi remercier Margaux Hanut de m'avoir partagé le mémoire qu'elle réalise cette même année sur l'actualisation d'EnergyScope en 2025. Cette base de travail mise à jour rend les résultats obtenus les plus réalistes possibles.

Mes remerciements vont à tous les enseignants et les assistants de l'École Polytechnique de Louvain, et plus particulièrement à ceux impliqués dans le programme de master Énergie.

Finalement, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers mes proches pour leur soutien tout au long de mon parcours, ma belle famille pour leurs encouragements et la relecture ainsi qu'à Mattéo Pieteraerens et Raphaël Defroyennes, deux étudiants de l'EPL, de m'avoir toujours soutenu et motivé.

Résumé

Ce mémoire analyse le rôle que peut jouer la mobilité partagée dans la transition énergétique de la Belgique. Le secteur des transports, premier émetteur national de CO_2, doit évoluer pour répondre aux objectifs européens de réduction des émissions de 55 % d'ici 2030 et de neutralité carbone en 2050. Après une courte revue de la littérature sur la mobilité en Belgique, l'étude explore les différentes solutions de partage et les contraintes liées à leur mise en œuvre. La méthodologie repose sur l'utilisation d'un Système d'Information Géographique (GIS) pour identifier le potentiel des communes et sur le modèle EnergyScope pour évaluer l'impact de différents scénarios sur le nombre de véhicules, les coûts, la demande énergétique et les émissions. Les résultats montrent qu'une hausse importante de la mobilité partagée pourrait diviser significativement le parc automobile, améliorer les performances énergétiques des véhicules et réduire les émissions tout en libérant de l'espace urbain. Néanmoins, l'adhésion de la population et les disparités régionales font partie des défis majeurs rencontrés. Ainsi, ce travail met en évidence que la mobilité partagée, bien qu'insuffisante en tant que technologie seule, constitue un levier incontournable pour une transition vers un système de transport durable en Belgique.

Table des matières

Remerciements **i**

Résumé **ii**

1 Introduction **1**

2 Situation actuelle **2**
2.1 Contexte 2
2.2 Émissions et habitudes 2
2.3 Infrastructure 10
2.4 Économie 13
2.5 Aspect psychologique 14

3 Initiatives **17**
3.1 Objectifs belges 17
3.2 Vision Rail 2040 17
3.3 Transport public 18

4 Mobilité partagée **21**
4.1 Voiture partagée 21
4.1.1 Station based 22
4.1.2 Free-floating 23
4.1.3 Partage de véhicule entre personnes 24
4.2 Covoiturage 26
4.3 Voitures de société 28
4.4 Exemples inspirants 30

5 Contraintes **32**
5.1 Accessibilité technologique 32
5.2 Climat 32
5.3 Densité et répartition démographique 34
5.4 Coût 36

6 Système d'Information Géographique (GIS) 39
6.1 Méthodologie . . . 39
6.1.1 Approche GIS et pondération des critères . . . 39
6.1.2 Simulation Monte Carlo . . . 41
6.2 Description des critères . . . 41
6.2.1 Intermodalité . . . 41
6.2.2 Population et usage . . . 42
6.2.3 Accessibilité des commerces et écoles . . . 43
6.3 Pondération des critères . . . 44
6.4 Résultats . . . 44
6.4.1 Potentiel de la voiture partagée . . . 44
6.4.2 Analyse de l'incertitude . . . 46
6.4.3 Étude de la dominance des critères . . . 48
6.4.4 Parallèle entre GIS et la réalité . . . 50

7 EnergyScope 53
7.1 Lien entre GIS et EnergyScope . . . 53
7.2 Méthodologie . . . 53
7.3 Remplacement de la voiture individuelle . . . 54
7.4 Report modal . . . 55
7.5 Hypothèse sur le temps de charge et de décharge des véhicules partagés 56

8 Scénarios 58
8.1 Scénario de référence . . . 58
8.2 Premier Scénario : Plein potentiel de la voiture partagée . . . 59
8.2.1 Nombre de voitures . . . 61
8.2.2 Coût . . . 61
8.2.3 Capacité installée . . . 62
8.2.4 Émissions . . . 64
8.3 Second scénario : Participation des communes au score moyen supérieur à 50% . . . 65
8.3.1 Nombre de voitures . . . 65
8.3.2 Coût . . . 66
8.3.3 Capacité installée . . . 66
8.3.4 Émissions . . . 67
8.4 Troisième scénario : Participation réaliste en fonction du potentiel . 68
8.4.1 Nombre de voitures . . . 68
8.4.2 Coût . . . 69
8.4.3 Capacité installée . . . 70
8.4.4 Émissions . . . 70
8.5 Quatrième scénario : Évolution temporelle de la participation . . . 71

8.5.1 Nombre de voitures 72
8.6 Coût 72
8.6.1 Capacité installée 72
8.7 Comparaison avec le scénario CLEVER 73
8.7.1 Implémentation scénario CLEVER dans Energyscope 74
8.7.2 Comparaison entre le modèle et CLEVER 76

9 Conclusion **78**

Annexes **86**

Chapitre 1

Introduction

La Belgique, en tant que pays membre de l'Union Européenne, s'est engagée à réduire considérablement ses émissions de CO_2 à travers le Green Deal. L'objectif européen est de réduire de 55% les émissions d'ici 2030 et dans un second temps être neutre à l'horizon 2050[1].

Cet objectif ambitieux nécessite des changements profonds dans tous les aspects de la vie sociétale belge. Tous les secteurs d'activité qui nous entourent doivent participer à cette initiative afin d'y parvenir.

Ce mémoire se concentrera sur le secteur du transport et plus particulièrement sur la mobilité des citoyens belges. C'est en effet le plus gros émetteur de CO_2, comparé aux autres secteurs d'activité. Ce secteur est par ailleurs directement lié aux habitudes de la population belge, ce qui signifie qu'il souffre d'une moindre inertie comparativement à d'autres. L'industrie, par exemple, ne connaît pas toujours d'alternative satisfaisante pour initier des changements.

Le but de ce mémoire est d'étudier le potentiel de la mobilité partagée en Belgique. La structure sera, pour ce faire, scindée en deux temps : une première partie vise à dresser le constat de la situation actuelle de la mobilité sur le territoire belge ainsi que des alternatives qui apparaissent. Elle sera suivie d'une section réservée à la réalisation de trajectoires de mobilité qui pourraient être mises en place par les politiques locales et nationales. Leurs différents impacts sur la vie des citoyens belges y seront analysés.

Chapitre 2

Situation actuelle

2.1 Contexte

L'Homme utilise les énergies fossiles depuis de très nombreuses années, ce qui explique en partie la situation actuelle en termes de réchauffement climatique et les nombreuses autres problématiques environnementales que l'histoire contemporaine a traversées et traversera.

Aujourd'hui, les conséquences de l'emploi de ce type d'énergie sont connues par la grande majorité de la population. Néanmoins, cette utilisation massive des énergies fossiles rend la transition vers d'autres sources extrêmement lente et difficile sur de nombreux aspects. Le fait que l'économie - et plus largement la vie de chacun d'entre nous - repose à ce point sur ces sources rend les changements complexes puisqu'il ne s'agit pas d'un simple maillon mais d'une chaîne entière à repenser. Les conséquences de ces changements ont donc aussi bien des répercussions sur la vie économique que sociale et sociétale.

Comme illustré clairement sur le graphe 2.1, tous les secteurs d'activité sont concernés par les émissions, notamment parce-que cette source d'énergie est devenue progressivement indispensable. On observe tout de même que le secteur majoritaire est celui du transport, sur lequel on se concentrera en particulier et ce uniquement à travers la mobilité.

2.2 Émissions et habitudes

La Belgique s'est, comme énoncé précédemment, accordée avec tous les pays membres de l'Union Européenne sur la neutralité carbone en 2050. Bien que cet

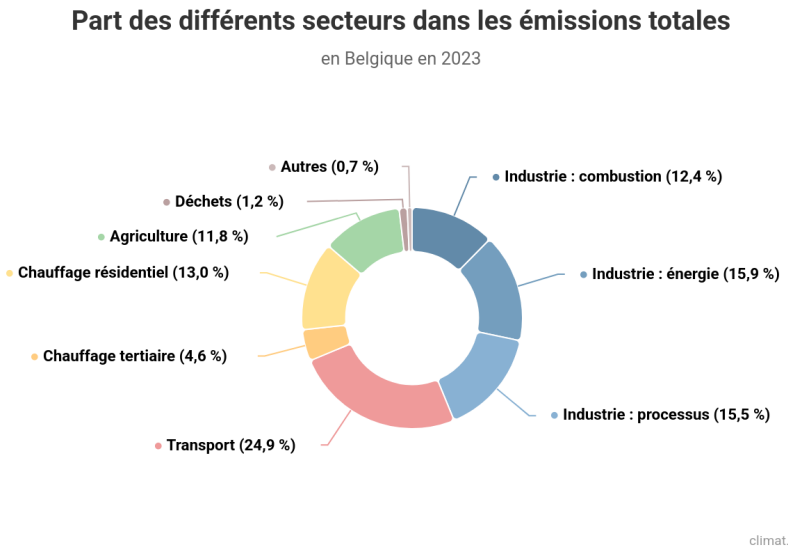


FIGURE 2.1 – Secteur du transport étant le plus gros émetteur de CO_2. *Source :* Climat.be, consulté le 3 août 2025.

objectif soit fortement attaqué sur sa faisabilité, il traduit la ferme volonté des politiques et donc de la population de veiller aux émissions de CO_2 et ainsi limiter tous les dégâts climatiques.

Une conséquence immédiate de cette décision est l'accélération de la diminution d'émissions de gaz à effet de serre dont le CO_2 depuis la création du Green Deal en 2019, comme l'illustre la figure 2.2. Cette diminution reste à nuancer suite à la crise sanitaire du COVID19 qui a suspendu une partie de la vie économique et industrielle du pays et donc les émissions qui y sont liées. En effet, le fait que ces événements soient contemporains ne permet pas immédiatement de visualiser indiscutablement l'effet de l'engagement européen.

Cette période a cependant eu des conséquences positives sur la conscience écologique. Le confinement forcé a poussé la population à repenser ses modes de consommation, son rythme de vie, sa conception du travail, comme par exemple en préférant le télé-travail lorsque c'est possible et autres. Cette réflexion profonde a des effets sur la consommation, d'ailleurs toujours perceptibles plusieurs années plus tard.

Si l'on remonte plus loin dans le passé, les émissions de CO_2 en Belgique sont en déclin depuis 2005, comme on peut le constater sur la figure 2.2. Bien que cette nouvelle soit motivante pour la suite, cette courbe n'est pas parfaite. Elle

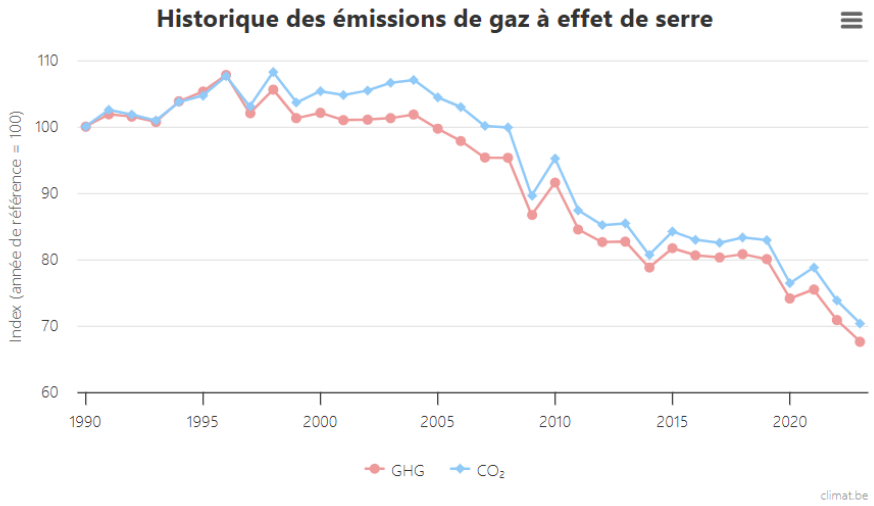


FIGURE 2.2 – Réduction des émissions propres de GES et de CO_2 depuis 1990. *Source :* Climat.be, consulté le 3 août 2025.

ne permet pas de considérer en parallèle du CO_2 émis en Belgique, celui qui est lié aux produits importés. En effet, la Belgique, tout comme le reste de l'Europe, perd progressivement ses industries les plus émettrices qui tendent à s'expatrier à la recherche de normes environnementales et sociales plus favorables. Connue sous le nom de désindustrialisation, cette tendance à l'expatriation est dommageable puisque, l'Europe en général, perd petit à petit le contrôle sur les plus gros émetteurs et applique ses règles sur les quelques industries qui persistent sur son territoire.

Il est donc intéressant de prendre en compte les émissions en "net", résultant de ce qui est produit et consommé en Belgique ainsi que ce qui y est importé. Sur la figure 2.3, on observe que la production de CO_2 reste relativement inchangée ces 20 dernières années. Cela contraste avec le graphe précédent, révélant qu'il y a une nette diminution 2.2 de la production de GES en Belgique. Il semble donc aussi important de considérer les émissions dans leur globalité, sans individualiser le territoire européen. Ceci évitera de masquer la simple délocalisation des plus gros émetteurs vers des pays plus tolérants sur le plan environnemental.

Avant de plonger dans les valeurs d'émission, il est indispensable de donner une définition de l'unité employée : le CO_2 équivalent. Il est défini par Eurostat comme étant :"une mesure métrique utilisée pour comparer les émissions de divers gaz à effet de serre sur la base de leur potentiel de réchauffement global (PRG), en convertissant les quantités des divers gaz émis en la quantité équivalente de

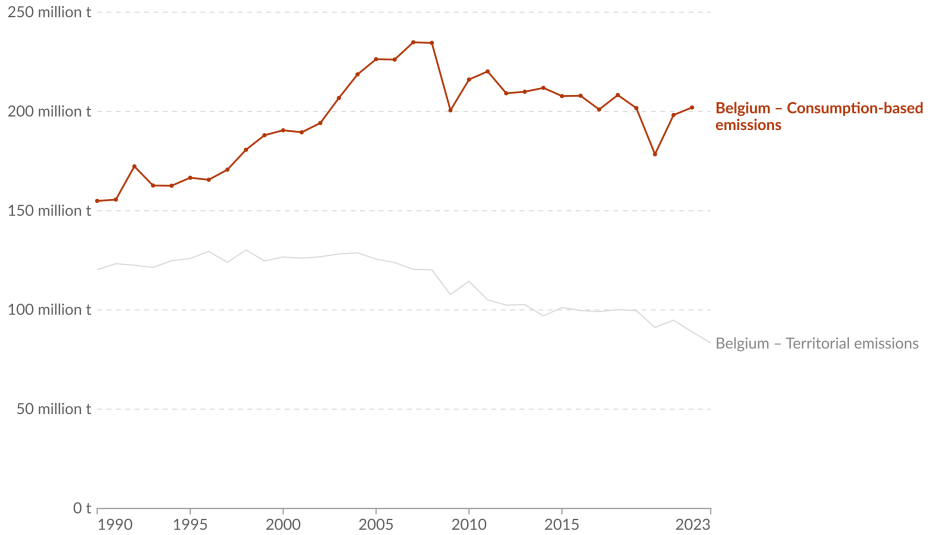


FIGURE 2.3 – Émissions net de CO_2 relativement stable depuis 2005. *Source :* Our World In Data, consulté le 21 janvier 2025.

dioxyde de carbone ayant le même potentiel de réchauffement planétaire". Chaque gaz émis est donc pondéré par un facteur symbolisant le ratio entre l'impact du gaz donné par rapport à une même quantité de CO_2.

Dans le cadre du transport, les moteurs à combustion ne produisent en effet pas exclusivement du CO_2. L'un des coproduits de la production les plus critiqués est la famille des oxydes d'azote, communément appelé "NOX". Si l'on considère par exemple le protoxyde d'azote, N_2O, le PRG de ce gaz est de 273[2]. En d'autres mots, une quantité de protoxyde d'azote aura le même impact environnemental que 273 quantités de CO_2. L'engagement européen porte sur le CO_2, mais cette réduction d'émission sera d'autant plus significative qu'elle permettra de réduire ces gaz à l'impact démultiplié.

Pour le secteur du transport spécifiquement, on constate une augmentation des émissions. Par rapport à 1990, on émet 3702 kteq CO_2[3] de plus annuellement. Le transport étant la somme du transport de marchandises et de personnes, l'objectif n'est pas d'incriminer l'un ou l'autre mais traduit le changement d'habitudes qui sera nécessaire pour inverser la tendance. Cette hausse est liée aux habitudes de la population, tant au niveau de sa consommation que de ses besoins de mobilité.

On observe sur la figure 2.4 que, selon le Bureau fédéral du Plan[4], la demande a peu évolué dernièrement et qu'elle restera relativement stable pour les prochaines

décennies à venir selon leurs prévisions. Compte tenu que le secteur du transport représente 24.9% des émissions de CO_2 équivalent belges, des changements significatifs sont inévitables pour respecter les engagements.

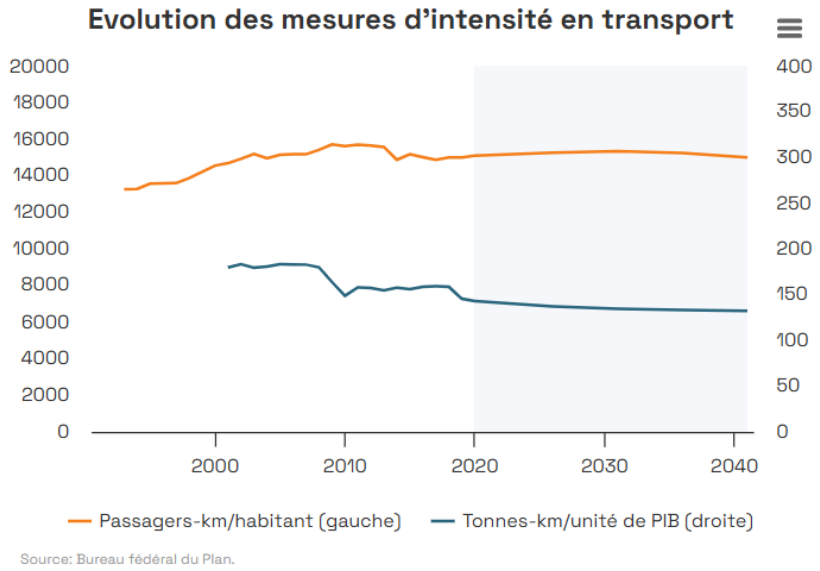


FIGURE 2.4 – Hausse sensible de la demande dans les décennies passées qui tend à se stabiliser dans le futur. *Source :* Plan, consulté le 29 juillet 2025.

Avant de pouvoir se concentrer sur la mobilité partagée, il faut toutefois bien distinguer deux grandes familles telles qu'introduites ci-dessus : le transport et la mobilité.

Transport

Le transport reprend l'idée de déplacer des marchandises. Son unité la plus répandue est d'ailleurs la tonne-kilomètre. En Belgique, les options pour le transport intérieur sont le transport routier, ferroviaire ou fluvial.

Le transport routier est l'option la plus polluante de toutes. La Wallonie estime par exemple que les camions sont responsables de 99% des émissions attribuées au transport. Il est aussi le plus utilisé, ce qui reste pratiquement inchangé sur la dernière décennie, comme le montre le graphe 2.5. Afin de réduire la pollution et les nuisances liées à ce type de transport, il serait préférable de réduire la part du secteur routier au bénéfice des autres moyens disponibles.

Toutefois, on ne constate pas de tendance nette à la réduction des tonnes-kilomètres, et ce malgré la mise en place du prélèvement kilométrique. Ce dispositif,

bien que imparfait, modifie la taxation. Celle-ci ne s'applique plus à la possession d'un poids lourd mais bien à l'utilisation qui en est faite. Le système existant permet de répartir le coût de toute l'infrastructure sur ceux qui la dégradent le plus en essayant d'inclure les effets environnementaux dans le calcul. Cette initiative n'a donc pas l'effet que l'on pouvait espérer, ce qui pousse le secteur à trouver d'autres mesures pour lui aussi participer à l'objectif commun.

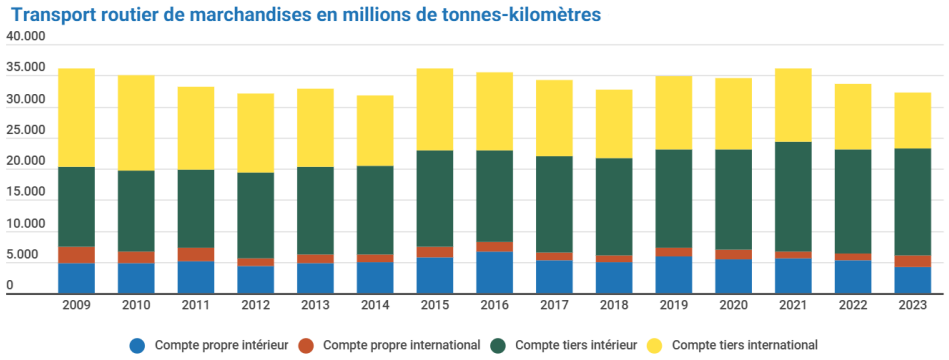


FIGURE 2.5 – Demande de transport routier stable depuis 2009. *Source :* Statbel, consulté le 29 juillet 2025.

Déplacements

La mobilité, quant à elle, concerne le fait de se déplacer, et l'unité utilisée est le passager-kilomètre. La définition du passager-kilomètre est, selon Eurostat : "Un passager-kilomètre est une unité de mesure représentant le transport d'un passager par un moyen de transport déterminé (rail, route, air, mer, voies navigables intérieures) sur une distance d'un kilomètre". L'utilisation de cette unité permet d'exprimer une demande en transport quel que soit le moyen utilisé. Cette universalité permet de quantifier les comparaisons qui sont faites entre moyens de transport.

Cette distinction faite, on peut étudier les habitudes de déplacement de la population. Le belge moyen effectue 35 kilomètres par jour, au cours de 2,2 déplacements[5]. La distance de déplacement moyen est égale chez les hommes et les femmes jusqu'à 34 ans, après quoi on observe une distance plus importante chez les hommes que chez les femmes. Comme mis en évidence sur la figure 2.6, la distance moyenne parcourue chaque jour fluctue quelque peu selon la tranche d'âge.

En ce qui concerne la répartition de cette demande de transport, on observe sur la figure 2.7 que 61% des déplacements sont faits en voiture, en tant que conducteur

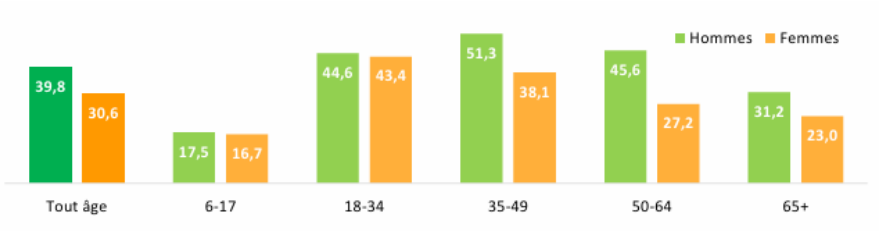


FIGURE 2.6 – Distances moyennes journalières plus importante chez les hommes et chez le 35-49 ans. *Source :* MONITOR.

ou passager. Si la distance parcourue est prise en compte, la voiture est responsable de 74% des déplacements des belges, en passager-kilomètres.
Les moyens alternatifs à la voiture sont utilisés pour couvrir en moyenne une distance plus faible et représentent 39% des déplacements.

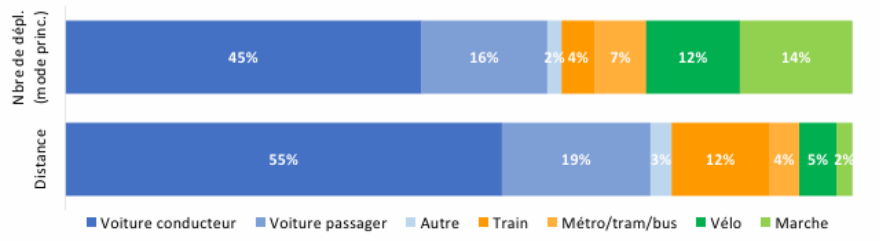


FIGURE 2.7 – Part modale écrasante de la voiture (échantillons de 25.168 et 25.116 déplacements). *Source :* MONITOR.

L'évolution de la répartition modale visible sur la figure 2.8, montre que depuis la première étude en 1999, il n'existe pas de changement notoire dans la manière dont les gens satisfont leur besoin en mobilité. L'adoption sensiblement croissante du vélo et des transports en commun en nombre de déplacements ne se ressent que peu dans les passager-kilomètres qu'ils représentent.

Plus largement, cette figure permet d'illustrer que la voiture ne peut être raisonnablement remplacée par les autres moyens existants, sinon sa part serait bien moindre. Il faut donc proposer de nouvelles technologies compatibles à la demande spécifique satisfaite par la voiture. C'est ainsi que la mobilité partagée se présente comme alliée indispensable dans une transition réaliste et réussie.

Après s'être penché sur les moyennes nationales, il est intéressant d'analyser les statistiques régionales. Le graphe 2.9 illustre ainsi ces différences importantes.

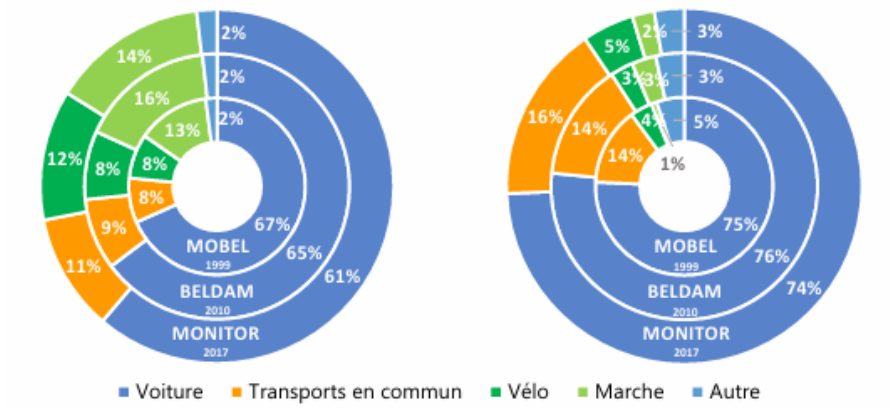


FIGURE 2.8 – Parts modales de la mobilité active croissantes en nombre de déplacements (à gauche) impacte peu la distance totale parcourue (à droite). *Source :* MONITOR.

De fait, on observe 61% de moyenne nationale de déplacements réalisés en voiture, ceux-ci représentent 46% à Bruxelles alors que ce chiffre monte à 59% en Flandres et atteint 73% en Wallonie. Il existe d'autres répartitions significativement différentes selon les régions, comme le métro/tram/bus qui représente 21% des déplacements à Bruxelles là où il ne vaut que 4% en Flandre. À l'inverse, cette dernière atteint 18% de déplacements en vélo contre 4% à Bruxelles. Ces disparités sont dues à l'offre en transports publics, à la distance à parcourir et à la qualité de l'infrastructure disponible. Ceci sera caractérisé dans la suite.

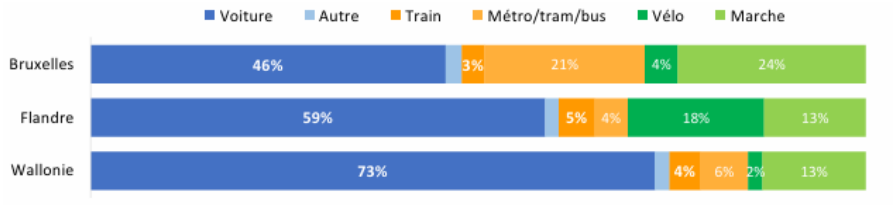


FIGURE 2.9 – Parts modales en nombre de déplacements influencées par la région (échantillon de 25.168 déplacements). *Source :* MONITOR.

Une autre statistique qui varie également en fonction de la région de domiciliation est le nombre de voitures par ménage. La moyenne belge est de 1,06 voitures par foyer. À échelle régionale, les foyers bruxellois possèdent 0,55 voitures, contre 1,11 pour les wallons et enfin 1,31 en Flandre. Cette situation renvoie la tendance qu'ont les habitants des régions plus éloignées des centres urbains à employer la

voiture. Ce constat est à la fois un message encourageant en suggérant qu'une technologie comme la voiture partagée peut être la solution permettant à ces foyers d'abandonner leur véhicule. Néanmoins, cela pourrait aussi laisser entendre que dans les régions reculées, seule la voiture privée convient.

Le taux d'occupation moyen, c'est à dire le nombre de personnes occupant la voiture au cours du trajet, est de 1,21, chiffre qui varie essentiellement en fonction du type de déplacement. La moyenne pour un déplacement domicile-travail n'est que de 1,05 contre 1,33 pour un motif de loisir[5].

Ces statistiques mènent ainsi à l'impact environnemental de la mobilité et particulièrement de la voiture individuelle. Son taux d'occupation faible fait de ce moyen de transport une solution peu efficace sur le plan énergétique. De plus, les déplacements domicile-travail sont fortement concentrés sur quelques heures de la journée et créent ainsi d'importants problèmes de congestion. La pauvre efficacité est alors couplée à une consommation inutile de carburant dans les embouteillages et crée une forme de gaspillage énergétique.

L'enquête MONITOR met en avant les habitudes de la population, à travers des aspects importants comme l'occupation ou le nombre de kilomètres parcourus. Ces éléments sont des critères importants sur lesquels les technologies souhaitant succéder à la voiture individuelle doivent se montrer compatibles. Elles doivent aussi proposer une efficacité énergétique supérieure, tout en fournissant un service similaire, ce qui est le cas de la voiture partagée.

2.3 Infrastructure

Pour parler de la mobilité, et étudier les changements potentiels qu'on peut y apporter, s'intéresser à l'infrastructure existante est indispensable. La Belgique s'appuie à la fois sur les routes et autoroutes, sur le chemin de fer et sur la navigation fluviale. Il ne sera pas pertinent de développer ici l'aviation ni le transport maritime puisqu'ils ne s'adressent qu'au transport et à la mobilité internationale.

Les réseaux de transport sont particulièrement denses en Belgique comparé à ses voisins. Ceci est en partie lié à la densité de population là aussi supérieure aux pays avoisinants, requérant des infrastructures suffisantes pour offrir un service de qualité à tous les citoyens.

Le tableau 2.10 met en évidence que la Belgique s'appuie d'abord sur un réseau autoroutier près de 3 fois plus dense que la moyenne dans l'Europe des Quinze (15

pays les plus développés de l'Union européenne) et pratiquement 4 fois la moyenne européenne. Si l'on rapporte ce nombre à la densité de population, la densité reste supérieure aux moyennes européennes. Lorsqu'on étend le spectre à tout le réseau routier, cela reste significativement supérieur par entité de surface et densité de population.

	Wallonie	Belgique	EU-15	EU-27
Densité du réseau autoroutier				
En km/1 000 km^2	52	58	19	15
En km/million d'habitants	248	163	155	134
Densité du réseau routier (routes et autoroutes)				
En km/1 000 km^2	4 821	5 089	1 124	1 102
En km/million d'habitants	23 213	14 318	9 189	9 547
Densité du réseau ferroviaire				
En km/1 000 km^2	98	117	47	49
En km/million d'habitants	472	330	382	425
Densité du réseau fluvial				
En km/1 000 km^2	27	50	10	9
En km/million d'habitants	129	140	79	81

FIGURE 2.10 – Densités par km^2 des réseaux belge supérieures aux moyennes européennes. *Source :* IWEPS, consulté le 29 juillet 2025.

Cette forte densité du réseau routier et autoroutier représente un maillage fin du territoire. Un tel maillage offre aux habitants un accès rapide à de nombreux coins du pays. Sur la carte 2.11, on observe un maillage particulièrement dense en Flandre contrairement au sud du Namurois ou au nord du Luxembourg. Cette situation est directement liée à la densité de population.

En ce qui concerne l'évolution de l'infrastructure routière, la tendance est à la croissance. En effet, depuis 1970, le réseau routier dans sa globalité a augmenté de 65% et plus spécifiquement le réseau autoroutier de 329%[6].

Cette croissance pourrait être vue d'un bon œil en partant du constat que certains transports en commun comme le bus sont dépendants de ce réseau pour offrir leurs services. Cependant, force est de constater que le développement de ce réseau est davantage bénéfique au développement de la voiture, puisque rien qu'entre 1977 et 2011, le nombre de véhicules personnels a doublé. Ceci est particulièrement vrai pour le réseau autoroutier qui n'est que peu emprunté par les bus, hormis quelques lignes comme les lignes "express" de la TEC en Wallonie.

Ensuite, en ce qui concerne le rail, la carte 2.12 illustre la couverture de ce réseau sur le territoire belge. Le chemin de fer est un réseau qui a un double usage, tout

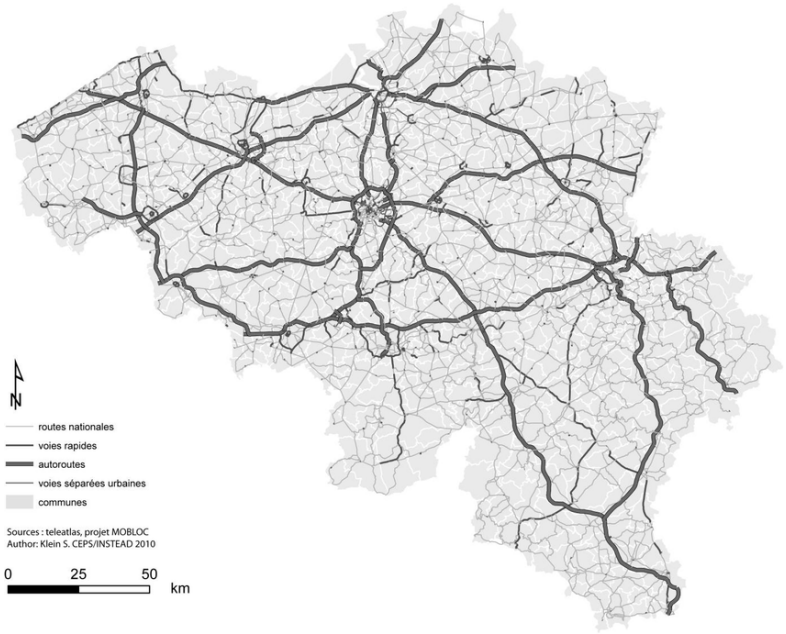


FIGURE 2.11 – Réseau routier et autoroutier belge formant une couverture complète du territoire. *Source :* MOBLOC, 2011.

comme le routier. Il permet en effet la mobilité des citoyens, mais aussi le transport de marchandises. En termes d'infrastructure, il est à noter que depuis 1970, le réseau ferroviaire à perdu 12% de ses lignes. Certaines lignes moins fréquentées qui desservaient les campagnes éloignées ont été suspendues en raison de leur manque de rentabilité.

Au niveau du transport de marchandises, c'est une pratique en perte de vitesse, passant de près de 20 Gtonnes-km effectifs en 2007 contre 11.5 en 2024. Pour le transport de voyageurs, le nombre de navetteurs reste relativement stable selon le Service de Régulation du Transport ferroviaire et de l'Exploitation de l'Aéroport de Bruxelles-National.

Enfin, pour le réseau fluvial, il ne sert en Belgique qu'au transport de marchandises. Pour l'aspect mobilité, il n'est employé qu'à des fins récréatives pour des vacances sur une péniche ou autre bateau de plaisance. Son attrait est si faible qu'il est juste de négliger ce moyen de locomotion à l'échelle nationale.

Le transport fluvial sert toutefois à désengorger les réseaux cités précédemment grâce à son coût attirant. Ainsi, il représente 7% du transport wallon de marchandises et permet le transport de 32,28 millions de tonnes de marchandise, autrement

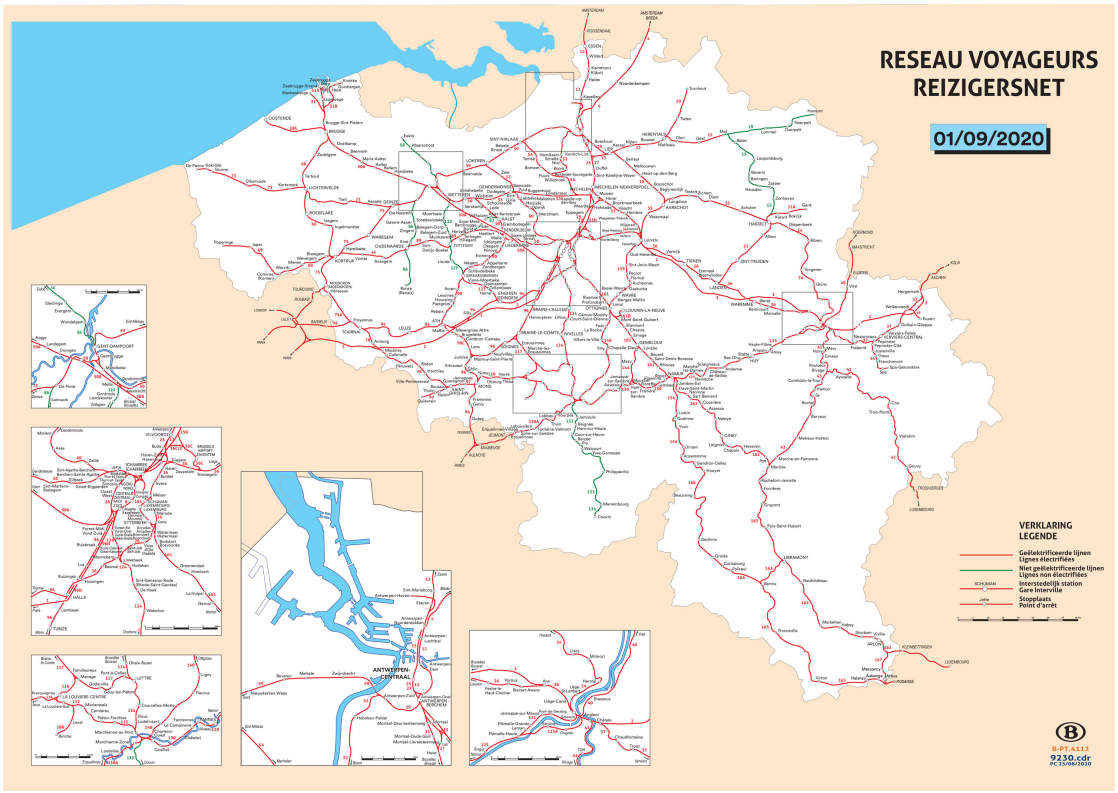


FIGURE 2.12 – Réseau ferroviaire belge moins dense que le réseau routier. *Source :* SNCB, 2020.

dit d'éviter ≈ 2 millions de camions sur le réseau routier [7]. À l'échelle nationale, c'est ≈ 6 millions de véhicules remplacés car le transport fluvial est globalement 2 fois plus important en Flandre.

Cette déportation d'un réseau à l'autre est doublement bénéfique puisqu'elle réduit les problèmes de congestion qui touchent conjointement les marchandises et la population, tout en réduisant la pollution et les autres impacts sur l'environnement.

2.4 Économie

La mobilité est intrinsèquement liée à l'activité économique belge. Une économie performante repose sur la capacité des employés à rejoindre efficacement leur lieu de travail, tout comme sur l'accès facile des consommateurs aux produits et services. Pour y parvenir, avoir une offre de mobilité performante et fiable est indispensable. Au vu des exigences européennes, l'économie belge a tout intérêt à se reposer

également sur des moyens durables, en continuité avec les efforts environnementaux qui sont réalisés au sein même des industries et autres entreprises de services.

La mobilité peut par ailleurs se montrer contraignante pour le développement économique de plusieurs manières. D'une part les infrastructures et de l'autre l'utilisation des réseaux.

Tout d'abord, l'implantation d'une nouvelle entreprise exige de s'assurer que le personnel et/ou les clients puissent accéder au site sans encombre. Cela implique souvent une localisation le long d'un axe routier, ferroviaire ou fluvial. Ces emplacements étant limités, leur rareté entraîne une hausse des prix. C'est cette contrainte spatiale qui justifie en partie la concentration des pôles commerciaux et économiques à l'extérieur des centres urbains, y compris pour des entreprises qui ne sont pas à l'origine de nuisances de voisinage. Les terrains y sont plus abordables, ce qui est un avantage économique non négligeable.

Une conséquence négative assez inattendue sur l'économie réside dans l'ensemble des pertes financières dues à la congestion du réseau. La FEB, fédération des entreprises de Belgique, estime qu'en 2024 la congestion a eu un coût de pas moins de 5325 millions d'euros. Cette perte représente 1.11% du PIB de la Belgique. Ces pertes économiques comprennent la perte de temps, la surconsommation de carburant, ainsi que les coûts liés aux émissions supplémentaires de polluants. Ces impacts sont convertis en valeurs monétaires pour en mesurer l'ampleur.

Enfin, d'autres effets négatifs des embouteillages, plus difficiles à quantifier, ne sont pas inclus dans ce calcul. On pense par exemple à l'impact sur la productivité des travailleurs irrités, à la qualité des relations professionnelles (collègues, clients), ou encore aux conséquences sur la santé mentale dues aux épisodes de stress répétés.

2.5 Aspect psychologique

D'après Vincent Kaufmann, sociologue suisse spécialisé dans les études de mobilité et la sociologie urbaine, la mobilité se définit socialement par la transformation de soi en franchissant l'espace. Cette transformation s'accompagne toujours d'une intention, un motif, par exemple partir en vacances, pour se reposer ou encore partir au travail.

Pour changer de la vision technique de la mobilité, il est intéressant d'introduire le budget temps qui lui est accordé. Le budget temps est déterminé par la conjecture de Zaavi et la constante de Marchetti. Bien que ces calculs ne semblent plus

parfaitement justes, l'idée sous-jacente intéressante, selon Prof. Kaufmann, est que chaque personne gère sa journée comme un budget et le dépense quotidiennement en allouant entre autres un budget temps au transport. Ce budget moyen se situerait théoriquement entre une heure et une heure et demie par jour, ce que confirme l'enquête MONITOR[8] selon laquelle le belge se déplace 58 minutes par jour en moyenne.

Cette conjecture illustre l'absence de lien entre la durée d'un déplacement et la portée spatiale de ce même déplacement. Ainsi, augmenter la vitesse du déplacement aura pour principal impact d'allonger la distance parcourue plutôt que de réduire la durée du déplacement. Ce mécanisme explique que fluidifier le trafic ne réduit pas nécessairement la congestion, mais déplace simplement le problème ailleurs. Ce phénomène pourrait même s'aggraver avec des technologies comme le TGV ou la voiture autonome, où le fait de libérer du temps pendant le trajet pourrait inciter à parcourir de plus longues distances.

Le temps de déplacement n'est pas le seul à prendre en considération. Pour être complet, il faudrait ajouter le temps passé à entretenir son moyen de transport, le temps passé à le financer, etc. Cette donnée étendue illustre à quel point la mobilité grignote une partie de l'existence humaine. Elle permettrait également de comparer un moyen avec un autre pour mettre en évidence le moins coûteux sur le plan existentiel.

La remise en question de la vitesse de déplacement, suggérée préalablement pour réduire notre demande en transport, est économiquement parlant non viable. Le modèle actuel de mobilité est intrinsèquement lié à notre organisation urbanistique. Toute transition doit donc être progressive et accompagner les besoins de la population.

En somme, d'un point de vue exclusivement économique et cupide, la société n'a pas intérêt à réduire la vitesse ni même à abandonner la voiture individuelle. Ce constat permet d'introduire la notion de motilité, qui est l'aptitude à se mouvoir. Les gens retiennent la solution qui a le moins d'impact sur leur vie lorsqu'ils ont besoin de se déplacer. La vitesse du transport étant bien souvent cette solution.

Une réflexion sur le temps met tout le monde sur le même pied d'égalité. Quelle que soit sa situation financière, chacun possède le même budget de 24 heures par jour. La prise de conscience qu'apporterait l'inclusion du temps dans la manière d'aborder le transport permettrait de se rendre compte du rythme effréné de la vie. Repenser le temps passé dans les moyens de transport plutôt que chercher la rapidité

pour satisfaire ce budget s'oppose à la course à la vitesse. La réduction progressive de la vitesse diminuera alors les émissions du secteur. En résumé, à budget temporel égal, si on accepte d'aller moins vite, on ira moins loin et donc on polluera moins.

Se pencher sur la psychologie met en évidence la difficulté du changement à cause des multiples effets de seuil.
Pour réellement constater une diminution de la motorisation, il faudra investir dans un réseau de voies cyclables, développer les transports publics qui couvrent toutes les périodes de la semaine, etc. Cela représente des investissements importants dont les retombées positives mettent souvent du temps à se faire ressentir. De plus les bienfaits nécessitent l'adhésion d'une part significative de la population pour être pleinement ressentis. Ces effets de seuil rendent les projets complexes à défendre par les politiques auprès de l'opinion publique, qui plus est compte tenu de la courte durée des mandats.

Le changement pourrait aussi être entravé par ce que la voiture représente. Jadis, posséder sa voiture était symbole de réussite et de liberté. Cette vision est en nette diminution pour les habitants du monde urbain, bien qu'elle reste perceptible dans le monde rural.
Chez les moins de 40 ans, on constate que le désamour de la voiture s'explique d'une part par la conscience environnementale, mais aussi par la perte de temps que représente la conduite. Miser sur des transports publics confortables et fiables pourrait donc grandement influencer leur usage.

Une des difficultés à laquelle les transports de demain devraient s'adapter est l'organisation des foyers qui tend à changer progressivement. Les ménages recomposés, de plus en plus fréquents, font évoluer la demande puisqu'ils donnent lieu à l'habitat polytopique, autrement dit le fait d'occuper plusieurs habitations. Il faudrait donc également permettre à ces usagers de pouvoir se reposer sur les transports en commun pour les convaincre d'abandonner la voiture.

Chapitre 3

Initiatives

3.1 Objectifs belges

Le règlement européen révisé sur le partage de l'effort (UE), aussi appelé "Effort Sharing", contraint la Belgique à réduire de 47% ses émissions en 2030 par rapport à 2005 dans les secteurs dits "non-ETS" (transport, bâtiments, agriculture, déchets)[9]. Ces secteurs ne sont en effet pas couverts par les quotas de CO_2, initiative prise par l'Europe qui décroît le nombre de quotas chaque année afin d'obliger les producteurs d'énergie et les industries à agir sur leur production de CO_2. Pour atteindre ces obligations, il est donc indispensable de repenser le secteur du transport en profondeur au niveau national.

En ce qui concerne la voiture, on prévoit que la part en passager-kilomètres pour atteindre ces objectifs est de 67.6%[10]. Lorsqu'on sait qu'en 2021, cette part représentait 84.91%, il est aisé de comprendre pourquoi le Bureau fédéral du Plan a classé cet objectif comme inatteignable. Néanmoins, la Belgique n'a d'autre choix que de tout mettre en œuvre pour tendre vers ses obligations et ainsi limiter les éventuelles sanctions européennes.

3.2 Vision Rail 2040

En parallèle de ce qui peut être mis en place en termes de mobilité partagée, il faut prendre en compte les initiatives nationales concernant le transport ferroviaire. L'ambition fédérale la plus significative est sûrement la vision à long terme développée pour le réseau ferroviaire. Le gouvernement a émis le souhait suivant : d'ici 2040, la part modale du train doit atteindre 15 % du transport national de personnes et 20 % du transport de marchandises[11].

Ce plan s'accompagne d'arguments économiques afin de mettre en avant ce moyen de locomotion : miser sur le transport par rail qui peut être bénéfique à la compétitivité de l'économie belge. Ils avancent aussi qu'un accroissement du transport par rail allège la pression sur les routes et fluidifie la mobilité, avec des effets bénéfiques potentiels sur le fonctionnement du marché du travail.

Pourtant, comme cela a été présenté ci-dessus, en Belgique le rail perd peu à peu de son attrait, ce qui amène à se questionner quant à la manière dont il faut s'y prendre pour inverser la tendance. Pour y répondre, le plan s'accompagne de mesures, nouvelles ou remodelées, qui permettent aussi d'éclairer certains défis de la mobilité partagée.

L'une des mesures est d'étendre la gratuité des déplacements domicile-travail via le système 80/20. Ce système est un avantage conséquent pour l'employé car 80 % du prix de l'abonnement de transport est pris en charge par l'employeur et les 20 % restants par l'autorité fédérale. Ceci met en lumière un enjeu primordial pour la mobilité partagée : elle devra être fiscalement intéressante pour espérer attirer des nouveaux pratiquants insensibles aux autres arguments. L'objectif n'est pas de concurrencer les autres modes, mais de reconnaître que le prix reste un critère décisif dans le choix du mode de transport.

Une seconde mesure consiste à appliquer une politique tarifaire qui encourage l'utilisation du train, ce qui ne concerne donc plus uniquement l'employé mais l'usager lambda. Pour conserver ses voyageurs actuels et en attirer de nouveaux, la SNCB prévoit d'appliquer une politique tarifaire qui incite les gens à se déplacer en train. Cette tarification doit par ailleurs être suffisamment dynamique afin de faire face à la modification des besoins de mobilité qui résulte des développements sociétaux et des évolutions politiques en matière de mobilité. Il convient donc de s'adapter à la hausse du télétravail ou du travail à temps partiel.

Ces mesures visant à rendre le rail plus attractif pourraient impacter la mobilité partagée en réduisant la demande pour certains trajets, ou en obligeant les opérateurs à ajuster leurs modèles économiques. Le rail étant environnementalement plus efficace, il incombera à ces opérateurs d'adapter leur offre là où la demande reste insatisfaite.

3.3 Transport public

Tout comme pour la section précédente, étudier la vision des politiques sur les autres transports en commun permettra de proposer des trajectoires pertinentes.

Contrairement à la gestion nationale du ferroviaire, les transports en commun tels que le bus ou le tram sont soumis à une gestion régionale. Chaque région possède par conséquent son propre plan visant à développer son offre en mobilité.

Région Bruxelles-Capitale

Pour la région Bruxelles-Capitale, le projet "Good Move"[12] a été mis en place par Bruxelles mobilité pour la période 2020-2030. Dans ce plan, l'accent est mis sur l'accessibilité universelle. Le service est conçu pour être utilisé par tout usager, indépendamment de ses capacités physiques ou cognitives ni de ses ressources financières.

Favoriser les transports en commun s'inscrit également dans la volonté de rendre la vie plus plaisante en réduisant les nuisances sonores et l'encombrement de l'espace public bruxellois puisque 58% de cet espace était encore dédié exclusivement à l'automobile en 2014. Pour mettre en avant l'usage du transport public, la région met en avant la réduction de stress lié à son usage et le gain de temps pour soi ou sa vie sociale en se laissant conduire. Le plan souligne aussi des bénéfices annexes du report modal, comme l'activité physique crée par les trajets à pied entre les arrêts, formant ainsi un argument couplant la mobilité à la santé publique.

Plus spécifiquement à propos de l'évolution de l'infrastructure, Bruxelles se félicite du réseau existant en centre-ville. L'objectif est donc de valoriser fortement les infrastructures existantes et de continuer à développer ces dernières dans le péri-centre et dans la banlieue.

En bref, la région Bruxelles-Capitale souhaite poursuivre ses mesures pour réduire à 25% la part des kilomètres parcourus en voiture d'ici à 2030. Actuellement, 33% des kilomètres parcourus par les habitants de la région le sont à l'aide de la voiture. Le plan Good Move est suspendu à l'incertitude politique actuelle, la région étant sans gouvernement de plein exercice depuis les élections.

Région flamande

En Flandre, la politique régionale de mobilité s'inscrit dans le cadre de la stratégie *Flanders, Together in Motion*[13], qui repose sur les principes des Plans de Mobilité Urbaine Durables (SUMP), mis en avant par l'Union européenne. Depuis 2019, la Région a divisé son territoire en 15 zones, chacune chargée de créer un Plan de Mobilité Régionale (R-SUMP), construit en collaboration avec des acteurs aussi bien publics que privés.

Le premier axe est de développer une offre de mobilité adaptée et efficace. L'accent est mis sur la volonté de proposer une alternative optimale à la voiture

avant d'exiger sa suspension afin que la transition se fasse en douceur. De Lijn, l'opérateur de bus régional, adapte pour cela au mieux son offre à la demande des passagers et assure des correspondances plus rapides et plus fréquentes sur les axes très fréquentés. Dans les endroits moins fréquentés, il existe à présent des transports flexibles qui doivent être réservés à l'avance.

Le second vise à investir dans une infrastructure sûre, fluide et accessible. Cet aspect s'adresse plus spécifiquement au vélo. L'objectif est que d'ici 2040, les zones résidentielles, les écoles, les hotspots et les grands centres d'emplois deviennent facilement, et en toute sécurité, accessibles en vélo. Les infrastructures cyclables soutiennent un système multimodal, où la voiture partagée peut jouer un rôle.

Le dernier axe est de mettre en place des mesures financières et fiscales pour réduire les obstacles à l'essai de nouvelles options de transport.

À travers ces mesures, la Flandre affirme sa volonté de changer progressivement les habitudes de ses habitants. Qui plus est, la mobilité partagée fait partie intégrante des solutions mises en avant, faisant de cette région un moteur dans le sujet de ce travail.

Région wallonne

Finalement, la région wallonne reprend ses objectifs dans le plan FAST[14], qui témoigne de ses ambitions. Actuellement les bus et trams représentent 4% des kilomètres parcourus. La volonté est de passer à 10% en 2030. Avec la croissance des parts modales de la marche et du vélo en parallèle, la région envisage de passer des 83% des kilomètres parcourus en voiture à 60%.

Pour y parvenir, la région souhaite faire du transport public une solution qui doit devenir une alternative crédible pour tous, y compris pour les travailleurs. Ainsi, l'atteinte de l'objectif se réalisera avant tout par une plus grande adéquation de l'offre aux attentes des citoyens, en particulier en termes de vitesse et de fiabilité. Un soutien gouvernemental aux différents opérateurs de mobilité est indispensable, notamment en termes d'infrastructures prioritaires aux alternatives à la voiture individuelle.

La Région s'attend à une amélioration de l'efficacité énergétique via un meilleur taux d'occupation, ce qui pourrait être appuyé par le développement du covoiturage ou de voitures partagées.

Chapitre 4

Mobilité partagée

La mobilité partagée se présente comme une alternative prometteuse à la voiture individuelle dans cette transition indispensable. Plusieurs types de partage seront détaillés ci-après pour illustrer leurs différences de fonctionnement et comment ils satisfont au mieux aux besoins des différents usagers.

4.1 Voiture partagée

De manière générale, la voiture partagée remplace entre 9 et 15 voitures individuelles selon Taxistop, opérateur de Cambio[15]. Ce remplacement présente 2 avantages majeurs.

Le premier est lié à la temporalité de non-utilisation de la voiture particulière qui peut rester stationnée jusqu'à 23 heures par jour[16]. En mutualisant l'usage d'une seule voiture, on réduit l'empiétement sur l'espace public. Cet espace libéré est particulièrement prisé en centre urbain ou périurbain, où il peut être réalloué au confort de la population en espaces verts et/ou de vie sociale.

Le second impact direct est le taux d'occupation moyen de la voiture partagée qui est de 2,3, là où celui de la voiture standard est de 1,21. Ce gain d'occupation permet d'améliorer l'efficacité énergétique. Le fait d'avoir à louer leur voiture semble également pousser les usagers à se questionner sur la pertinence de ce moyen comparé à ses alternatives. Ceci s'accompagne du fait que les utilisateurs cherchent à optimiser leurs déplacements lorsqu'ils n'ont pas directement la voiture à disposition.

Avoir une voiture partagée est une solution intéressante pour celles et ceux qui estiment ne pas pouvoir se passer intégralement de leur voiture individuelle mais acceptant de repenser leur mobilité. Cette option se caractérise par sa grande

flexibilité en termes d'utilisation. Elle répond en effet aux inquiétudes de certains concernant des activités hebdomadaires ou mensuelles, comme se rendre en grande surface, considérées comme difficiles à effectuer en transports en commun. Cette assurance de conserver son confort tout en participant activement au changement est sa force principale.

Le partage de voitures peut prendre plusieurs formes. Chaque acteur en Belgique, essentiellement des entreprises privées, propose généralement un modèle unique. Rares sont celles qui proposent une combinaison de formules et de moyens de transport comme cela peut être le cas à l'étranger.

4.1.1 Station based

Le premier modèle est nommé "station based"[17] , son fonctionnement est basé en station. Cette appellation indique que la voiture partagée est stationnée sur un emplacement appartenant soit à la plateforme, soit aux autorités locales qui le mettent à disposition. Le fonctionnement fait donc penser à une gare de bus/train, où l'usager se rend à un endroit donné pour rejoindre le moyen de transport. Ces emplacements sont évidemment choisis avec soin pour permettre à l'utilisateur d'aisément coupler la voiture à d'autres moyens de transport comme le train ou le vélo.

Dans la pratique, il existe 2 versions du partage en station. La première est la "round-trip", autrement dit l'usager fait une boucle, comme on peut le voir sur la figure 4.1. Dans ce cas, il faut ramener le véhicule à l'endroit où il a été emprunté. Grâce au retour de chaque véhicule dans sa base, aucune intervention de la part de la plateforme n'est requise pour maintenir la flotte de véhicule dans la station. Il leur suffit d'entretenir les véhicules lorsqu'ils ne sont pas utilisés.

La seconde version "station-based" propose à l'usager d'emprunter un véhicule dans une certaine station et de le rendre dans une autre station. Ce fonctionnement appelé "one-way"[17], ou unidirectionnel, permet de se déplacer d'un point A à un point B sans devoir obligatoirement revenir à son point de départ, comme illustré sur la figure 4.2. Le fait que les usagers puissent déposer le véhicule librement dans une autre station présente l'inconvénient pour les plateformes de devoir s'assurer que chaque station abrite suffisamment de véhicules, afin d'offrir un service fiable en permanence. Il arrive donc de devoir déplacer une partie de la flotte dans les stations qui en sont dépourvues, ce qui engendre des frais et de la logistique. Sur le plan énergétique cette option perd de son intérêt lorsque les véhicules doivent fréquemment être déplacés - et donc consommer - sans fournir de réel passager-kilomètres.

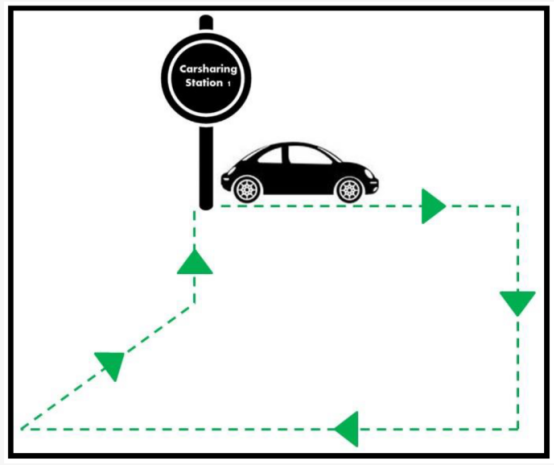


FIGURE 4.1 – Fonctionnement "Round-trip" avec retour dans la station de départ. *Source :* An Overview of Shared Mobility, 2018.

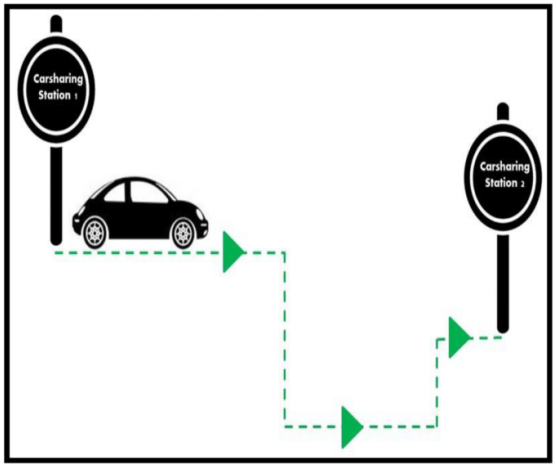


FIGURE 4.2 – Fonctionnement "One-way" avec retour dans la station de son choix. *Source :* An Overview of Shared Mobility, 2018.

4.1.2 Free-floating

Le second modèle est le partage en "free-floating"[17], qui signifie que la flotte est libre. Contrairement aux stations, les véhicules sont garés librement en agglomération sur les places de parking accessibles à tous les automobilistes.

L'utilisateur se fie à son smartphone pour situer et déverrouiller le véhicule. À la fin de l'utilisation, la voiture est à nouveau stationnée sur les emplacements publics. Les plateformes peuvent imposer de stationner le véhicule dans une zone

définie afin de proposer un maillage de la ville le plus complet possible de leurs services. Elles évitent de la sorte que toute la flotte se concentre dans un quartier et ainsi les dépenses liées à la logistique.

La force du free-floating réside donc dans la possibilité de trouver un véhicule sur le côté de la route, à quelques pas de la position de l'usager qui ne doit plus se rendre dans une station. Toutefois, le fait de partager le stationnement avec tous les automobilistes n'apporte plus l'aisance de la station qui possède obligatoirement une place libre.

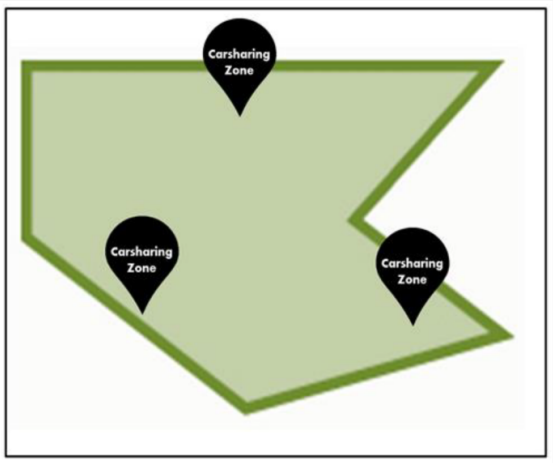


FIGURE 4.3 – Fonctionnement "Free floating" avec le stationnement libre sur l'espace public. *Source :* An Overview of Shared Mobility, 2018.

4.1.3 Partage de véhicule entre personnes

Le troisième modèle est de partager les véhicules des particuliers. Appelé "Personal Vehicle Sharing"[17], ce modèle s'applique à l'échelle des particuliers, en offrant la possibilité de partager sans devenir client auprès d'un acteur privé.

Peer-to-peer sharing

Une première possibilité est nommée "Peer-to-peer sharing", c'est la plus répandue. Elle permet à un citoyen, propriétaire d'un véhicule, de le mettre à disposition de sa communauté (généralement les voisins) lorsqu'il n'en a pas l'usage.

Pour rendre le véhicule disponible à la location, le propriétaire passe par une plateforme. Cette dernière s'occupe non seulement de le louer, mais également des

assurances et autres obligations légales. Lorsque le véhicule est loué, la plateforme encaisse le tarif avant de rémunérer le propriétaire une fois les frais et la commission déduits.

Ce modèle offre donc une grande tranquillité d'esprit puisque la plateforme s'occupe de toutes les contraintes et permet au propriétaire de toucher un revenu complémentaire pour payer les différents frais de sa voiture là où cette dernière ne lui aurait rien rapporté puisqu'elle serait restée inutilisée.

Fractional Ownership

La seconde possibilité porte le nom de "Fractional Ownership". L'idée est qu'un groupe de particuliers (généralement moins de 10 personnes) se répartisse les frais fixes d'un véhicule et ainsi se partage les droits d'utilisation. Chaque propriétaire peut alors avertir les autres de la période durant laquelle il souhaite avoir usage du véhicule, période durant laquelle les frais variables, essentiellement le carburant/recharge électrique, sont à sa charge. L'avantage d'un tel dispositif est de diminuer considérablement la charge mentale et financière de la propriété tout en gardant les avantages de pouvoir opter pour la voiture librement.

Ces modèles ont l'avantage de créer du lien social, observé sur les retours d'expériences de communautés comme Les Partageurs[18]. Certains y trouvent même de nouvelles amitiés menant à se déplacer ensemble pour des tâches comme les courses par exemple, ce qui tend à rendre l'utilisation du véhicule encore plus raisonnée et efficace sur le plan énergétique. Ces échanges renforcent donc la dimension communautaire, ajoutant un bienfait supplémentaire à la mobilité partagée.

Flotte professionnelle partagée

Le dernier modèle s'adresse plus spécifiquement aux entreprises qui possèdent une flotte de véhicules. La mise à disposition d'un véhicule de société serait conçu différemment d'aujourd'hui. Le principe est qu'une entreprise mette à disposition sa flotte en dehors des heures d'utilisation, aussi bien à destination de son personnel qu'aux externes à l'entreprise. L'employeur permet ainsi à son personnel d'avoir un véhicule à disposition pour un besoin particulier de temps à autre en dehors des raisons professionnelles, tout en permettant de rentabiliser la flotte lorsqu'elle n'est pas utilisée, anciennement simplement stationnée chez les collaborateurs.

Dans la pratique, les plateformes comme MyMove proposent d'accéder à un planning de chaque véhicule, permettant de le réserver pour un usage professionnel

ou privé, gardant de la sorte une trace du conducteur en cas d'infractions et/ou de dommages.

4.2 Covoiturage

Le covoiturage est lui aussi une forme de mobilité partagée qui consiste à réaliser un trajet ou une partie du trajet avec d'autres usagers. En utilisant un seul véhicule pour transporter l'ensemble des occupants, l'efficacité énergétique est améliorée et la congestion routière peut être atténuée par la diminution du nombre de véhicules, notamment en heures de pointe.

La situation aujourd'hui en Belgique, d'après un sondage réalisé par IVOX, le bureau d'études de marché et de marketing interactif, repris dans l'enquête Be-Mob[19], est que 22% de la population déclare covoiturer soit en tant que passager ou conducteur. Il ressort que dans plus de 50% des cas, il s'agit de partager un trajet avec des membres de sa propre famille et viennent ensuite les voisins/connaissances. Les trajets avec un ou des collègues ne représentent même pas 30% des covoiturages. Ces statistiques montrent bien le potentiel de ce mode de partage. L'enjeu actuel s'axe plus sur l'acceptation de partager un trajet avec une personne étrangère.

Les trajets loisirs sont les plus fréquemment covoiturés (40%), devant les déplacements domicile-travail (27%), malgré leur régularité et leur potentiel de mutualisation. On constate aussi que les participants le font essentiellement par conviction, car seul 12% des covoitureurs bénéficient d'une organisation par leur employeur.

Les trajets domicile-travail sont statistiquement ceux ayant le plus faible taux d'occupation, tout en sachant qu'ils sont également les plus réguliers en termes d'horaire et de parcours. Bien que les freins psychologiques au changement soient profondément ancrés dans les habitudes sociétales, on comprend rapidement le potentiel important de cette pratique.

Dans le compte rendu de l'enquête sur la mobilité partagée réalisée par la FEB[20], fédération des entreprises de Belgique, les entreprises ont pu faire remonter les raisons principales pour lesquelles la pratique n'est que peu répandue dans les déplacements domicile-travail qui les concernent.

Il y a avant tout le fait que les employés ne sont pas demandeurs, ce qui relève plus de la conviction de chaque citoyen le poussant à agir de manière raisonnée et écologiquement responsable. Pour celles et ceux qui le désireraient, le principal frein

réside dans la variabilité des horaires de travail. Du point de vue de l'employeur, la charge administrative complémentaire pour que les employés puissent avoir droit à l'exonération d'impôt est également un frein.

Cependant, il existe aujourd'hui plusieurs initiatives visant à favoriser le développement de cette pratique. La Wallonie, entre autres, met en place un réseau de parkings de covoiturage qui ne cesse d'évoluer. Ce réseau compte aujourd'hui près de 3700 places réparties dans 112 parkings, entièrement ou partiellement dédiés au covoiturage. Ces places sont réparties dans différents types de parkings. Il existe d'une part ceux mis en place par la région, à proximité immédiate des axes autoroutiers pour plus de praticité. D'autre part, il y a les parkings mutualisés où une partie des emplacements de stationnement de grandes enseignes sont officiellement mis à disposition des covoitureurs.

Dans son plan vision FAST[14], concernant les objectifs issus de la Stratégie Régionale de Mobilité, la Wallonie développe son plan d'action au sujet de la mobilité partagée. Le Gouvernement wallon dit vouloir travailler sur 3 facteurs : facteur temps, facteur pratique et le facteur financier afin d'obtenir un réel impact.

Pour le facteur temps, il s'agirait de développer le premier Réseau Express de Covoiturage, abrégé en RECO, au monde. Ceci consiste à structurer le covoiturage traditionnel via la création de "lignes de covoiturage" sur l'autoroute, donc des portions de trajet entre des "stations d'embarquement" en amont des tronçons embouteillés. Elles seront accompagnées de "stations repères" profitant, quand c'est possible, d'une bande réservée aux véhicules à occupation multiple pendant les heures de pointe. En permettant la circulation sur ces bandes non encombrées, il devient largement favorable d'opter pour le covoiturage, même en considérant les quelques minutes de détour/arrêt pour permettre aux passagers de monter.

En ce qui concerne la praticité, l'augmentation de places de parking aux endroits stratégiques est primordiale afin d'augmenter les lieux de rendez-vous possibles pour les covoitureurs et ainsi offrir une solution intéressante pour tous les usagers. C'est pourquoi d'ici 2026, la SOFICO et le SPW Mobilité et Infrastructures vont piloter la création de 11 nouveaux sites de covoiturage. Cela permettra d'encourager un peu plus encore la réduction de la part de la voiture individuelle dans les déplacements des citoyens wallons.

Enfin, l'incitant financier, aussi bien pour les particuliers que pour les entreprises, doit pousser le développement du covoiturage. Lorsque le covoiturage est organisé au sein de l'entreprise, le covoitureur peut en effet exonérer d'im-

pôts l'indemnité kilométrique qu'il perçoit pour ses déplacements domicile-travail. L'entreprise peut aussi décider de soutenir davantage le covoiturage et d'octroyer une indemnité supplémentaire puisque cette pratique lui permet de réduire sa flotte.

Il transparaît à travers ces mesures que le politique prend le covoiturage comme un sujet d'une certaine importance. L'enjeu est en effet de taille puisqu'une réduction de 25% du trafic permettrait de faire disparaître les bouchons[21], si fréquents en heure de pointe. On observe ici cet effet de seuil introduit précédemment. Il faut en effet approcher de ces 25% pour mesurer un réel impact. Quoi qu'il en soit, au delà des conséquences directes de la congestion mentionnées dans la section dédiée à l'économie, la société belge a fort à gagner grâce au covoiturage.

4.3 Voitures de société

La voiture de société, aussi appelée voiture-salaire, est en pleine expansion depuis les 15 dernières années en Belgique. D'après le SPF Mobilité et Transport[22], leur nombre a augmenté de 130% en 15 ans, passant de 272.000 début 2007 à 626.000 début 2024. Aussi, la part de salariés ayant accès à cette forme de rémunération est passée de 7,4% en 2007 à 14,7% en 2024, comme indiqué sur la figure 4.4.

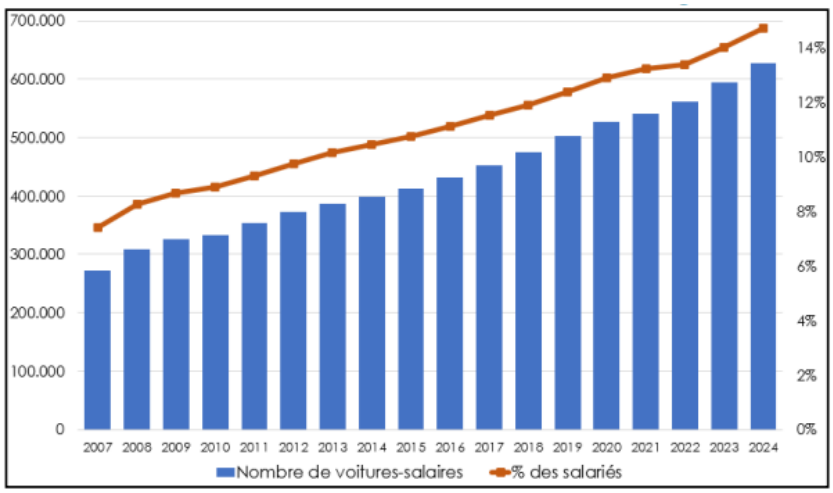


FIGURE 4.4 – Nette hausse du nombre de voitures-salaires et du pourcentage de salariés qui en bénéficient. *Source :* Service public fédéral Mobilité et Transports, 2024.

Ce qui explique cette croissance, alors que la conscience écologique semble gagner du terrain, est que la voiture salaire est aussi intéressante pour l'employeur que pour

le salarié. L'employeur y trouve un avantage car il déduit fiscalement une partie des frais liés à l'achat ou au leasing mais aussi sur les dépenses pour l'assurance et l'entretien du véhicule. La déduction aboutit à une situation où la voiture coûte moins à l'employeur que s'il avait augmenté le salaire de son employé suffisamment afin que ce dernier puisse s'offrir un véhicule de même catégorie. Les charges salariales et les impôts obligeraient l'employeur à débourser jusqu'au double de ce que coûte la voiture déduite, tout particulièrement pour la tranche d'imposition des collaborateurs concernés par le véhicule de fonction qui ont déjà des salaires conséquents.

Bien que l'on puisse questionner la nécessité de fournir un véhicule à ses employés au lieu de promouvoir un changement dans la mobilité, la Belgique électrifie son parc automobile essentiellement à travers ses entreprises. Ainsi, entre 2023 et 2024, les voitures électriques ont augmenté de 83,2% en une année, mais 82% d'entre elles sont des voitures inscrites au nom d'une société[23]. Cette tendance se vérifie au regard du nombre total de véhicules électriques en circulation : 45.348 appartiennent à des particuliers et 208.542 à des sociétés.

C'est donc le véhicule de société qui permet d'électrifier l'ensemble du parc. En effet, les sociétés ont principalement recours au leasing pour se créer une flotte. Ces leasings opérationnels ont la particularité d'avoir une échéance relativement courte, généralement entre 2 et 4 ans. À la fin de cette période, la voiture est souvent destinée au marché de l'occasion. Ces voitures récentes intéresseront les particuliers attirés par les prix d'occasion devenus plus abordables. Ainsi, les véhicules de société pourraient bien être l'acteur de l'ombre dans l'électrification du parc automobile belge.

Budget mobilité

Certes la voiture de société favorise l'électrification, mais il faut garder en tête l'expression : "l'énergie la plus propre est celle qu'on ne consomme pas". L'état belge cherche donc à fournir une alternative aux employés soucieux de leur impact environnemental. C'est ainsi qu'a été mis en place le budget de mobilité.

Cette enveloppe représente ce que l'entreprise aurait dépensé pour fournir un véhicule à son employé. Cette initiative ne coûte donc rien de plus à l'entreprise que la valeur de la voiture initialement prévue dans le contrat de travail. La somme est à la disposition de l'employé pour financer les différents abonnements de transport en commun ou de mobilité partagée nécessaires pour se déplacer puisqu'il n'a plus de voiture pour le faire. Les règles quant à la dépense de l'enveloppe sont relativement permissives, acceptant par exemple l'achat d'une trottinette électrique. Il est même

possible de payer le loyer si vous habitez volontairement dans un rayon de 10 km du lieu de travail, afin de réduire votre demande de passager-kilomètres.

4.4 Exemples inspirants

Il est également intéressant de se pencher sur les initiatives locales ou nationales. Il existe certains modèles incluant la mobilité partagée pour enrichir les futures trajectoires des échecs et des succès des résultats observés.

LISA

Le premier exemple qui peut s'avérer pertinent pour la Belgique est le programme LISA en Autriche[24]. Ce projet innovant vise à apporter plus de mobilité dans les zones rurales, ce qui sera un enjeu certain pour la mobilité partagée belge compte tenu de la géographie du territoire. LISA crée une nouvelle offre globale de transports publics, de vélos et de concepts de mobilité innovants tels que le partage et l'électromobilité. La volonté est donc de répondre à l'ensemble de la demande de transport avec une vision englobant tous les moyens empruntés. LISA souhaite rendre les usagers indépendants de la voiture personnelle en fournissant une alternative adaptée à chaque déplacement, immédiatement disponible et à proximité.

Le principe derrière ce projet est de « utiliser au lieu de posséder » tout en gardant les avantages que la propriété peut apporter. Pour y arriver, le bus passe de manière continue et bien plus régulièrement pour rallier les campagnes aux villes avoisinantes. Les arrêts de bus sont également transformés en stations de mobilité, en étant couplés à des gares de vélos partagés ou des box pour sécuriser son vélo personnel. Quand la place le permet, des stations de recharge pour véhicules électriques et des stations de véhicules partagés sont également disponibles.

Malheureusement, aucun rapport d'évaluation n'est accessible à ce jour. Le projet est toujours listé comme un pilote actif en Basse-Autriche selon Interreg Europe[25]. Lorsque les rapports seront disponibles, les conclusions qui en découleront pourront guider la transition belge au vu des similitudes en terme de zones à faible densité de population.

Barcelone

La mobilité partagée est jusqu'à présent essentiellement proposée par des acteurs privés. Ces sociétés cherchent à rentabiliser leurs services, ce qui crée des inégalités d'accès. Certains quartiers, villages ou même villes sont trop peu profitables et ne

bénéficient pas de ces services. La ville de Barcelone est un exemple en matière de justice territoriale. Elle a mis en place un cadre réglementaire strict afin de garantir que ces services couvrent l'ensemble du territoire urbain. Les autorités ont ainsi le droit d'accéder à la localisation des véhicules de chaque opérateur. Les opérateurs ne souhaitant pas se conformer à cette obligation ne sont plus les bienvenus dans la ville.

Cette gestion de l'accessibilité des services est un élément central pour la Belgique. Certaines communes présentent un intérêt économique bien supérieur à d'autres aux yeux des opérateurs. La réglementation est l'une des armes assurant des services à toute la population et non uniquement aux quelques centres urbains extrêmement rentables.

Les initiatives de LISA et de Barcelone nous amènent à tirer les leçons des réussites et des échecs de la mobilité partagée, mais leur transposition doit être adaptée aux spécificités nationales. Contrairement à Barcelone, la Belgique possède un gouvernement fragmenté entre plusieurs niveaux de pouvoir (fédéral, régional et communal). Une vision unique et coordonnée sera indispensable pour encadrer la mobilité partagée.

LISA cible des zones rurales peu denses alors que la Belgique se caractérise par une urbanisation diffuse et un réseau de petites et moyennes villes. La Belgique devra donc mettre en parallèle ce qu'elle expérimente actuellement dans ses grandes villes et ce que nous apprend ce projet pilote sur les zones rurales.

Chapitre 5

Contraintes

5.1 Accessibilité technologique

La mobilité partagée nécessite de s'enregistrer sur des plateformes numériques accessibles via un smartphone. Que ce soit pour réserver une voiture partagée, organiser ou réserver un covoiturage ou gérer un budget mobilité, les usagers doivent utiliser des applications spécifiques, propres à chaque opérateur.

Cependant, une partie de la population n'est pas familière avec ces outils. Les raisons sont multiples : par manque de compétences numériques, de ressources financières ou de matériel récent. Cette fracture numérique limite donc le potentiel d'adoption de la mobilité partagée, puisque l'entièreté de la population n'y a pas nécessairement accès. Pour ne pas exclure certains publics dans la transition, d'autres alternatives accessibles doivent se développer afin de convenir à chacun.

5.2 Climat

Un facteur à prendre également en compte est le climat. Certes, la Belgique n'est pas la plus à plaindre concernant la rigueur de ses hivers ou encore la chaleur écrasante de ses étés. Tout de même, il reste indiscutable que les conditions climatiques ont un impact direct sur la mobilité.

En termes de mobilité douce, il est important de constater, en plus des épisodes exceptionnels, la saisonnalité de la répartition modale des moyens de transport employés. Une étude réalisée par l'association française Vélo & Territoires illustre cette tendance. À travers 315 compteurs répartis sur tout le territoire français, tant dans les centres urbains ou péri-urbains qu'en milieu rural, ils observent les moyennes de fréquentations quotidiennes afin de mesurer les évolutions en cours.

Pour le milieu urbain, la moyenne en 2024 passe ainsi de 1 097 en janvier à 1 660 en septembre, soit une augmentation de plus de 50%. Cette fluctuation est d'autant plus marquée pour les autres milieux, avec une fréquentation quadruplée en milieu périurbain et multipliée par 10 en campagne. Bien que la mobilité douce doive être employée autant que possible, la transition doit considérer une solution convenant en permanence, donc aussi en période hivernale, lorsque une part des usagers délaisse les moyens doux.

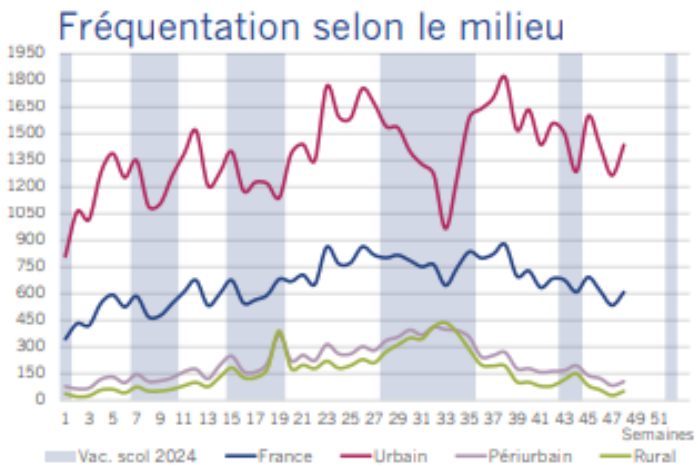


FIGURE 5.1 – Fluctuation importante de la fréquentation moyenne en fonction de la saison. *Source :* Vélo & Territoires, 2024.

Par ailleurs, la communauté scientifique prédit une augmentation de la fréquence et/ou de l'intensité d'événements météorologiques tels que des fortes pluies et des vagues de chaleur. Ceux-ci auront également un impact essentiellement négatif sur l'ensemble des infrastructures de transport.

Pour le rail par exemple, le risque est la diminution de la sécurité ferroviaire due aux dégâts engendrés. Cela causerait une augmentation des coûts d'entretien et de réparation ainsi que des perturbations éventuelles dans le respect des horaires. Ceci est lié à la dilatation de plus en plus conséquente des rails sous l'effet de la chaleur intense en été et de la stabilité mise à mal par les épisodes de fortes précipitations. Ces problèmes risquent de ralentir le transport ferroviaire dans son expansion, d'autant plus qu'il est indispensable de suspendre intégralement la circulation sur le tronçon concerné lors de réparations importantes. Tous les besoins en mobilité insatisfaits se retrouveront alors satisfaits par les autres moyens de transport par effet de vase communicant.

5.3 Densité et répartition démographique

L'étude des trajectoires envisageables pour la mobilité en Belgique suppose de proposer un modèle prenant en considération l'ensemble du territoire. Ainsi, des solutions qui semblent évidentes pour une localité ne pourront pas automatiquement être étendues à tout le territoire.

D'après Statbel,l'office belge de statistique, au 1er janvier 2024 la densité de population en Belgique était de 383 habitants au km². Elle est cependant assez inégale d'une région à l'autre avec des extremums assez marqués entre Vresse-sur-Semois et ses 24 hab./km² et Saint-Josse-ten-Noode qui compte 23.173 hab./km².

À échelle communale, la densité est représentée sur la figure 5.2. Deux choses distinctes y sont à observer.

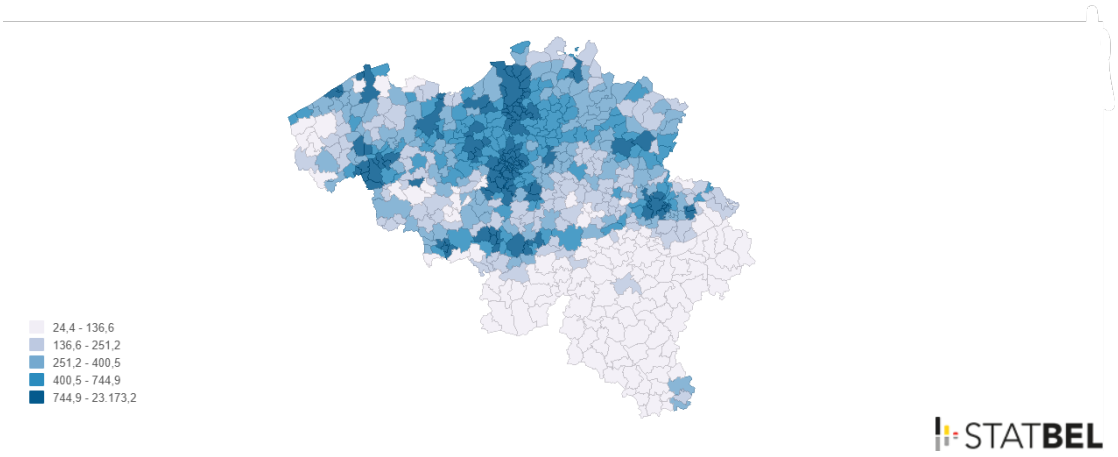


FIGURE 5.2 – Densité de population plus importante en région flamande après Bruxelles-Capitale. *Source :* Statbel, 2024.

Premièrement, il existe de grandes disparités entre communes, parfois même directement avec des communes voisines. Ceci s'explique partiellement par le relief du territoire, comme on peut le voir en comparant les figures 5.2 et 5.3.

Deuxièmement, en comparant la figure 5.2 au réseau routier figure 2.11, ou au réseau ferroviaire figure 2.12, un lien évident entre la densité et la proximité au réseau apparaît. Difficile de déterminer lequel a le plus influencé l'autre, mais la majorité des citoyens est assurée d'avoir un accès au réseau à proximité.

La figure 5.4 illustre la distance entre le domicile de chaque citoyen et la gare la plus proche. Cette moyenne varie dépendamment de la province considérée,

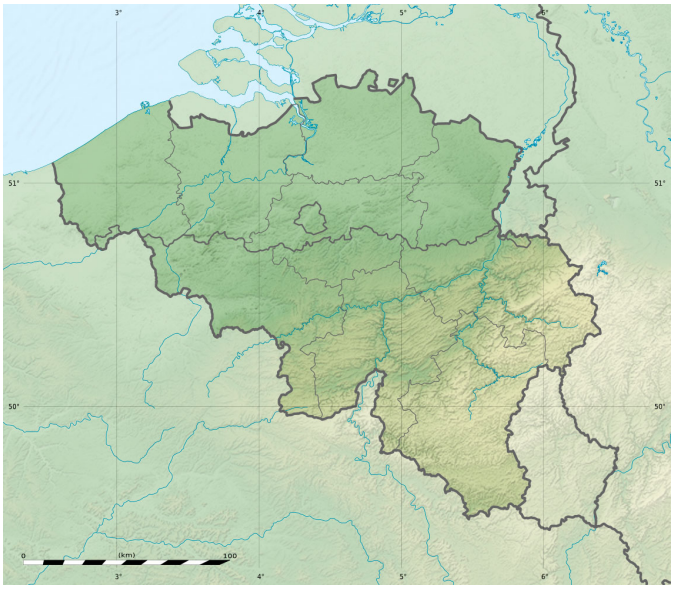


FIGURE 5.3 – Carte du relief expliquant partiellement la densité de population hétérogène sur le territoire. *Source :* Wikipédia, 2010.

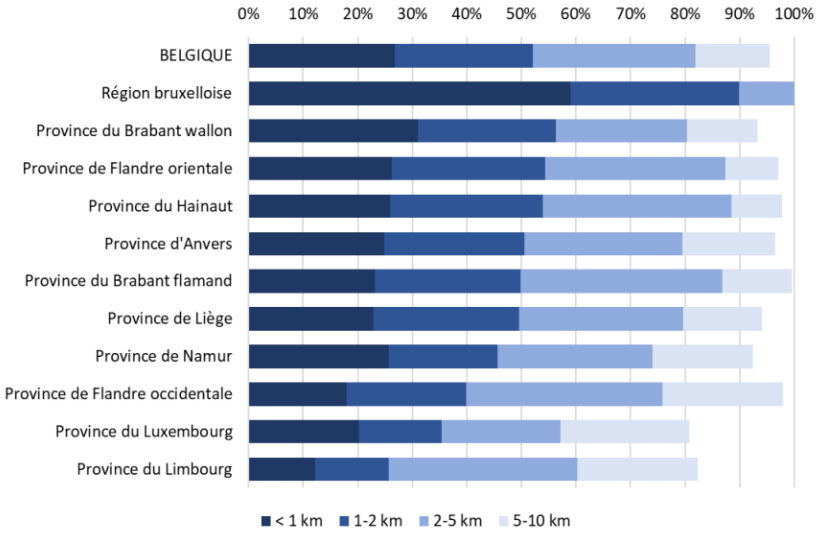


FIGURE 5.4 – Distance entre la gare et l'habitation influencée par la province d'origine. *Source :* SPF Mobilité et Transports, enquête Proximité des gares, 2025.

mais une fois pondérée par la population, la moyenne nationale met en évidence le potentiel du chemin de fer. Ainsi, le réseau ferroviaire, bien que moins fin dans son maillage que le réseau routier, est suffisamment accessible que pour être potentiellement plus utilisé. De fait, en Belgique plus de la moitié de la population habite à

moins de deux kilomètres d'une gare.

L'exemple du train illustre que si l'offre n'est pas vraiment adaptée, la population n'utilisera que peu la technologie qui lui est proposée. Ce constat ajouté aux importantes disparités de densité, même à échelle locale, sont de vraies embûches à la construction d'un modèle fonctionnel et réaliste.

5.4 Coût

Le coût que représente la mobilité est un facteur de décision central et donc un élément à considérer dans cette transition. On peut parler de coût financier mais aussi environnemental en considérant les émissions de GES.

Sur le portail de la mobilité de Wallonie, il est ainsi possible de visualiser le coût du déplacement ou le total annuel de ses déplacements en fournissant la distance à parcourir et la récurrence du trajet. Ce calculateur permet d'obtenir graphiquement la différence du coût de chaque moyen de transport pour un même trajet.

À travers le calculateur, on observe une tendance égale en termes de coût, quelle que soit la distance à parcourir, comme on peut le voir sur les figures 5.5 et 5.6. Ces représentations permettent de mettre en évidence le coût lié à la possession et à l'utilisation. Ce coût peut représenter un frein en fonction des ressources financières du citoyen.

Tout comme pour le coût financier, l'outil permet de faire une distinction entre les émissions liées à la possession et à l'utilisation d'un moyen de transport. Les résultats sont observables sur la figure 5.7.

D'un point de vue financier comme environnemental, le coût est systématiquement plus faible pour les transports en commun. Proposer une alternative plus économique à la voiture est un élément essentiel afin d'espérer attirer la population hors du confort de la voiture. L'avantage de la voiture partagée est que la mutualisation d'une voiture permet de diminuer les coûts fixes. Cette diminution du prix doit tout de même être suffisante pour être perçue comme une technologie intéressante.

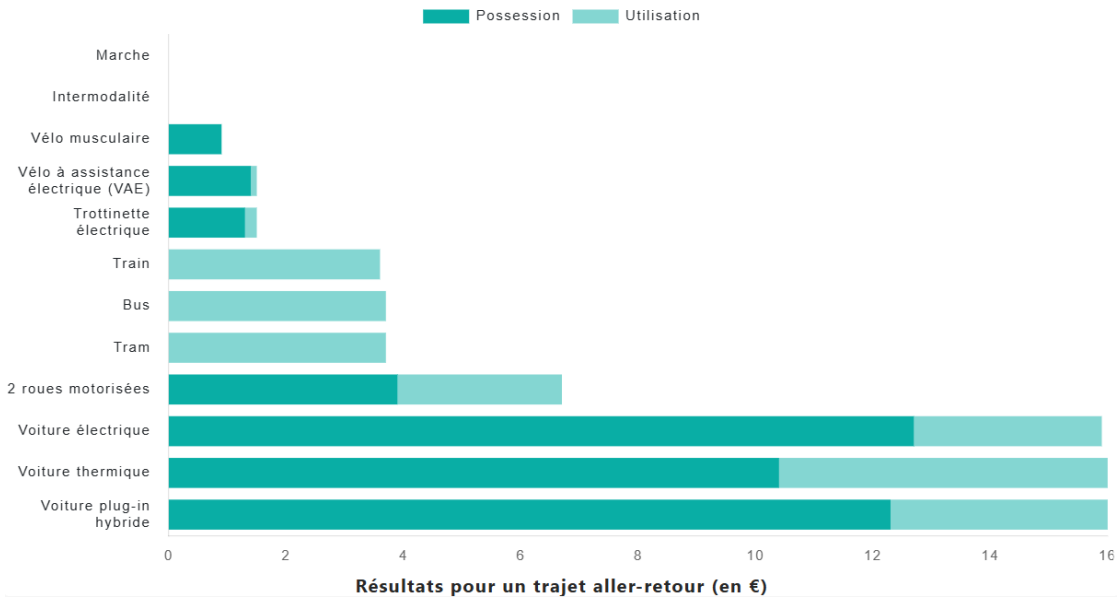


FIGURE 5.5 – Coût des différents moyens de transport pour un trajet quotidien de 20km. *Source :* Région wallonne, 12 mars 2025.

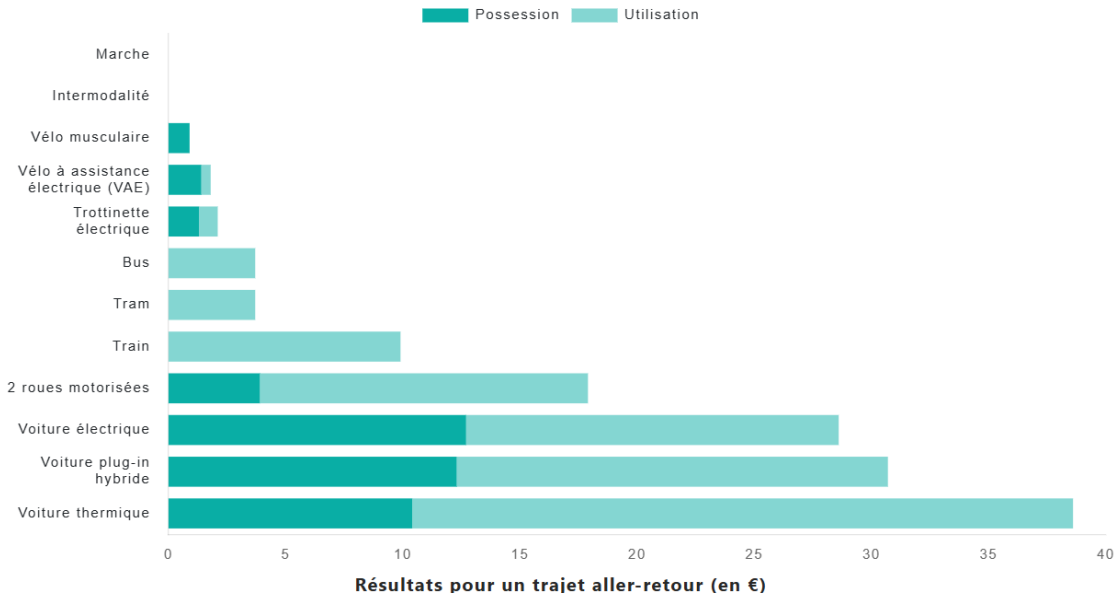


FIGURE 5.6 – Coût des différents moyens de transport pour un trajet quotidien de 100km. *Source :* Région wallonne, 12 mars 2025.

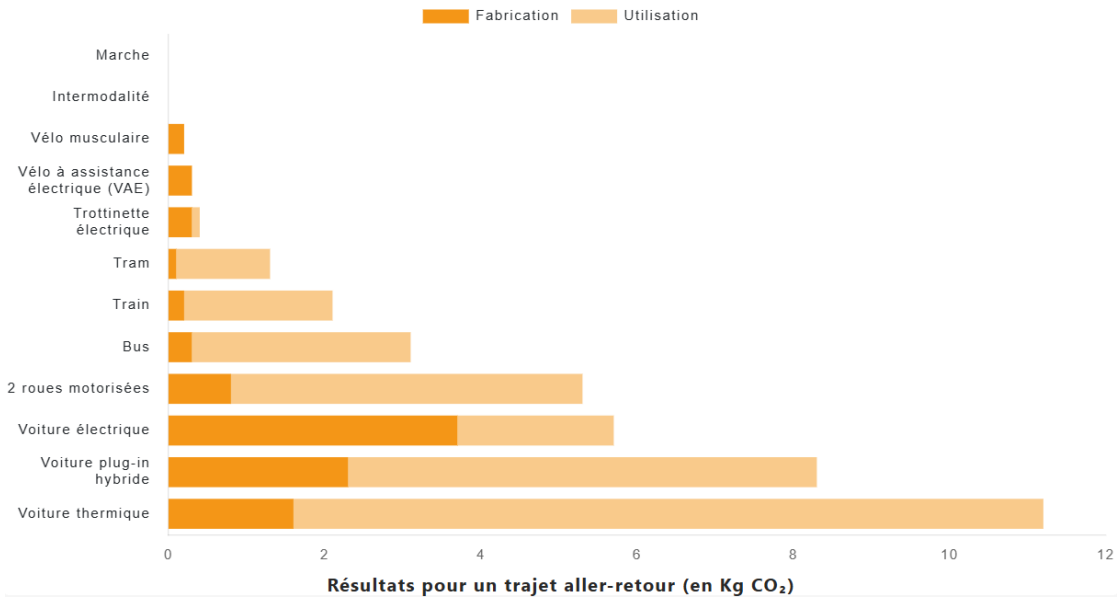


FIGURE 5.7 – Émissions de CO_2 des différents moyens de transport pour un trajet quotidien de 20km. *Source :* Région wallonne, 12 mars 2025.

Chapitre 6

Système d'Information Géographique (GIS)

Avant de poursuivre, il est à noter que nous ne distinguerons pas les types de partages décrits dans la section 4.1. Ainsi, le concept de "voiture partagée" désignera la mobilité partagée dans sa globalité.

Le but final de ce travail est la réalisation de plusieurs scénarios concernant la mobilité partagée. Pour ce faire, deux outils sont utilisés.
D'une part QGIS, qui utilise le système d'information géographique (GIS en anglais). La création d'un support géographique permet d'étudier la pertinence de la voiture partagée à un endroit donné.
De l'autre EnergyScope, qui évalue les impacts de différentes trajectoires pour le futur énergétique de la Belgique. Il illustre entre autre les émissions totales de gaz à effet de serre (GES) en fonction de la répartition modale des différents moyens de transport, ou encore les besoins en capacité installée des différentes technologies.

6.1 Méthodologie

6.1.1 Approche GIS et pondération des critères

L'objectif de cette méthodologie est d'identifier les emplacements optimaux pour l'implantation de voitures partagées, à l'aide d'un système d'information géographique. Le processus débute par la sélection de critères pertinents, puis leur pondération selon un Processus d'Analyse Hiérarchique (AHP) robuste, suivi de la propagation des incertitudes via une simulation Monte Carlo.

Critères et reclassification

Les critères qui influencent la pertinence d'un emplacement seront détaillés dans la section 6.2. Chaque critère est transformé en couche géographique et reclassé sur une échelle adimensionnelle de 1 (très défavorable) à 5 (très favorable), permettant leur combinaison. Cette étape permet donc d'attribuer à chaque commune un score pour chaque critère.

Hiérarchisation et incertitude

La pondération des critères repose sur la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process ou Processus d'Analyse Hiérarchique). Ceci a pour but de limiter l'impact de la subjectivité de l'auteur quant à l'importance d'un critère par rapport à un autre. Plutôt que d'utiliser des valeurs fixes, la préférence entre deux critères est modélisée par une distribution bêta-PERT, définie par une valeur minimale a, une valeur la plus probable m, et une valeur maximale b. L'espérance de cette distribution est donnée par :

$$\mu = \frac{a + 4m + b}{6} \tag{6.1}$$

Cette méthode permet d'assurer une meilleure robustesse du modèle en tenant réellement compte de l'incertitude.

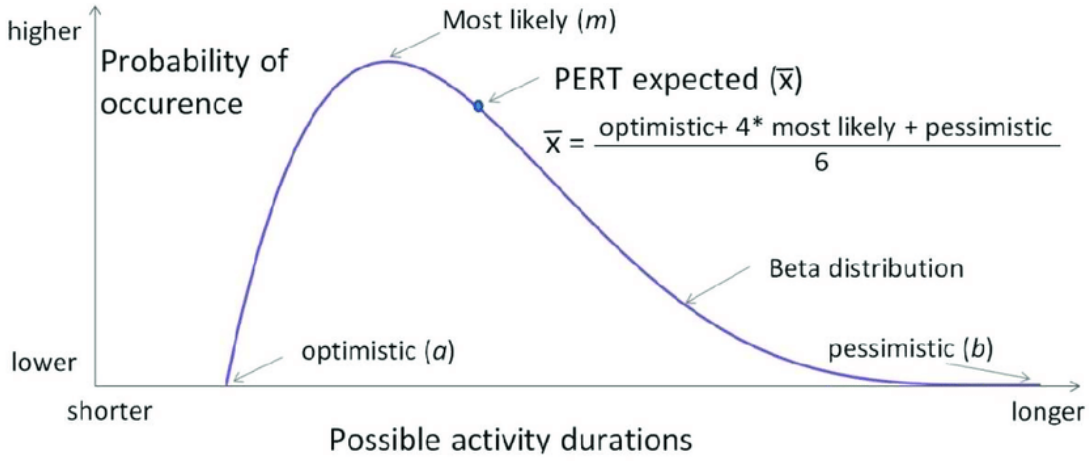


FIGURE 6.1 – Distribution bêta-PERT amenant l'incertitude sur la pondération d'un critère. *Source :* Hajdu & Bokor (2014), figure de ResearchGate, 19 mai 2025.

6.1.2 Simulation Monte Carlo

Pour propager l'incertitude dans la pondération des critères, une simulation Monte Carlo est réalisée. À chaque itération, une nouvelle matrice de comparaison est générée aléatoirement à partir des distributions bêta-PERT, sous réserve de cohérence (ratio de consistance $CR < 0.1$). Un ensemble de poids est ainsi dérivé pour chaque itération.

Chaque jeu de poids est ensuite appliqué aux couches reclassées via une somme pondérée dans le GIS, produisant une carte de pertinence. Après N itérations, la moyenne des cartes obtenues permet de générer une carte finale de pertinence. Celle-ci intègre à la fois le score moyen obtenu pour la commune ainsi que l'incertitude sur ce résultat.

Cette approche permet d'identifier les zones les plus prometteuses pour l'implantation des voitures partagées. Elle met également en évidence les communes où ce résultat est robuste et celles où l'incertitude est plus grande et où un changement de pondération est ainsi plus susceptible d'influencer le résultat.

6.2 Description des critères

6.2.1 Intermodalité

Comme mentionné plusieurs fois précédemment, la mobilité partagée est particulièrement intéressante lorsqu'elle peut être couplée à d'autres infrastructures de mobilité publique ou de mobilité douce[26]. La voiture partagée est alors l'outil permettant de combler les besoins initialement satisfaits par la voiture individuelle et qui ne peuvent pas l'être par les autres moyens de transport. L'intermodalité est donc requise pour que la voiture partagée puisse être une alternative intéressante à la voiture individuelle.

Train

Le réseau ferroviaire est indispensable lorsqu'un individu souhaite rallier deux villes, puisqu'il est le seul réseau public permettant de parcourir rapidement des distances conséquentes. Ainsi, se passer de la voiture individuelle requiert d'avoir accès à une gare relativement proche et de préférence bien desservie et disposant de plusieurs connexions possibles[27]. Ce critère considère donc la proximité de la commune avec la gare ferroviaire la plus proche.

Bus

Le réseau régional de bus, qu'il s'agisse de De Lijn, de la STIB ou du TEC, permet de se déplacer efficacement dans un rayon plus modeste que le train. Il sert à relier le domicile au centre-ville, à la gare ou à d'autres commerces/écoles. Afin de refléter au mieux l'offre proposée dans la commune, les arrêts de bus de l'entité sont divisés par sa superficie, ce qui donne une densité d'$arrêts/km^2$, traduisant ainsi l'accès au réseau pour ses habitants.

Tram et métro

Ces moyens de transport sont une fois de plus un atout pour l'offre d'intermodalité puisqu'ils permettent d'élargir cette offre et donc d'augmenter les alternatives. Bien que cette technologie soit spécifique à quelques localités, où le bus est également bien implanté, il est considéré puisque les trams et métros ont souvent une fréquence de passage bien supérieure à celle des bus. Ce critère est défini en termes de densité d'arrêts, tout comme le bus, ce qui reflète au mieux l'accessibilité au réseau.

Dénivelé

L'intermodalité s'applique aussi à la mobilité active, principalement le vélo et la marche. Il est donc pertinent de prendre en compte le relief[28]. L'adoption et la pratique de la mobilité active dépendent principalement des individus, bien que les infrastructures type pistes cyclables puissent aider. Ce que traduit le dénivelé, c'est la disposition des citoyens à choisir la marche ou le vélo en fonction du relief moyen de la commune pour leurs déplacements.

6.2.2 Population et usage

Les critères qui suivent s'intéressent à la population et à ses habitudes. Il est évidemment souhaitable que la voiture individuelle cède sa place à une mobilité réfléchie plus respectueuse de l'environnement, mais l'implantation de la mobilité partagée dépend notamment de facteurs démographiques.

Dépendance à la voiture

Ce critère vise à considérer les communes ayant la plus forte demande en mobilité satisfaite par la voiture. En prenant le nombre de kilomètres parcourus en moyenne par voiture, multiplié par le nombre d'immatriculations de la commune, on observe la demande de chacune de ces communes. En y associant la population, on obtient finalement la demande en kilomètres de voiture individuelle par habitant. Cette

information est pertinente puisqu'une commune dont la demande est plus faible signifie que ses habitants optent déjà pour les alternatives, le potentiel est donc plus limité. À l'inverse, une demande importante signifie que la population ne s'appuie pas encore sur les alternatives. La voiture partagée est alors une technologie qui peut faire partie de la solution pour une transition.

Densité de population

La densité de population est prise en compte ici pour identifier les zones où les services de voitures partagées sont susceptibles d'avoir le plus d'utilisateurs[26]. Le fonctionnement actuel de ces dispositifs exige de la rentabilité puisque les opérateurs sont des acteurs privés qui, bien qu'ils collaborent avec les autorités locales, attendent une forme de rendement lié à leur activité. Une forte densité a également tendance à créer une demande horaire plus hétérogène, ce qui réduit le nombre de voitures nécessaires pour fournir une offre satisfaisante. Pour les régions où l'impact économique est plus faible, la pondération de ce critère serait toutefois à modifier si les opérateurs étaient des acteurs publics ou disposant du soutien des autorités à travers des subsides.

6.2.3 Accessibilité des commerces et écoles

L'abandon de la voiture individuelle se fait à l'aide d'une offre abondante et qualitative d'alternatives mais aussi par la proximité aux commerces essentiels [29, 26]. Une commune disposant de nombreux commerces est plus à même de satisfaire ses habitants, qui ne devront pas systématiquement utiliser le réseau public ou encore réserver une voiture partagée.

Les commerces susceptibles d'être fréquentés de manière hebdomadaire voire quotidiennement, dénommés "Points Of Interest" sont quantifiés par commune avant d'être transformés en densité. Cette information traduit le nombre de commerces qui entourent les habitants et donc leur accessibilité.

La même logique est appliquée pour les établissements d'enseignement. L'intégration de ces infrastructures vise à mettre en évidence les entités où les déplacements pour s'y rendre ne reposent pas nécessairement sur la voiture individuelle et peuvent être envisagés en mobilité active ou en transport public.

Critère	a	m	b
Train	0.15	0.25	0.35
Bus	0.15	0.25	0.35
Tram et métro	0.05	0.15	0.25
Dénivelé	0.05	0.1	0.2
Dépendance à la voiture	0.2	0.3	0.4
Densité de population	0.15	0.25	0.35
Accessibilité des commerces	0.2	0.3	0.4

TABLE 6.1 – Pondération attribuée à chaque critère pour l'obtention du potentiel communal pour la mobilité partagée.

6.3 Pondération des critères

La pondération utilise une distribution, comme introduit dans la section 6.1.1. La distribution Beta-PERT permet de faire apparaître une incertitude. Les valeurs attribuées à chaque critère sont reprises dans la table 6.1.

Ces valeurs ne sont pas directement issues d'une étude. Elles découlent de l'importance accordée par la littérature à chaque critère sur la transition vers le modèle partagé. Le poids n'est pas central en tant que tel, il introduit simplement la relativité entre ce critère et les autres.

6.4 Résultats

6.4.1 Potentiel de la voiture partagée

Les données obtenues à travers la méthodologie décrite dans la section 6.1 informent du score moyen obtenu pour chaque commune ainsi que l'écart type au cours des 1000 itérations. Cette information n'est pas directement visualisable, c'est pourquoi il faut classifier ces résultats dans différents intervalles de sorte à pouvoir les traduire sur une carte de la Belgique.

Cette étape est, tout comme la pondération des critères, sujette à l'interprétation de l'auteur, puisqu'un score de 50% peut être vu comme satisfaisant par l'un et insuffisant par l'autre. De plus, l'utilisation d'un intervalle implique que deux valeurs identiques à la dixième près se retrouvent classées différemment, alors qu'elles sont bien plus proches l'une de l'autre que ne le sont les extremums de l'intervalle.

L'allocation de couleurs illustrant les résultats du score moyen de chaque commune se fait suivant le tableau 6.2. Les résultats en tant que tels sont repris sur la figure 6.2.

Score moyen	**Couleur associée**
[0, 2.1]	Rouge
]2.1, 2.4]	Orange
]2.4, 2.8]	Jaune
]2.8, 3.2]	Vert clair
]3.2, 5]	Vert foncé

TABLE 6.2 – Intervalles des scores moyens et couleurs associées.

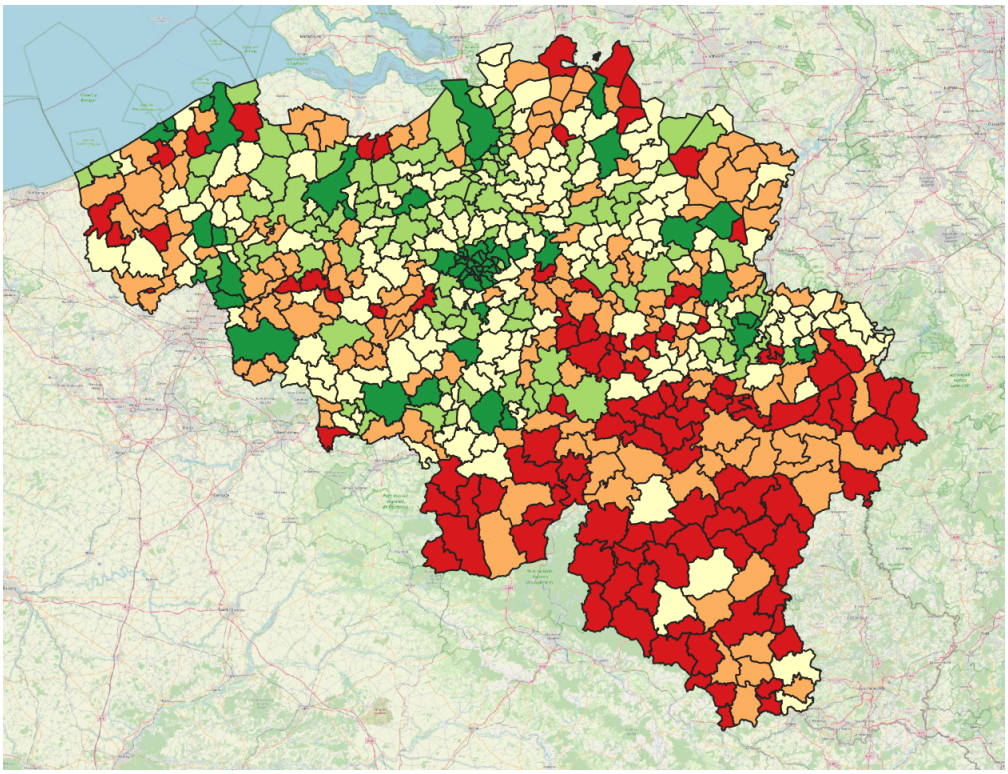


FIGURE 6.2 – Carte des communes de Belgique représentant leur potentiel en termes de voiture partagée.

Analyse régionale

À échelle régionale, on observe le plus grand potentiel en région bruxelloise grâce à l'importante offre de mobilité publique conduisant à une grande intermodalité des moyens de transport. La voiture partagée est le complément idéal pour les déplacements qui ne peuvent être faits avec l'offre publique ou la mobilité active.

La Flandre dispose de nombreuses communes où le potentiel oscille de moyen à haut, là aussi lié à l'offre déjà existante de mobilité publique. Le potentiel est systématiquement plus élevé autour des grandes villes telles qu'Anvers ou Gand. À l'inverse, les zones plus excentrées des centres urbains affichent un potentiel moindre.

La Wallonie quant à elle démontre un faible potentiel pour cette technologie, particulièrement pour le sud de la région. Certaines villes se démarquent tout de même comme Mons, Charleroi ou Liège. Le contraste entre ces communes à haut potentiel et leurs voisines qui peuvent être classées orange ou rouge illustre les futurs enjeux pour rendre la Wallonie moins dépendante de la voiture individuelle.

Meilleur score moyen

La commune qui arbore le plus haut potentiel en termes de développement de la voiture partagée est Saint-Josse-ten-Noode avec 4,68 sur 5. Ceci est lié au fait que cette commune est la plus densément peuplée de tout le pays. Située en région bruxelloise, elle repose en plus sur un important réseau de transports publics, ce qui explique ce score.

Pire score moyen

Le potentiel simulé le plus faible est de 1,81 pour la commune de Bertogne située en province de Luxembourg. Ce résultat fait sens compte tenu du peu d'infrastructure qui y existe et des distances importantes qu'il faut parcourir pour bon nombre de besoins quotidiens. Le relief accompagne cet élan défavorable, réduisant un peu plus l'intermodalité envisageable.

6.4.2 Analyse de l'incertitude

Comme introduit dans la section 6.1, l'utilisation d'une distribution permet de prendre en compte l'incertitude. Elle est traduite ici par l'écart type, qui est la dispersion des scores obtenus au cours des 1000 itérations pour chaque commune. Au plus cet écart type est grand, au plus les scores obtenus sont différents les uns des autres. Ceci montre une grande incidence de la pondération de chaque critère sur le score qu'obtient la commune. À l'inverse, un écart type faible signifie

que le score dépend peu de la pondération de chacun des critères. Dans le cadre de ce mémoire, il est donc préférable d'avoir un écart-type faible pour assurer la robustesse du résultat face aux hypothèses.

Écart type	**Couleur associée**
]0.08, 0.1]	Rouge
]0.07, 0.08]	Orange
]0.06, 0.07]	Jaune
]0.04, 0.06]	Vert clair
[0, 0.04]	Vert foncé

TABLE 6.3 – Intervalles de valeurs des écarts type et couleurs associées.

L'écart type de chaque commune est représenté sur la figure 6.3 dont l'attribution des couleurs se fait suivant la table 6.3. Les intervalles sont établis après analyse des résultats de manière à visualiser la valeur relative de chaque commune. Au contraire de la moyenne des itérations, il n'existe pas de tendance régionale pour cette information.
On peut toutefois remarquer que plusieurs villes comme Liège ou Gand, qui sont classées comme ayant un haut potentiel, présentent aussi les plus grands écarts-types. La modification de l'importance donnée à l'un ou l'autre critère pourrait fortement altérer la classification de la commune.

Plus faible écart type

La commune qui présente le plus faible écart type est Bertogne (0.016), qui était déjà celle au score moyen le plus faible. Ce résultat signifie que le poids attribué à un critère vis-à-vis d'un autre n'a pratiquement aucun impact sur le score qui, dans ce cas, est plutôt très mauvais quant au potentiel de la voiture partagée. Quelle que soit la pondération des critères, le score de potentiel restera très faible. Cette situation est due au fait que pratiquement tous les critères rendent un score défavorable. Cela crée une forme d'assurance d'obtenir un score défavorable, indépendamment de la pondération.

Plus grand écart type

Denderleeuw est la commune à l'écart type le plus important (0.1005) suivie de près par Liège (0.1002). Cette valeur signifie donc que le score obtenu peut changer dépendamment de l'importance donnée à chaque critère. Toutefois, un écart type de 0.1 reste une valeur modérée qui signifie qu'un changement de pondération ne devrait pas changer diamétralement le score final. Autrement dit, une commune

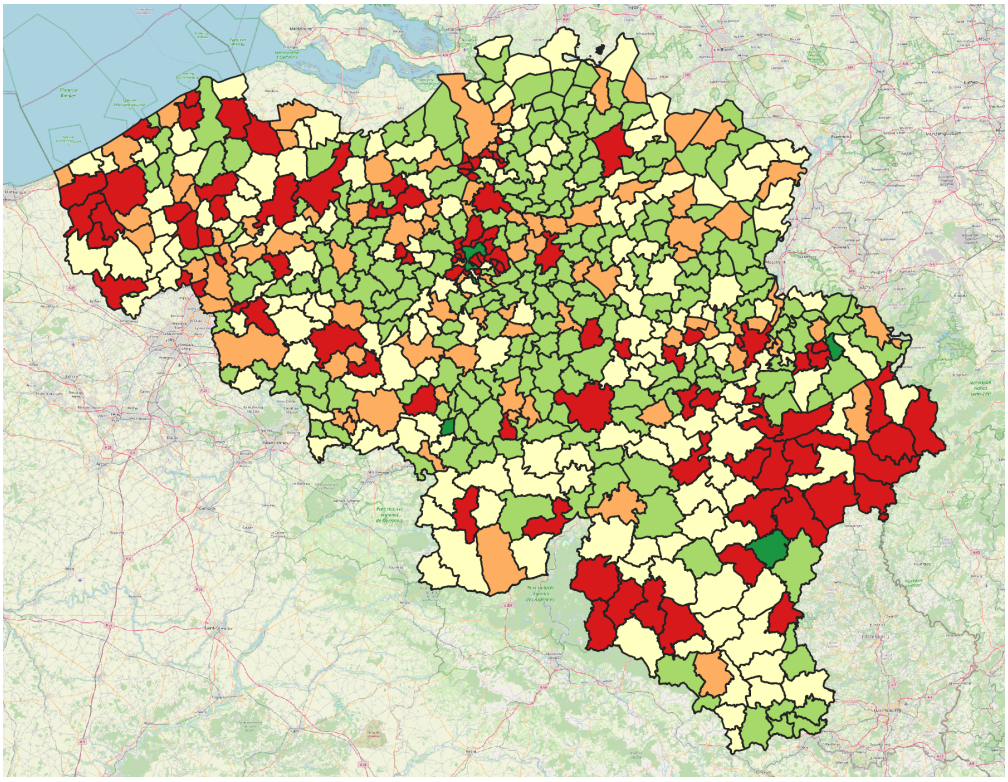


FIGURE 6.3 – Écart type des scores attribués lors de 1000 itérations pour chaque commune.

dont le résultat est très encourageant avec un grand écart type devrait continuer de donner un résultat satisfaisant même si les critères sont pris différemment en compte et inversement.

6.4.3 Étude de la dominance des critères

L'objectif de cette section est d'évaluer si certains critères exercent une influence disproportionnée sur le score moyen des communes. Si c'est le cas, ces critères demandent une attention particulière : soit parce qu'ils sont réellement déterminants dans le cadre de la mobilité partagée, soit parce que leur pondération est un levier critique pour le résultat obtenu.

De manière générale, l'ensemble de ce travail repose sur un certain nombre d'hypothèses. Identifier les critères les plus influents permet d'anticiper les conséquences de la remise en question ou de l'ajustement de ces hypothèses.

Pour cela, les valeurs SHAP (SHapley Additive exPlanations) sont utilisées, ce qui permet de quantifier l'impact moyen de chaque variable dans un modèle prédictif. Ce choix méthodologique s'appuie sur des travaux comme ceux de MÜHLEMATTER et al. [26], qui ont utilisé SHAP pour analyser les facteurs influençant la demande de services d'autopartage "station-based". Leur étude combine des algorithmes de type Random Forest à SHAP pour identifier des critères explicatifs tels que la densité de population ou la présence de points d'intérêt.

Comparé à une simple corrélation, SHAP permet de visualiser les effets directionnels. Bien que cette information s'écarte de la volonté de mettre en évidence le ou les critères dominants, elle permet de visualiser que tous les critères influencent aussi bien à la hausse qu'à la baisse le score final.

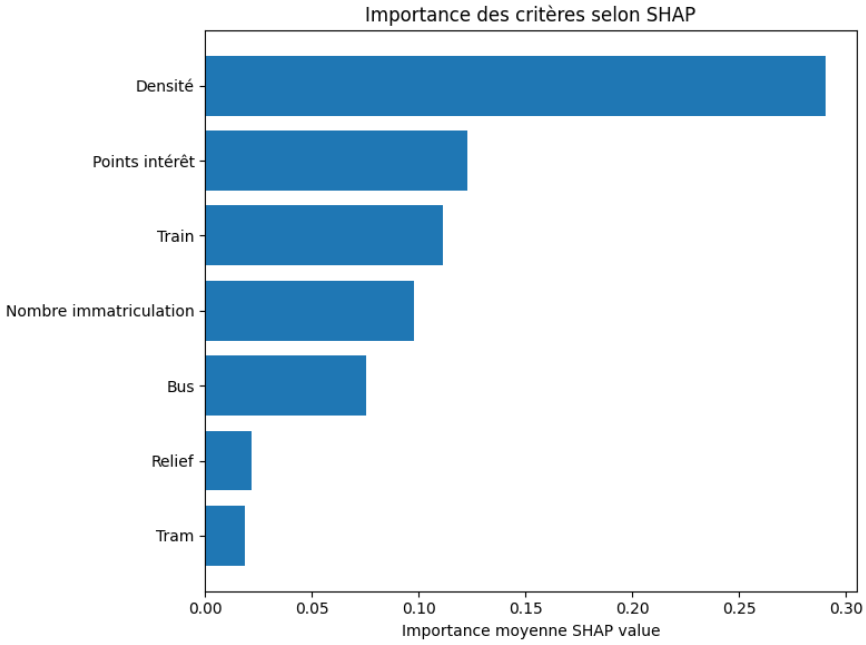


FIGURE 6.4 – Importance dominante de la densité selon SHAP (pondérations initiales).

La figure 6.4 présente l'importance moyenne des critères sur l'ensemble des scores communaux. On observe que le critère **Densité** domine très largement les autres critères dans sa contribution au score moyen. Cette domination d'un seul critère signifie qu'une grande partie du résultat est déterminée par ce critère.

Afin de visualiser quel serait l'impact d'une pondération différente, on réduit

volontairement celle du critère dominant pour attester la solidité du résultat. Les résultats alors obtenus sont présentés à la figure 6.5.

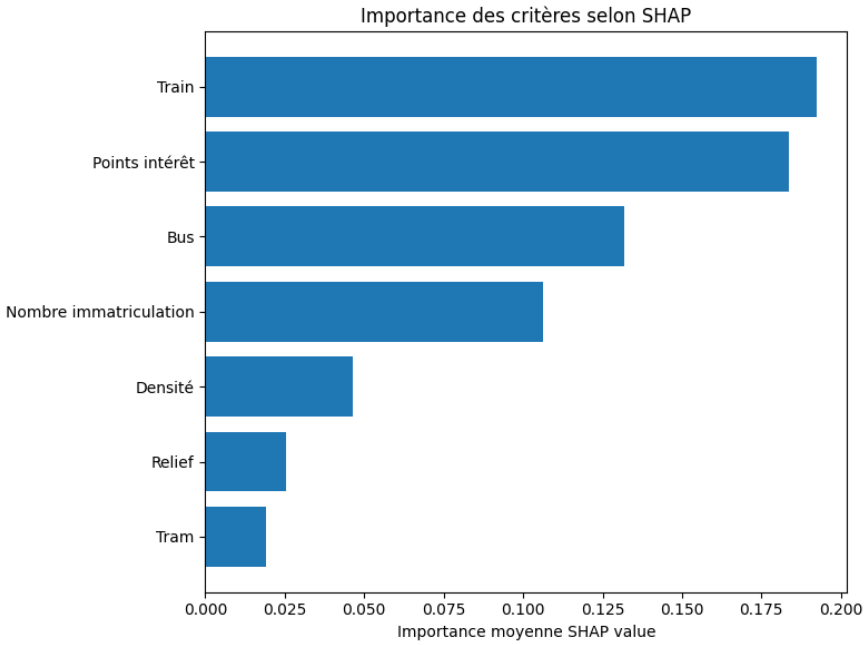


FIGURE 6.5 – Importance des critères selon SHAP homogénéisée en réduisant la pondération de la densité.

Cette modification entraîne quelques changements dans l'importance moyenne respective des critères. La proximité du **Train** devient par exemple le plus influent, alors qu'il n'était pas le second plus influent dans la pondération initiale. La **Densité** au contraire chute en influence, ce qui montre que sa dominance n'était pas structurelle, mais plutôt liée au poids qu'on lui attribue.

Cette étude met en évidence l'impact de la pondération des critères sur le résultat final. En ce qui concerne les résultats présentés dans la section 6.4.1, cette variation de pondération n'implique pas de changement significatif dans le potentiel communal de partage.

6.4.4 Parallèle entre GIS et la réalité

Afin de vérifier la cohérence de la carte, il est intéressant de mettre en parallèle les communes où la voiture partagée se développe effectivement avec leur potentiel

attribué.

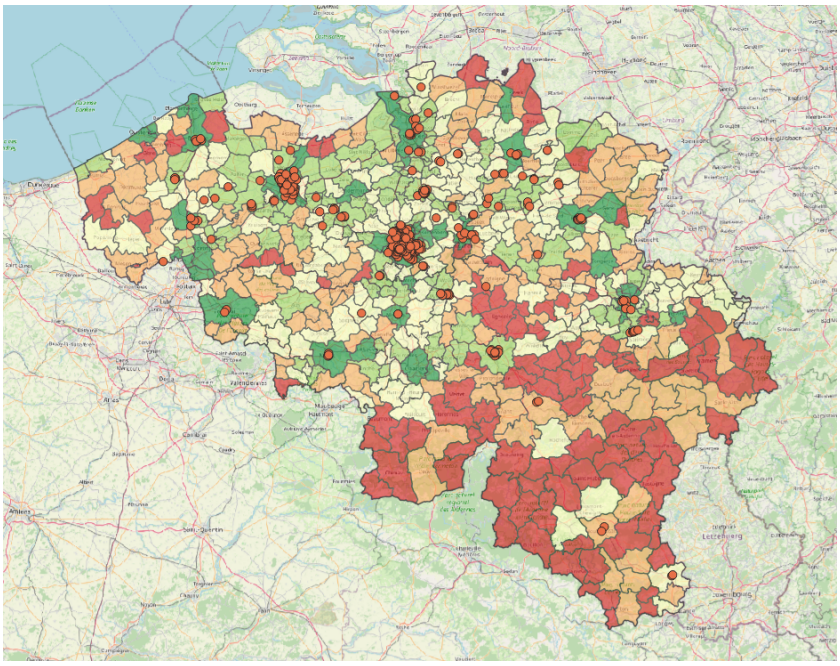


FIGURE 6.6 – Emplacements existants de stations de partage concordant avec le potentiel communal obtenu pour la mobilité partagée.

Sur la figure 6.6 ont été superposés l'emplacement actuel des stations de voiture partagée et les résultats présentés précédemment. On observe une correspondance forte entre les entités à haut potentiel et l'offre actuelle. Les grands centres urbains tels que Bruxelles, Gand ou Anvers comptent en effet beaucoup de stations.

À l'inverse, quelques stations de partage détonnent par le faible potentiel attribué à la commune dans laquelle elles se situent. C'est le cas pour la commune de Neufchâteau, qui compte 2 stations Cambio, situées à 3 km l'une de l'autre.

Un entretien avec Mariline Clementz, échevine dans la thématique de la mobilité douce et de la participation citoyenne au précédent collège communal, fait apparaître que c'est à la demande de l'échevine que Cambio s'y est installé, avec une voiture par station. Elle admet que la pratique a eu du mal à être acceptée. Après 4 ans, les voitures partagées restent faiblement utilisées, même si la tarification avantageuse pour le personnel communal pousse à leur usage. Madame Clementz précise : "Ça ne coûte plus que 1.000 euros à la commune par an, c'est déjà bien moins que les 10.000 euros dépensés la première année.".

L'occupation relativement faible de la flotte à Neufchâteau est confirmée par Nicolas Bodelet, directeur de Cambio. À Neufchâteau, les voitures ont un taux d'occupation de l'ordre de 25% d'une journée de 24 heures. Ce taux est inférieur à Arlon, atteignant 35%, et bien inférieur à celui de la capitale pouvant atteindre les 50% pour certaines stations. L'usage des véhicules à Neufchâteau ne permet pas à Cambio d'être rentable, ce qui explique le financement communal nécessaire actuellement pour offrir ce service à la population. Monsieur Bodelet conclut en disant : "On verra l'année prochaine si on continue à Neufchâteau", traduisant que le manque de rentabilité pousse le service à dépendre des décisions politiques de la commune.

Ce constat montre que le modèle GIS, bien qu'il puisse être imparfait sur certains points, est une base solide pour la suite du travail.

Chapitre 7

EnergyScope

7.1 Lien entre GIS et EnergyScope

L'utilisation du système d'information géographique a permis de classer les communes en termes de potentiel de développement de la voiture partagée. Le but dans la suite de ce mémoire est de quantifier quel sera le nombre de voitures nécessaires une fois cette technologie répandue et combien de voitures individuelles seront ainsi évitées.

À l'aide du potentiel respectif des communes, il est possible d'obtenir le nombre de voitures individuelles restantes. En découle le nombre de voitures partagées nécessaires, dépendamment du taux de participation. Les besoins communaux de voitures, aussi bien privées que partagées, peuvent être convertis en passager-kilomètres grâce à la demande communale journalière. Ils sont ensuite rassemblés à échelle nationale pour être repris dans l'outil EnergyScope. Ce dernier permet d'optimiser, sur base d'une fonction de coût, les technologies employées à travers tous les aspects énergétiques, avec pour objectif le net zéro émissions de CO_2 en 2050.

La demande en voiture individuelle diminue grâce à la voiture partagée, ce qui impacte la sortie de la fonction d'optimisation. L'objectif sera d'analyser les différences et ainsi mettre en évidence les gains liés à l'adoption de cette pratique.

7.2 Méthodologie

Plusieurs entrées d'EnergyScope permettent de dessiner des trajectoires. La mobilité y est définie à travers trois éléments :

— une demande
— plusieurs technologies mobilisables

— une contrainte propre à chacune d'entre elles sur le min et le max de la part modale qu'elles peuvent satisfaire

Selon les prévisions, la demande va sensiblement s'accroître dans les décennies à venir. Le modèle EnergyScope considère donc cette hausse. Toutefois, la demande totale n'est pas considérée comme une variable dans ce travail. Faire varier cette valeur exige une séries de nouvelles hypothèses sur la société des prochaines années, qui s'éloignent du sujet. L'évolution de la demande restera donc identique au fil des différents résultats, tout en considérant une variation temporelle.

La voiture partagée vient elle s'ajouter aux technologies déjà envisageables. Elle est implémentée de manière similaire à la voiture privée, si ce n'est que son prix d'achat (Capex) est mutualisé et que sa maintenance (Opex) est sensiblement inférieure. Techniquement, la différence réside dans la performance de chacune des voitures en termes de pass-km fournis quotidiennement. La voiture partagée en accomplit N fois plus par jour. La valeur N est liée au taux de remplacement et sera détaillée par après.

Le Capex n'est donc pas différent de celui d'une voiture individuelle. Concernant l'Opex, l'étude de Islam et al. [30] démontre que les coûts de maintenance ne sont pas strictement proportionnels à l'usage. En particulier, elle souligne que la sous-utilisation entraîne une augmentation du coût par kilomètre, car les coûts fixes (assurance, taxes, dépréciation) sont répartis sur un faible kilométrage. À l'inverse, un usage plus intensif répartit ces coûts sur un volume plus élevé, tout en augmentant modérément les coûts variables. Sur cette base, une hypothèse réaliste consiste à considérer une diminution de 20% des frais de maintenance annuels. Par exemple, une voiture partagée satisfaisant 10 fois plus de passagers-kilomètres qu'une individuelle aura des frais de maintenance annuels 8 fois supérieurs à ceux de l'individuelle.

L'élément final, variant le plus dans la construction de scénarios, est la limite minimale et maximale de la part modale considérée pour la voiture partagée. Le modèle partagé étant plus performant, l'optimisation atteint systématiquement sa borne haute et n'est autre que la part de la demande nouvellement réservée à la mobilité partagée. En variant la participation, on obtient alors un optimum qui peut être analysé sur différents aspects.

7.3 Remplacement de la voiture individuelle

Comme évoqué section 4.1, une voiture partagée permettrait de remplacer entre 3 et 16 voitures individuelles selon les études[31]. Cambio annonce quant à lui un

taux de remplacement mesuré de 13[32]. Il reste cependant difficile de fixer une valeur précise à l'échelle de la Belgique car plusieurs facteurs influencent cette capacité de substitution.

Par exemple, l'étude proposée par Shaheen et Martin [33], menée sur le service Car2Go dans plusieurs villes nord-américaines, met en évidence une relation linéaire entre le nombre de véhicules disponibles et leur taux d'utilisation, du moins jusqu'à un certain seuil. En clair, chaque voiture ajoutée est utilisée autant que les précédentes, ce qui indique un usage homogène. Mais une fois ce seuil dépassé, cette dynamique change : l'usage moyen par véhicule commence à décroître. Cela signifie que si l'on déploie trop de véhicules par rapport à la demande réelle, chacun d'eux est moins utilisé. Autrement dit, l'effet de remplacement est d'autant plus fort que l'offre est calibrée pour répondre précisément à la demande, voire légèrement en dessous.

Ce constat crée un conflit entre deux aspects de la mobilité partagée. D'un côté, pour attirer plus d'utilisateurs, il faut une flotte suffisante, bien répartie et disponible à tout moment. De l'autre, une flotte trop importante par rapport à l'usage réel génère des inefficacités et réduit l'impact écologique et financier positif. De plus, si l'offre est trop faible, les usagers potentiels risquent simplement de conserver ou d'acheter une voiture individuelle, ce qui va à l'encontre de la volonté initiale.

De plus, les données disponibles aujourd'hui viennent presque exclusivement de grandes villes, où l'autopartage bénéficie d'un environnement favorable. Envisager d'étendre le système en dehors de ces villes laisse craindre un plus faible taux de remplacement. L'étude de Liao, Voulgaris et Jong [34] va dans ce sens : elle montre que dans des contextes moins denses, les habitudes de mobilité sont plus rigides, ce qui rend l'adoption de l'autopartage plus difficile.

L'hypothèse suivante sera donc retenue : chaque voiture partagée remplacerait 3 voitures individuelles pour un score moyen de 1 et en remplacerait 16 pour un score de 5. Ceci permet non seulement de faire varier le taux de participation dépendamment du score, mais aussi de considérer ce qu'illustrent les études, c'est-à-dire que le taux de remplacement dépend également des facteurs favorables.

7.4 Report modal

Les voitures partagées ont une utilisation intensifiée, mais qui ne représente pas la somme de l'utilisation de chacune des voiture remplacées. Cette réduction de passager-kilomètres a été étudiée sur un échantillon d'usagers flamands et serait de

4,4 km en moyenne par semaine et par usager[35]. Cette valeur ne semble pas aussi importante qu'on aurait pu le croire. Elle est due à une utilisation de la technologie par des personnes qui ne disposaient pas de voiture individuelle auparavant. La barrière de l'investissement initial ne leur permettait en effet pas de se déplacer en voiture. Cette barrière tombe via une tarification visant à mutualiser le coût initial. Ces usagers reportent alors leurs passager-kilomètres parcourus en transports public ou en mobilité douce vers la voiture partagée, ce qui tend à limiter la réduction finale attendue par la pratique.

La demande totale de chaque usager n'est pas pour autant réduite de 4,4 km par semaine, ce qui signifie que l'adoption de la voiture partagée engendre un report modal d'une partie de la demande. Il n'existe à la connaissance de l'auteur pas de statistiques couvrant directement ce report dans le cas de la voiture partagée. L'étude américaine de Martin et Shaheen [36] aborde toutefois le scénario inverse, en se penchant sur les moyens qui seraient employés par les utilisateurs si la technologie partagée n'existait pas. Ces résultats ne sont pas directement transposables à cette situation mais permettent d'illustrer la tendance qu'ont les usagers à considérer la mobilité pour répondre à leurs besoins. Selon cette étude, 50% des trajets auraient été faits en transport public, 22% à pied ou à vélo, et 28% n'auraient pas eu lieu. Afin de fournir un modèle complet, cette répartition sera celle appliquée aux kilomètres épargnés mentionnés ci-dessus.

7.5 Hypothèse sur le temps de charge et de décharge des véhicules partagés

L'un des paramètres cruciaux dans la modélisation de l'électrification de la voiture partagée est le temps moyen de recharge (et par extension, de décharge dans une logique Vehicule to Grid (V2G)). Les véhicules électriques de gamme similaire aux véhicules partagés actuels comme les Volkswagen ID.3, affichent un temps de recharge complet d'environ 8 heures sur des bornes basse puissance limitées à 11 kW[37], ce qui correspond à l'équipement standard en milieu urbain.

Cependant, l'intégration progressive de bornes de recharge rapide en courant continu dans l'espace public modifie cette dynamique. Selon le rapport de la Ville de Paris sur la mobilité[38], 8,5% des bornes installées sur le réseau public Belib' sont des bornes haute puissance. Ces bornes permettent une recharge beaucoup plus rapide, typiquement autour de 1h20 pour une recharge complète.

Au vu de l'usage intensifié pour le taux de remplacement maximal belge de

13[32], EnergyScope ne considère la motorisation électrique qu'en dessous d'un certain temps de charge, aux alentours de 2.6 heures.

Pratiquement, la recharge ne devrait pas être une limite significative à l'électrification de la technologie puisque ce taux de remplacement mène à une distance parcourue moyenne de 400 km. Cette distance peut être récupérée par une recharge de l'ordre de 4 heures[39] avec un chargeur basse puissance mentionné ci-dessus. Les plateformes des opérateurs devront dès lors prendre en compte la demande spécifique de l'utilisateur pour fournir un véhicule capable de parcourir la distance souhaitée. De plus, la gestion d'une recharge optimale peut se faire à travers ces plateformes, en demandant aux usagers de brancher le véhicule sur le réseau à la fin du partage, ou non.

Techniquement, le temps de charge n'est donc plus considéré comme une limitation pour la voiture partagée. Il sera fixé, puisqu'il le faut, à 2.5 heures. Cette valeur n'est pas le reflet de la pratique mais est indispensable pour que la version électrique soit prise en compte.

Chapitre 8

Scénarios

Les scénarios qui seront présentés par la suite illustrent la composition du système énergétique optimisé suivant une fonction de coût. Ces informations sont toutefois difficiles à interpréter seules, une comparaison est souvent plus parlante pour mesurer et interpréter les différents gains et pertes. Ces comparaisons seront faites par rapport au scénario de référence, qui n'est autre que la situation actuelle de la Belgique.

8.1 Scénario de référence

Ce scénario considère uniquement les changements en termes de mobilité qui sont prévus dans les plans régionaux et nationaux (cf. section 3). Les plans sont traduits via EnergyScope, tout en implémentant l'objectif du net zéro en 2050. La situation de référence permet ainsi de faire le parallèle entre ce qui est proposé dans les différentes simulations et la réalité que la Belgique connaît aujourd'hui sans recours direct à la technologie partagée.

Comme développé dans la section 2.2, les transports publics sont aujourd'hui responsables de $\approx 16\%$ des passager-kilomètres de la demande totale[8]. Compte tenu du nombre de voitures et de leur utilisation [40], la mobilité partagée est responsable de $\approx 0.7\%$. Les parts modales évoluent vers une représentation de 30% pour le transport public en 2050 (cf. section 3.3). La demande totale est quant à elle croissante due à l'augmentation attendue de la démographie pour les prochaines décennies.

L'implémentation de cette situation de référence aboutit à une optimisation illustrée sur la figure 8.1. On observe une dépendance importante à la voiture électrique individuelle, qui représente la technologie majoritaire pour répondre à la

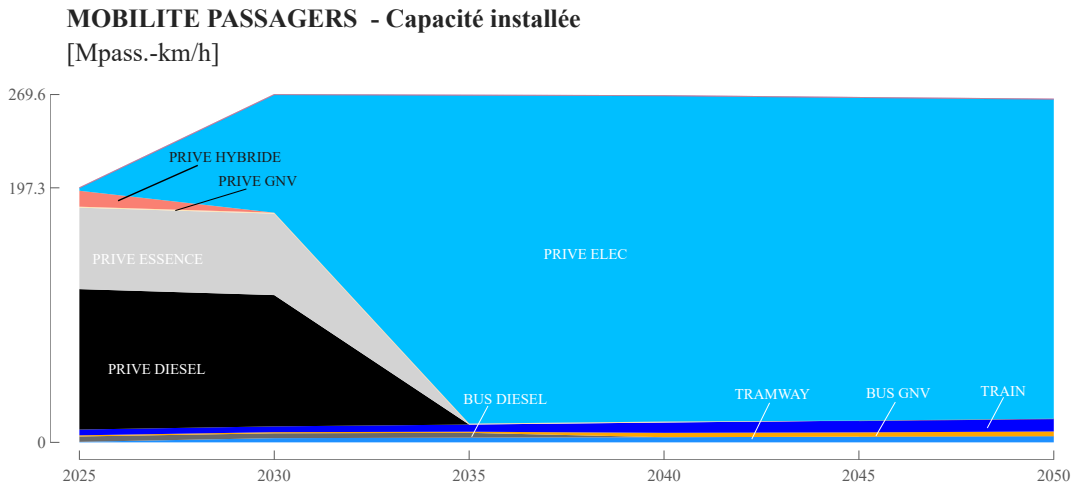


FIGURE 8.1 – Part importante de la voiture électrique privée pour satisfaire la demande.

demande.

La capacité installée, en pass-km/h, est un élément sur lequel il convient de s'arrêter. La capacité requise est directement liée à la performance de la technologie. Une capacité importante de voitures privées est nécessaire suite à la faible utilisation horaire. La technologie partagée permet d'optimiser ceci en augmentant la plage horaire et donc de fournir une même quantité de pass-km avec une capacité horaire moindre.

Nous n'aborderons pas les considérations quant à la ressource disponible pour la fabrication des batteries ni les considérations éthiques concernant l'extraction de cette ressource. Ces éléments, bien qu'extrêmement pertinents, dépassent le cadre de ce travail basé sur l'aspect plus technique de la transition.

8.2 Premier Scénario : Plein potentiel de la voiture partagée

Sur base du score moyen obtenu pour chaque commune, on génère pour chaque scénario un taux de participation potentiel. Pour ce premier scénario, ce taux est obtenu en interpolant linéairement entre une participation nulle pour un score nul et une participation maximale pour un score de 5, comme illustré sur la figure 8.2.

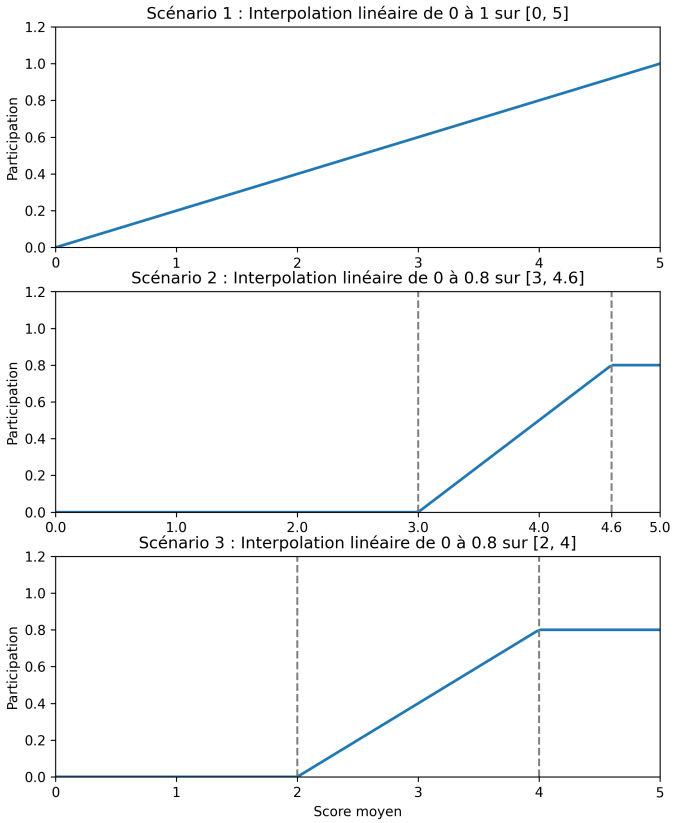


FIGURE 8.2 – Taux de participation considéré pour les différents scénarios.

La réduction du nombre de véhicules individuels pour chaque commune est calculée en considérant que chaque véhicule partagé remplace un certain nombre de véhicules privés (voir section 7.3). En sommant ces réductions sur l'ensemble des communes, on obtient une distribution du nombre total de véhicules évités au niveau national. Cette distribution mène à la détermination d'une estimation centrale (moyenne) et d'un intervalle de confiance à 95 %, offrant une vision plus nuancée et réaliste des impacts potentiels de l'autopartage.

Cette méthodologie se base sur des travaux de [41, 42], à la fois en modélisation des transports et en analyse spatiale, qui recommandent l'utilisation de simulations Monte Carlo afin de quantifier l'incertitude.

8.2.1 Nombre de voitures

Pour rappel, en 2024 la Belgique comptait 6.089.564 de voitures privées[43]. Dans le cas du plein potentiel, la Belgique pourrait alors se séparer en moyenne de 3.809.623 de voitures individuelles. Comme décrit précédemment, le remplacement implique qu'un certain nombre de véhicules devraient à l'inverse apparaître pour offrir une alternative partagée qualitative. Pour ce scénario, le taux de remplacement pondéré est de 9,92. Cette considération permet d'obtenir le nombre moyen de voitures que la Belgique compterait : 2.663.786.

Ce résultat est issu des valeurs moyennes obtenues par les itérations de Monte Carlo. Pour être plus complet, il serait judicieux de tenir compte de l'incertitude qui existe sur les scores des communes et par extension sur leur participation. Ainsi, dans le scénario plein potentiel, l'intervalle de confiance de 95% autour du nombre de voitures qui pourraient être supprimées est $[3.334.600, 3.518.732]$. Ceci signifie que la Belgique réduirait de $\approx 56\%$ le nombre de voitures sur son territoire.

8.2.2 Coût

Un aspect important lorsqu'on aborde la transition est le coût financier qu'elle implique. Dans le cadre de la mobilité partagée, le coût total pour la société est moindre que dans la situation où la mobilité est individuelle.
Sur la figure 8.3, on observe que l'ensemble des coûts liés à l'usage, c'est-à-dire les coût opérationnels, sont relativement proches. Une réduction des coûts opérationnels devrait toutefois se faire ressentir liée au fait que les opérateurs ayant une flotte importante profitent d'une économie d'échelle sur l'entretien, les assurances, etc. comme l'illustre l'étude présentée par Batilly [44]. Ceci s'accompagne de l'optimisation de l'Opex décrite dans la section 7.2.

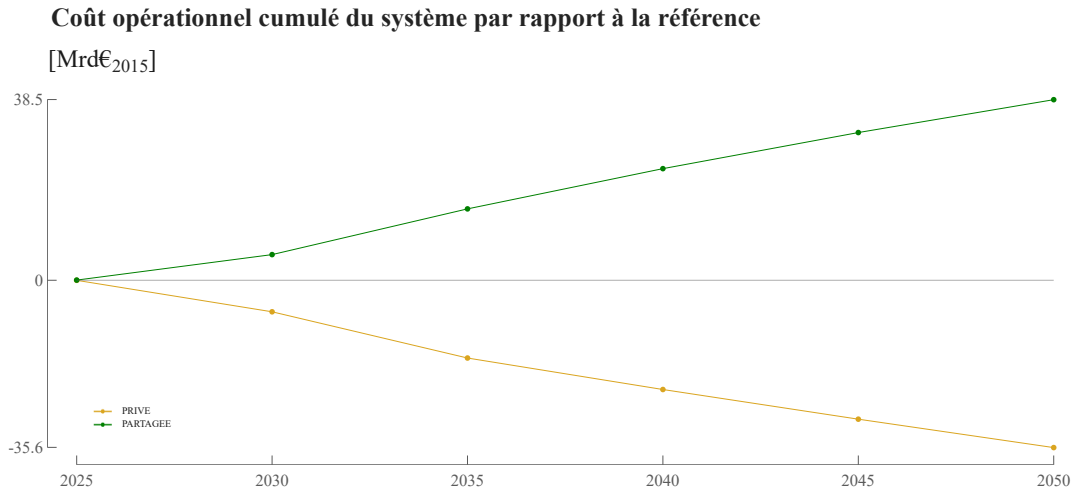


FIGURE 8.3 – Cumul des coûts opérationnels ne variant que sensiblement en fonction du mode choisi.

La figure 8.4 illustre quant à elle la différence de coûts annuels entre la référence et le potentiel qu'offre la mobilité partagée. La prise en considération du coût d'investissement de la technologie aboutit à une variation importante. On constate que le scénario générerait des économies de près de 15% par rapport au coût total du système énergétique global, sans considérer exclusivement la mobilité. Cette diminution du coût de la mobilité vient essentiellement de la mutualisation de l'investissement initial (Capex).

Le modèle ne prend toutefois pas en compte les frais liés aux commissions des plateformes pour financer le développement des applications. Le modèle économique actuel implique que l'opérateur de voitures partagées cherche à dégager du profit de son activité, ce qui risque de réduire sensiblement l'économie potentielle du système.

8.2.3 Capacité installée

Puisque les usagers de voitures partagées disposent en moyenne d'une voiture pour 9.92, la figure 8.5 montre que la capacité horaire diminue et son usage est étalé sur une plage horaire plus grande. La diminution importante du nombre de voitures qui en découle influence à la fois la fréquentation du réseau routier ainsi que tout l'espace mis à la disposition de la voiture.
La réduction du nombre de véhicules entraîne une diminution conséquente de la fréquentation en heures de pointe et avec elle la congestion et privilégie ainsi un

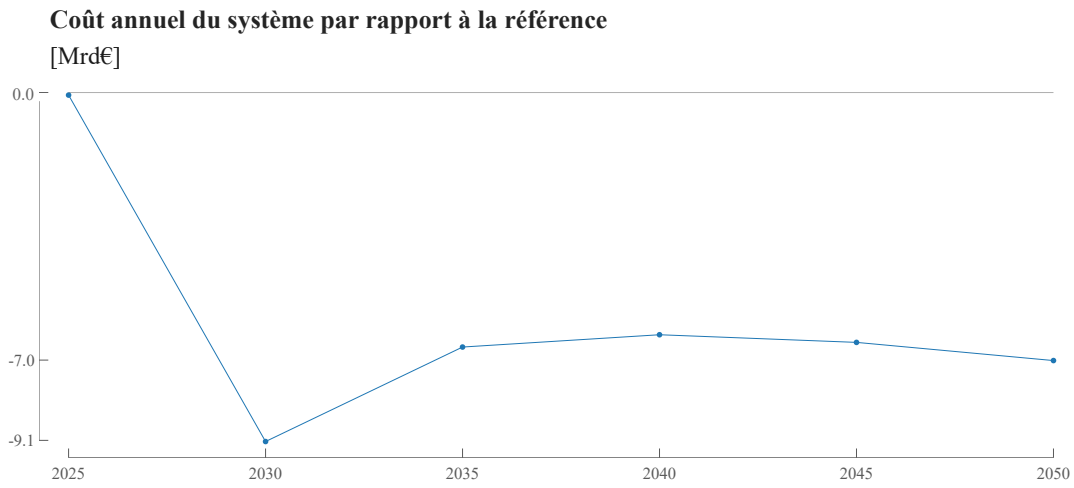


FIGURE 8.4 – Diminution de ≈ 12% du coût annuel du système énergétique global.

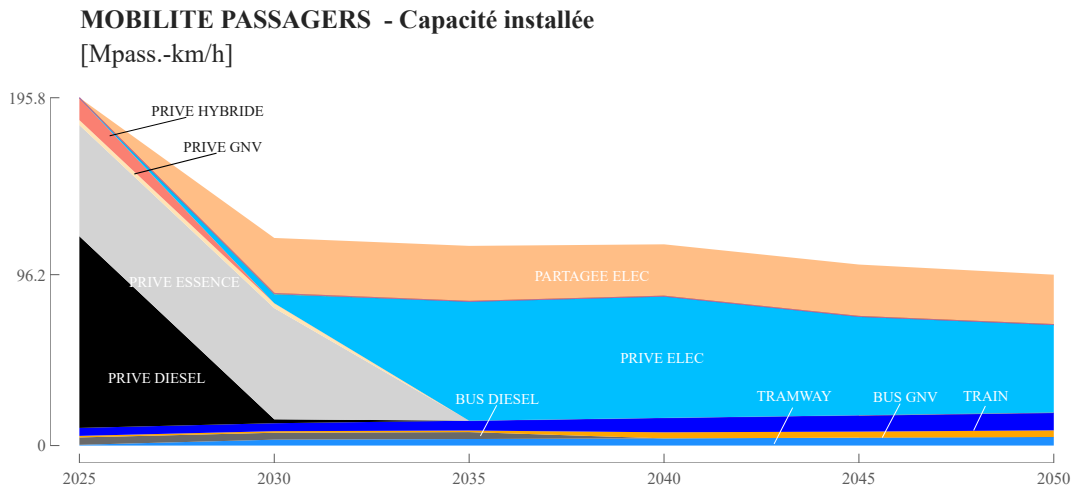


FIGURE 8.5 – Capacité de voitures drastiquement réduite comparé à 2025.

usage plus raisonné de la voiture. Cette baisse de fréquentation est synonyme de plus de sécurité grâce au meilleur confort de conduite et aux moindres sources d'accidents, comme illustré dans l'étude de VIAS [45].

Les autres bienfaits sont énergétiques et temporels. En effet l'efficacité énergétique augmente puisque l'énergie consommée sert effectivement à fournir des passager-kilomètres. L'efficacité temporelle s'améliore puisque la voiture partagée est plus rapidement disponible pour d'autres usagers, également illustré par

VIAS[45]. Les autres services utilisant le réseau routier en bénéficient aussi, comme les bus qui souffrent malgré eux de la congestion sur les tronçons problématiques[46]. Finalement, un gain de qualité de vie apparaît pour les usagers et non-usagers de la route qui subissent les désagréments et nuisances liés aux embouteillages.

Limiter le nombre de voitures libère aussi énormément d'espace précédemment réservé au stationnement. La libération de ces emplacements est particulièrement appréciable dans les centres-villes. Cet espace repris à la voiture peut alors profiter aux citoyens et/ou à l'environnement à travers des initiatives locales d'aménagement du territoire.

8.2.4 Émissions

De manière assez logique, on observe sur le graphe 8.6 une augmentation du potentiel de réchauffement de la mobilité partagée, potentiel pratiquement négligeable dans le scénario de référence, et une nette diminution pour la mobilité privée.

La mobilité partagée telle qu'elle est proposée dans ce scénario est presque exclusivement composée de voitures électriques, comme le montre la figure 8.5. Cette option électrique est assez similaire à la situation de référence mais implique une nette diminution de la capacité de stockage d'énergie électrique grâce au V2G. Le modèle partagé diminue en effet le temps pendant lequel les voitures sont connectées au réseau. Ceci limite le stockage qu'elles peuvent représenter alors même qu'elles augmentent leur besoin propre de recharge dû à la hausse des pass-km parcourus. Le système doit alors produire plus d'électricité au moment de la demande et ne peut plus stocker autant d'énergie renouvelable. Cette production est alors carbonée, ce qui explique la hausse du potentiel de réchauffement pour le secteur **électricité**.

Ce potentiel de réchauffement n'est en réalité pas complet car il ne considère que la phase opérationnelle des éléments de mobilité, ce qui complique l'interprétation de ces données. En remplaçant des voitures individuelles, la voiture partagée évite aussi les émissions liées à la fabrication et au recyclage de celles-ci. L'étude plus poussée sur le cycle de vie de ces technologies permettrait de considérer réellement l'impact de l'usage de la voiture partagée sur le potentiel de réchauffement global.

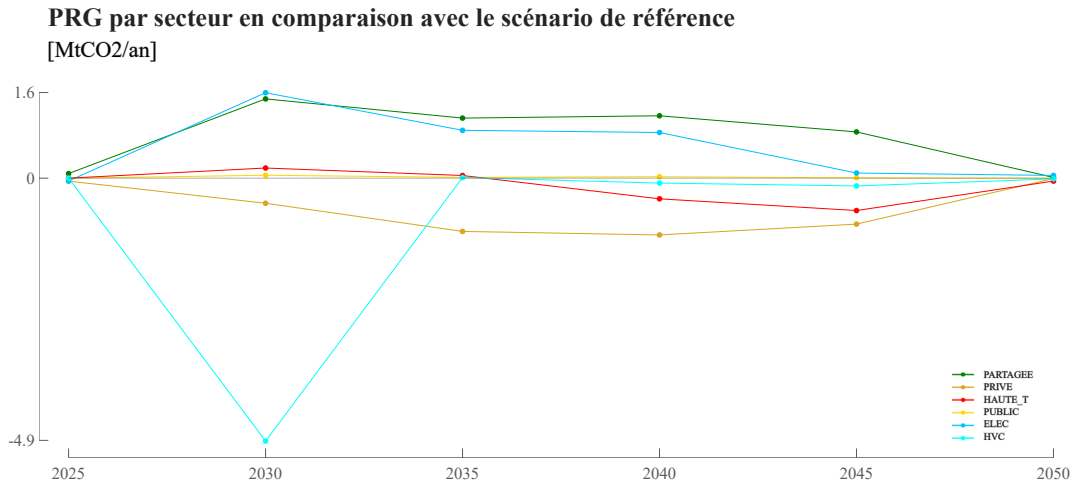


FIGURE 8.6 – L'installation de mobilité partagée à grande échelle influence grandement le potentiel de réchauffement du secteur électrique.

8.3 Second scénario : Participation des communes au score moyen supérieur à 50%

Le second scénario est bien plus conservateur que le premier qui se voulait particulièrement optimiste. En effet, il ne considère que les communes ayant un score moyen supérieur à 3 sur 5. Ce choix met en évidence la difficulté de changer d'habitudes, d'autant plus quand le cadre n'est pas favorable au changement. Tout comme pour le premier scénario, une intégration linéaire détermine la participation de chaque commune, nulle pour les communes ayant un score moyen inférieur ou égal à 3 et maximale pour un score moyen de 5.

Toutefois, par souci de réalisme, le taux de participation est borné à 80%, puisqu'un taux de participation de 100% n'est pas réaliste en pratique dans le cadre de la mobilité. La technologie rencontrera toujours des oppositions même là où elle semble pourtant bien convenir, pour des motifs justifiés d'incompatibilité au besoin de mobilité, ou non. L'allure générale de cette fonction est donnée sur la figure 8.2.

8.3.1 Nombre de voitures

En incluant moins de communes dans la transition vers l'usage de la voiture partagée ainsi qu'une participation plus faible, on réduit de manière moins conséquente le nombre de véhicules sur le territoire. La voiture partagée induit dans ce cas une réduction de 904.648 véhicules, ce qui représente une diminution de $\approx 15\%$

du parc automobile actuel.

8.3.2 Coût

Tout comme pour le premier scénario8.2, les coûts opérationnels de la mobilité partagée sont pratiquement égaux aux économies faites au niveau de la mobilité privée. Les économies d'échelle potentielles concernant la maintenance seront moins importantes compte tenu des flottes plus maigres des opérateurs.

En ce qui concerne le coût annuel du système, ce scénario apporte toujours une réduction comparée à la situation de référence. Cette réduction est toutefois moindre, ce qui s'explique par le plus faible nombre de véhicules dont le prix d'achat est mutualisé. L'économie à l'échelle du système reste tout de même de $\approx 4\%$, l'aspect financier reste donc un incitant au développement de la mobilité partagée, malgré une plus faible participation.

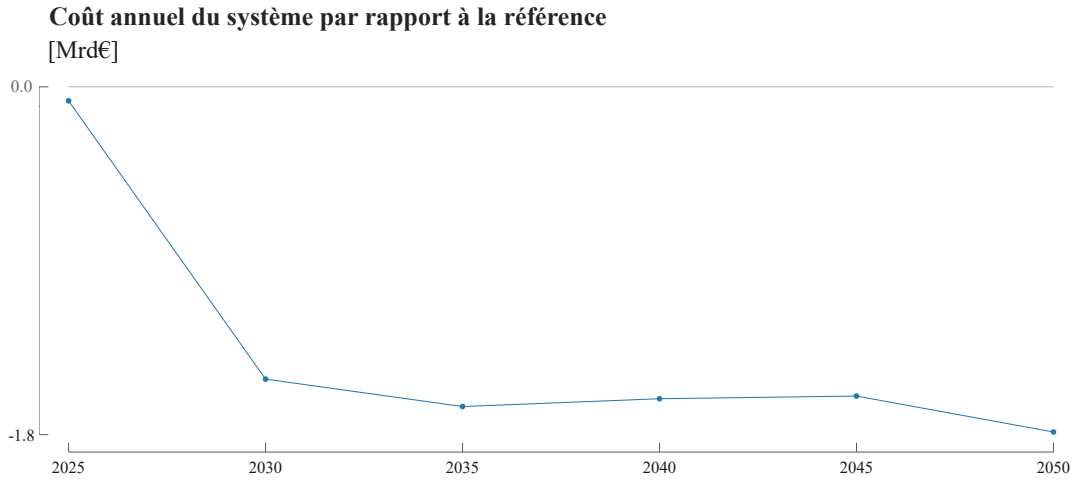


FIGURE 8.7 – Diminution $\approx 4\%$ du coût annuel du système énergétique global.

8.3.3 Capacité installée

En termes de capacité installée, ce scénario permet de maintenir une capacité pratiquement équivalente à celle de 2025, comme le montre la figure 8.8, et ce malgré la hausse prévue de la demande en passagers-kilomètres dans les décennies à venir. Le remplacement partiel des voitures électriques privées par des partagées entraîne une réduction de la capacité horaire. En couplant ceci avec une demande en augmentation, l'introduction du partage tend à équilibrer les besoins en capacité

et, par extension, à contenir le nombre de véhicules nécessaires.

L'impact est donc bien moins significatif sur cet aspect que le premier scénario8.2. Toutefois, contenir cette hausse est un élément souhaitable puisqu'une capacité plus importante demande des infrastructures plus conséquentes. Les infrastructures seront alors plus onéreuses à entretenir ou à agrandir, ce qui devra être financé par le contribuable.

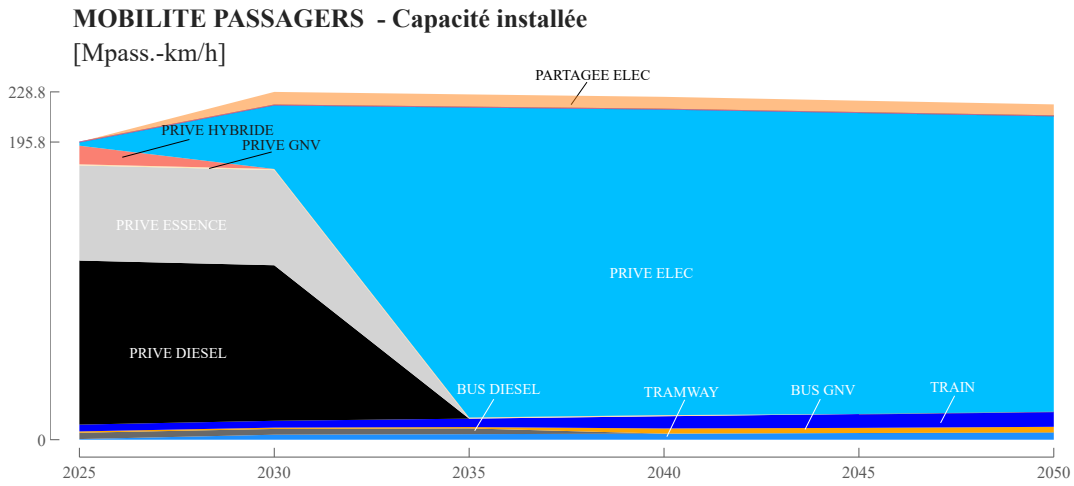


FIGURE 8.8 – Diminution de voitures individuelles contenant la capacité totale installée malgré la demande haussière.

8.3.4 Émissions

Le potentiel de réchauffement, donné sur la figure 8.9 suit de très près l'allure du premier scénario. L'amplitude en revanche est bien moins importante puisque l'on considère ici moins de véhicules privés remplacés.

L'explication de la hausse surprenante de potentiel pour le secteur de production d'électricité s'explique toujours par la capacité de stockage perdue suite à l'emploi intensifié d'une partie des véhicules.

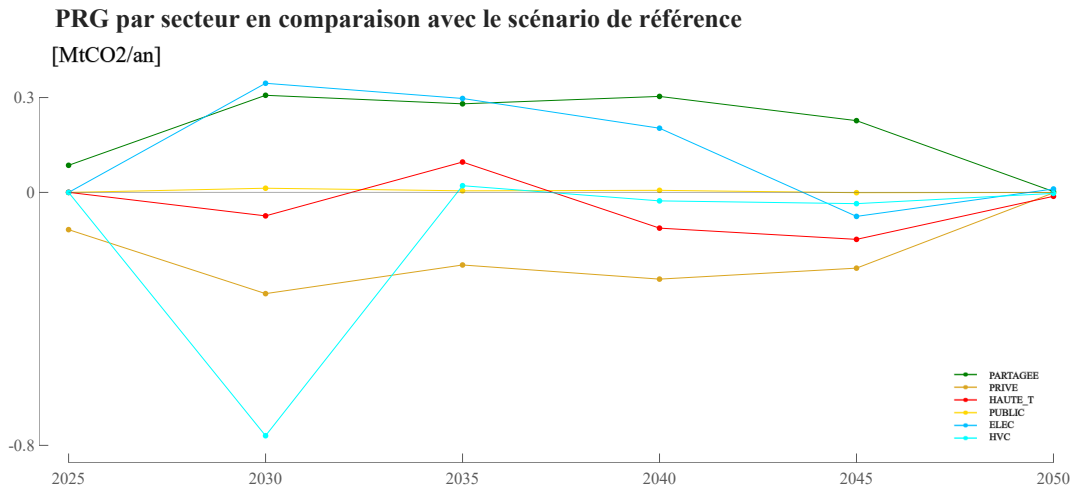


FIGURE 8.9 – Modification moindre des émissions compte tenu de la plus faible participation.

8.4 Troisième scénario : Participation réaliste en fonction du potentiel

La volonté de ce scénario est de proposer une option qui se situe entre les 2 premiers, en incluant la considération pour le réalisme du résultat introduite dans le second scénario.

Dans ce scénario, les scores moyens inférieurs et égaux à 2 se verront attribuer un taux de participation nul tandis que ceux supérieurs ou égaux à 4 auront un taux de 80%. Pour les scores entre 2 et 4, le taux respectera une interpolation linéaire entre les deux extrêmes. La forme finale de cette attribution est toujours donnée dans la figure 8.2.

8.4.1 Nombre de voitures

Le nombre moyen de voitures qui peuvent être évitées en considérant cette participation est de 2.452.880. Ceci ramènerait le nombre de voitures sur le territoire à 3.636.684, autrement dit une réduction de plus de 40% par rapport à la situation actuelle.

Ce scénario présente un nombre de véhicules qui se situe à mi-chemin entre les scénarios précédents. Il montre qu'au plus le taux de participation sera important, tant sur le plan du nombre de communes participantes que de leurs taux de

participation respectifs, au plus l'impact sera important.

8.4.2 Coût

Une fois de plus, comme pour les premiers scénarios, les coûts opérationnels s'équilibrent entre la diminution pour le privé et la hausse pour le partagé. Les économies d'échelle liées à la maintenance se situeront par ailleurs entre celles qui seraient à considérer pour les deux premiers scénarios puisque le nombre de véhicules partagés se situe lui aussi entre les deux propositions.

Concernant le coût annualisé du système, ce scénario conduit à une réduction de $\approx 11\%$ du coût total, comme le montre la figure 8.10. La conséquence financière d'opter pour le modèle partagé pourrait avoir un impact considérable sur les citoyens, avec une économie de ≈ 5 milliards d'euros par an.

Cette économie ne serait toutefois ressentie que par les usagers du partagé. La Belgique pourrait alors rencontrer des enjeux socio-économiques favorisant la population ayant accès à la voiture partagée. Les habitants de communes où la technologie ne serait pas proposée resteraient alors contraints de dépenser d'importantes sommes d'argent pour avoir accès à la voiture. Cette inégalité d'accès demande à être étudiée. Politiquement, elle pourrait, par exemple, mener à une obligation nationale pour les opérateurs d'élargir leur offre à toutes les communes, à l'instar de Barcelone (cf. section 4.4), bien que ce travail ait déjà montré que ce n'est pas toujours rentable6.4.4.

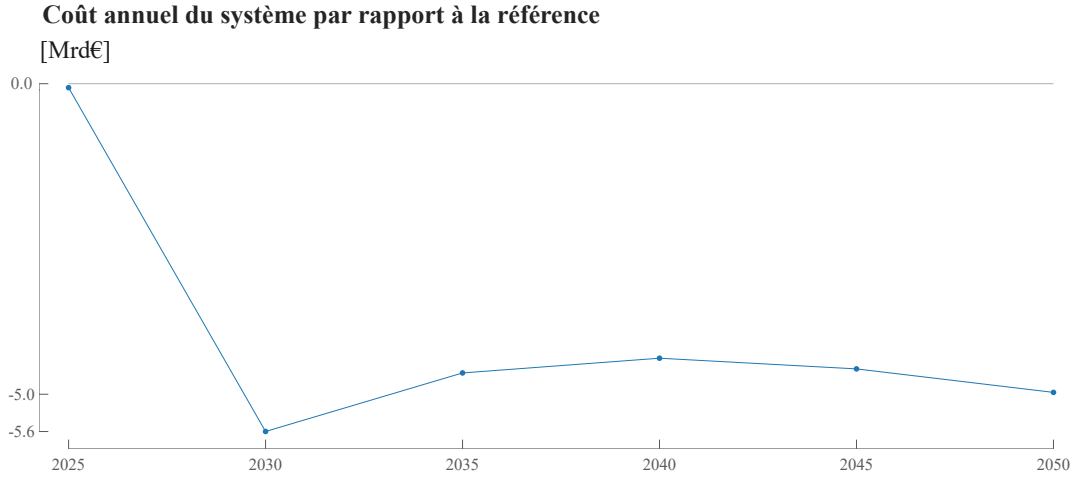


FIGURE 8.10 – Réduction de $\approx 11\%$ du coût du système énergétique global.

8.4.3 Capacité installée

La capacité installée là aussi se situe entre les premiers scénarios. On observe sur la figure 8.11 une nette diminution de $\approx 25\%$ de la capacité totale disponible comparée à celle de 2025. Cette réduction concerne presque exclusivement les voitures, ce qui signifie que la population ressentira les bienfaits décrits pour le premier scénario, à un niveau d'intensité moindre évidemment.

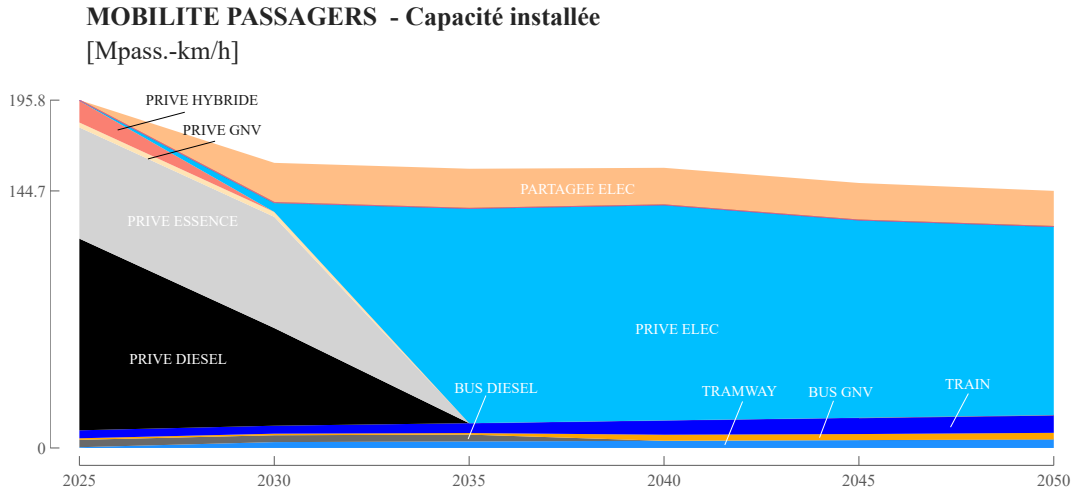


FIGURE 8.11 – Diminution de près de 25% de la capacité totale installée.

8.4.4 Émissions

Le potentiel de réchauffement présente toujours la même allure comme le montre la figure 8.12. L'amplitude se situe une fois encore entre celles des scénarios précédents.

L'explication de la hausse pour le secteur électrique a été donnée précédemment. Si l'on s'attarde sur certaines années spécifiques, comme l'année 2035, on observe une différence avec le scénario de référence qui tendrait à conclure que la mise en place de la voiture partagée est défavorable d'un point de vue environnemental. La considération future des émissions liées à la fabrication et au recyclage des véhicules permettrait probablement de marquer plus distinctement l'intérêt environnemental du partage.

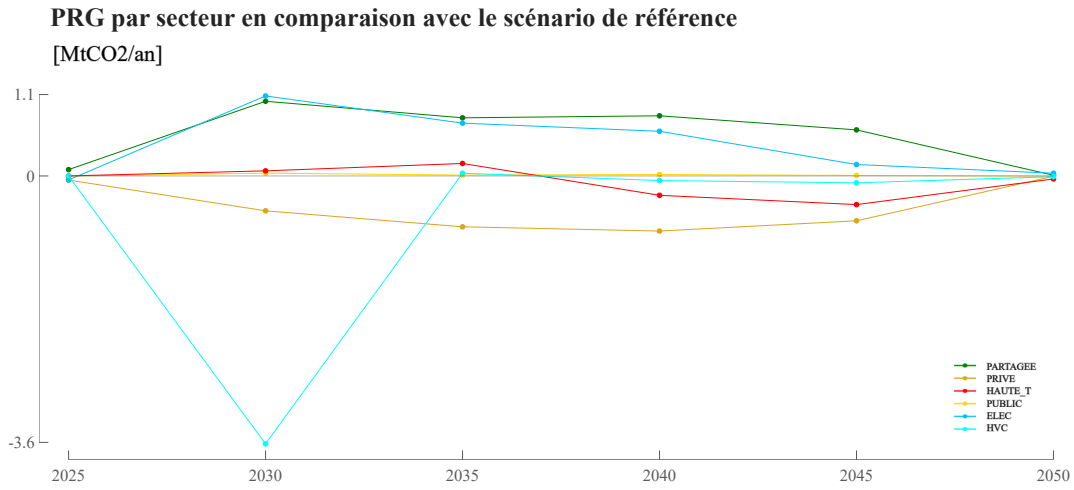


FIGURE 8.12 – Amplitude des modifications d'émissions entre les premiers scénarios.

8.5 Quatrième scénario : Évolution temporelle de la participation

Jusqu'à présent, l'étude des différents scénarios tendait à montrer l'impact du taux de participation en atteignant directement le potentiel maximal. Il est toutefois intéressant de considérer également le temps nécessaire au changement d'habitude.

Il n'existe en réalité pas de véritable frein technique au développement rapide des voitures partagées. Les voitures employées existent déjà sur le marché et les opérateurs ont de l'expérience et des plateformes adaptées. Augmenter les voitures partagées demande certes quelques aménagements du territoire, comme les emplacements de parking, mais la diminution du nombre de véhicules individuels libère ces espaces nécessaires.

Le frein réside plus dans l'aptitude de la population à changer ses habitudes. Se séparer de sa voiture individuelle signifie que tout le ménage doit reconsidérer ses déplacements. La participation peut donc évoluer positivement au fil du temps avant d'atteindre son maximum.

Ce scénario considère une participation évolutive au cours du temps. Les facteurs sociaux et sociétaux sont impossibles à chiffrer avec précision pour obtenir la participation effective pour chaque année. Techniquement, la méthode qui est employée ici est identique à celle du troisième scénario si ce n'est que le taux

de participation croît au fil des décennies. Une interpolation linéaire est utilisée pour faire varier une participation maximale de 40% en 2030 à 80% en 2050. Ceci suppose toujours qu'une participation de 100% de la population n'est pas réaliste.

8.5.1 Nombre de voitures

Le nombre de voitures qui seront remplacées évolue au fil des années. En 2030, cela représenterait déjà 490.576 voitures évitées, augmentant ensuite pour atteindre, tout comme dans le scénario précédent, 2.452.880 en 2050. Cette évolution est, elle aussi, linéaire puisque les mêmes communes sont impliquées dans la simulation au cours du temps, tout en faisant varier leur taux de participation.

8.6 Coût

La participation croissante engendre aussi une évolution dans l'impact qu'a la voiture partagée sur le système. Les scénarios précédents ont illustré l'incitant financier, quelle que soit la participation. Cette situation ne déroge pas à la règle, avec une économie croissante au plus la participation croît au fil du temps.

Ce scénario met en évidence la correspondance linéaire entre le taux de participation et la réduction du coût du système. Cet élément est un point positif pour le développement de cette technologie puisqu'elle ne rencontre pas d'effets de seuil sur ce point. Ceci signifie que les usagers ressentiront une économie dans leurs dépenses relatives à la voiture même si la participation est faible. L'économie effective de chaque usager n'est pas nécessairement égale puisque différents abonnements aux réseaux publics annexes seront nécessaires en fonction de la demande spécifique de chacun.

8.6.1 Capacité installée

Contrairement aux scénarios précédents, la capacité installée suit une allure plus continue. Ce changement plus doux, lié à la participation croissante, est également plus réaliste. Compte tenu de l'importance économique du secteur automobile, une transition progressive est souhaitable. De nombreux acteurs dépendent de ce secteur (concessionnaires, courtiers d'assurance, etc.) et devront se réinventer suite à ce changement sociétal.

Pour les responsables politiques d'un pays, un changement important tel que cette transition nécessite d'être financé et soutenu de manière pérenne. L'imposition

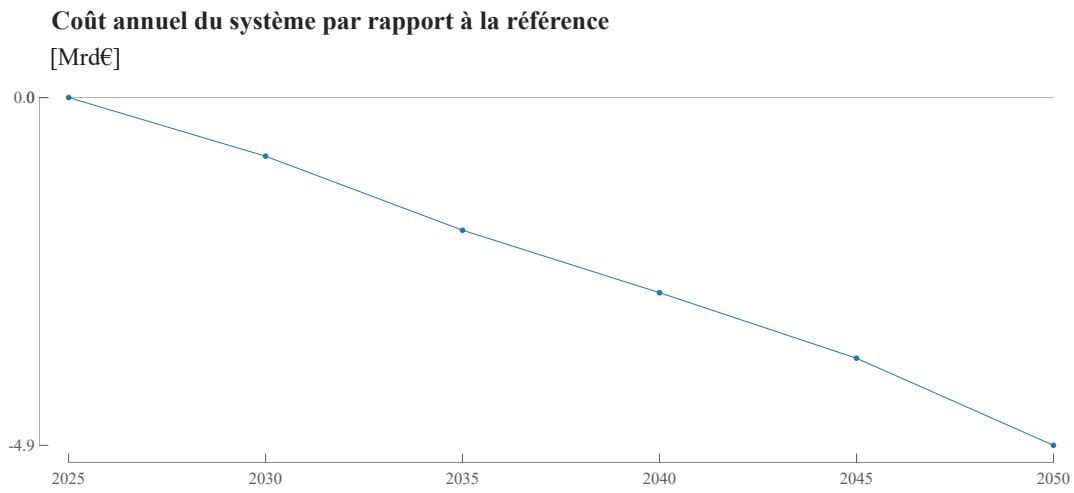


FIGURE 8.13 – Économie du système croissante au fil du temps.

de changements radicaux demande des moyens considérables, ce qui est difficile à défendre en raison de l'opposition probable d'une partie de la population. Proposer un changement plus progressif permet alors une meilleure gestion et une anticipation des investissements publics.

8.7 Comparaison avec le scénario CLEVER

Afin d'illustrer le rôle que peut jouer la mobilité partagée dans la transition, il est intéressant de le comparer à un autre scénario de transition déjà existant. Cette section vise à mesurer l'impact du scénario créé avec ce que propose un scénario déjà élaboré. Dans les deux scénarios, il est évident que les résultats reposent sur des hypothèses, ceci peut créer d'importants changements lorsqu'elles sont remises en question.

Le scénario CLEVER[47](Collaborative Low Energy Vision for the European Region) fait référence en matière de transition pour la Belgique, mais également à l'échelle européenne, afin d'atteindre les objectifs de 2050. Ce scénario particulièrement solide couvre 21 pays européens. Il est présenté par négaWatt Association en collaboration avec 26 partenaires. Le rapport s'étend sur de nombreux aspects énergétiques dont la mobilité.

En bref, les mesures phares proposées par CLEVER relatives à la mobilité sont :

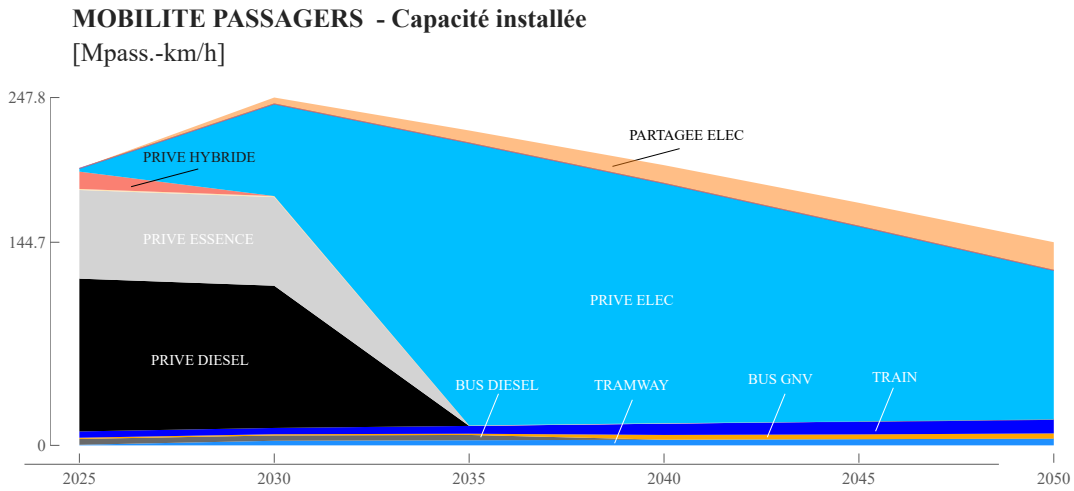


FIGURE 8.14 – Capacité totale diminuant au fil des décennies futures grâce à la part croissante du public et partagée.

— réduire les déplacements professionnels via la promotion du télétravail pour les secteurs qui le permettent
— rapprocher les services des lieux de vie, en particulier ceux qui sont essentiels au quotidien. Ceci est illustré dans le concept "15-minute city" dans l'article de MORENO et al. [48]
— promouvoir et développer la mobilité active

8.7.1 Implémentation scénario CLEVER dans Energyscope

Pour la Belgique, le scénario repris dans le rapport CLEVER[49] postule que la mobilité publique représentera 35% des passagers-kilomètres en 2050 (à l'exception de la mobilité active et aérienne). La mobilité privée représentera encore 65%. Pour atteindre l'objectif européen, le taux d'occupation devra donc être plus élevé qu'aujourd'hui. Ceci augmentera l'efficacité énergétique de la voiture. En 2030, ce taux devra être de 1,7 et de 2 en 2050.

Capacité installée

Une telle répartition modale ainsi que ces nouvelles performances énergétiques est illustrée sur la figure 8.15. L'implémentation qui y est présentée ne prend pas en compte une part réservée spécifiquement à la voiture partagée, mais considère le taux d'occupation souhaité par CLEVER.

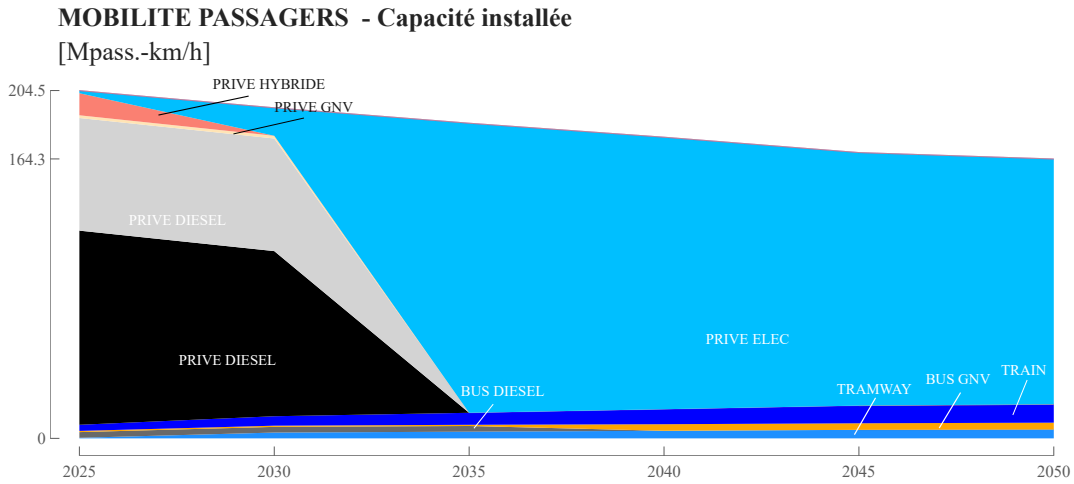


FIGURE 8.15 – Prévision des technologies nécessaires selon CLEVER.

On observe que la croissance du taux d'occupation au fil des années implique une hausse dans la performance des voitures. La capacité horaire nécessaire est ainsi inférieure à celle de 2025 malgré la demande croissante.

Comparé à la capacité nécessaire dans le quatrième scénario 8.14, le scénario CLEVER se montre plus ambitieux. Comme décrit ci-dessus, il considère aussi une croissance pour la mobilité dite active. Cette hypothèse forte peut amener quelques différences avec le modèle de ce travail puisque de telles hypothèses n'y sont pas considérées.

Potentiel de réchauffement global

L'objectif européen demande des efforts sur les émissions de chaque secteur. La proposition faite par CLEVER vise à atteindre ce que le secteur doit réduire spécifiquement. La figure 8.16 illustre les émissions qui seraient évitées si le scénario était mis en place, comparé à la situation de référence. Ce graphe ne prend pas en compte les efforts fournis par les autres secteurs que la mobilité afin de permettre une comparaison pertinente. Hormis une exception concernant le secteur HVC, le scénario CLEVER réduit de manière non négligeable les émissions du système, et en particulier celles liées à la mobilité.

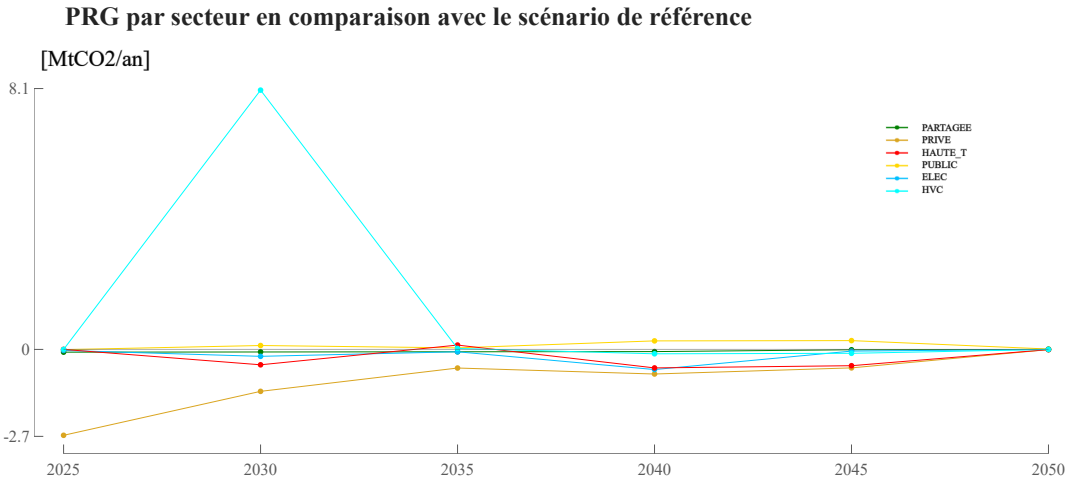


FIGURE 8.16 – Réduction importante des émissions de mobilité privé contre une faible hausse du public.

8.7.2 Comparaison entre le modèle et CLEVER

Le scénario CLEVER fait référence en matière de transition. Son intégration permet une comparaison avec le modèle présenté et ses différentes trajectoires. L'aspect le plus important à comparer est sans aucun doute le potentiel de réchauffement global afin de mesurer l'impact des résultats analysés.

En ce qui concerne les émissions, CLEVER considère le cycle de vie de chaque voiture dans son entièreté, de la fabrication à son recyclage. Cette vision d'ensemble n'est malheureusement pas encore transcrite dans l'outil EnergyScope, qui ne considère que la phase opérationnelle. L'implémentation de la trajectoire CLEVER à travers EnergyScope permet toutefois d'obtenir des résultats comparables avec le modèle. Ainsi, ces résultats ne sont pas complets d'un point de vue quantitatif mais permettent une comparaison approfondie des deux scénarios.

Le scénario convenant au mieux à cet exercice de comparaison est le quatrième puisqu'il intègre une évolution temporelle, comme c'est le cas dans celui de CLEVER. La figure 8.17 illustre les émissions, en phase opérationnelle donc, de ces deux scénarios. La contrainte implémentée dans EnergyScope force le système à la neutralité carbone en 2050 et impose aux 2 scénarios de se rejoindre pour l'année de l'échéance sur le plan des émissions.

La comparaison graphique illustre des émissions plus hautes dans les différents secteurs pour le modèle. Cette observation met en évidence l'ambition forte qu'a

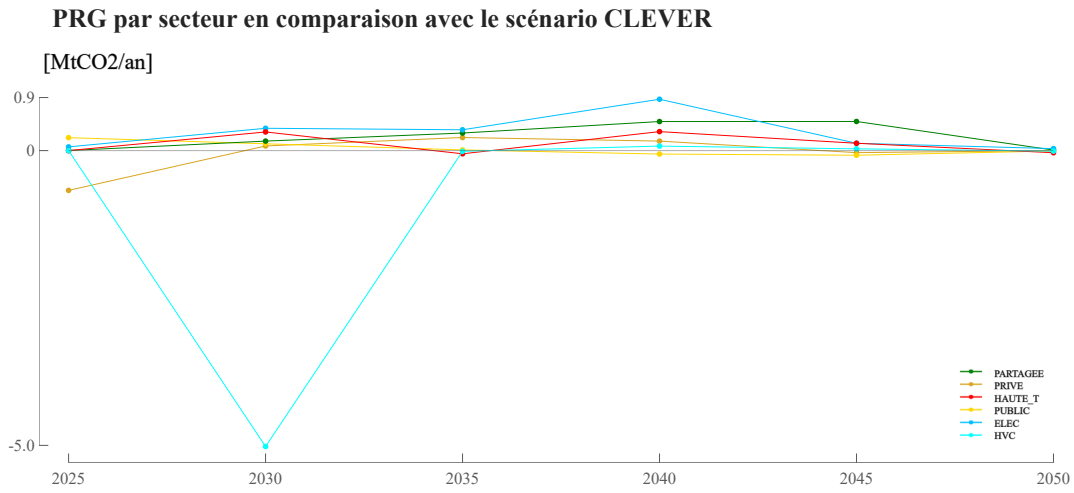


FIGURE 8.17 – Émissions plus importantes du modèle à travers tous les secteurs.

le scénario CLEVER face à l'urgence climatique. Au-delà de l'objectif européen en 2050, chaque tonne de CO_2 équivalent évitée contribue, autant que possible, à épargner la population des conséquences du changement.

Le modèle propose donc un système qui implique une plus faible réduction des émissions. Cela signifie que la mobilité partagée à elle seule n'est pas la solution dans la transition du secteur. Pour atteindre un potentiel de réchauffement similaire à celui du scénario CLEVER, le modèle devrait considérer un taux de participation supérieur et considérer une participation à partir d'un score moyen plus faible. Cette situation, certes implémentable, est peu réaliste pour toutes les raisons qui ont été abordées à travers ce document.

Chapitre 9

Conclusion

Ce travail a étudié ce que la mobilité partagée peut apporter à la Belgique. La mobilité est un aspect incontournable de la transition et l'étude des technologies qui permettront d'atteindre les objectifs environnementaux est indispensable afin d'établir la trajectoire optimale pour les décennies à venir. L'idée n'est pas de trouver l'unique technologie qui conviendrait à elle seule mais plutôt de questionner l'applicabilité de chacune d'entre elles au territoire et à la population belge pour ensuite construire le mix souhaitable pour l'avenir.

La première partie a permis de caractériser la demande spécifique à ce territoire. Cet exercice a entre autres mis en évidence certains traits bien spécifiques de la mobilité ainsi que les futurs challenges. L'étude globale, portant aussi bien sur les aspects techniques que sociaux, offre une compréhension plus multidisciplinaire du sujet.

La construction d'un modèle GIS pour la mobilité partagée en Belgique a permis d'identifier le potentiel propre à chaque commune. La littérature spécifique à la construction d'une carte GIS a complété ce qui avait été étudié précédemment et a mené à la sélection de critères déterminants. Le choix de l'échelle communale permet ensuite de coupler le score de la commune avec son nombre d'immatriculations. Ceci est utile pour mesurer le nombre de voitures concernées par un remplacement à travers la mobilité partagée.

Enfin, les informations extraites peuvent servir au calcul des parts modales qui sont satisfaites par les différents moyens de transport. La prise en considération du report modal lorsque la voiture partagée gagne du terrain influence également ce calcul. L'outil EnergyScope renseigne alors le mix optimal du système qui se concentre ici uniquement sur le secteur de la mobilité. En faisant varier les communes impliquées en fonction de leur score ou encore le taux de participation de la

population, on observe alors les impacts sur cet optimum trouvé.

Tout au long de ce travail, il est démontré que la voiture partagée est une technologie adaptée à la Belgique. D'importantes hypothèses ont été faites sur le plan physique du territoire ainsi que sur la volonté de la population. Ces hypothèses restent sujettes à discussion et modification bien qu'elles se basent autant que possible sur la littérature. Le développement rapide des différents opérateurs dans plusieurs villes vient soutenir les résultats présentés.

Pour conclure, ce travail met en évidence que la voiture partagée n'est pas la solution miracle face à la problématique environnementale mais qu'elle est un élément prometteur dans le cadre de la transition. La comparaison avec le scénario CLEVER en est la preuve : à elle seule cette technologie ne pourra raisonnablement pas atteindre l'objectif mais permet tout de même de réduire les émissions. Elle fera donc inévitablement partie de l'offre de mobilité du futur.

Bibliographie

[1] European Commission. *European Climate Law*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en. Consulté le 29 juillet 2025. 2021.

[2] Institute for Governance & Sustainable Development (IGSD). *Nitrous oxide (N_2O) – Publications topic*. https://www.igsd.org/publications_topic/n2o/. Consulté le 2 août 2025. n.d.

[3] Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement Service public fédéral Santé publique. *Émissions de gaz à effet de serre par secteur en Belgique*. Consulté le 29 juillet 2025. 2025. url : https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/emissions-par-secteur.

[4] Bureau fédéral du Plan et SPF Mobilité et Transports. *Perspectives de la demande de transport en Belgique à l'horizon 2040*. Rapport. Collaborative report with SPF Mobilité et Transports ; consulté en juillet 2025. Bureau fédéral du Plan, 2022. url : https://www.plan.be/sites/default/files/documents/FOR_TRANSP2022_12634_FR.pdf.

[5] SPF Mobilité et Transports. *Enquête MONITOR 2022 – Comportements de déplacement des Belges*. Rapp. tech. Consulté le 29 juillet 2025. Service Public Fédéral Mobilité et Transports, Belgique, 2022. url : https://mobilit.belgium.be/sites/default/files/documents/publications/2022/ENQU%C3%8ATE%20MONITOR.pdf.

[6] de la prospective et de la statistique (IWEPS) Institut wallon de l'évaluation. *Les infrastructures de transport en Wallonie*. Rapp. tech. Consulté le 29 juillet 2025. IWEPS, 2019. url : https://www.iweps.be/wp-content/uploads/2019/06/M001-INFRA.TRANSP-062019_full1.pdf.

[7] de la prospective et de la statistique (IWEPS) Institut wallon de l'évaluation. *Transport fluvial de marchandises en Wallonie*. Consulté le 29 juillet 2025. 2025.

[8] *Enquête Monitor sur la mobilité des Belges*. Dépôt légal : D/2019/13.831/10. Déc. 2019.

[9] Commission européenne. *Effort Sharing 2021–2030 : Targets and flexibilities for EU Member States*. Consulté le 29 juillet 2025. 2023.

[10] Bureau fédéral du Plan. *Transport de personnes en voiture (i46)*. Consulté le 29 juillet 2025. 2024.

[11] SPF Mobilité et Transports. *Vision Rail 2040*. Rapp. tech. Consulté le 29 juillet 2025. Service Public Fédéral Mobilité et Transports, Belgique, 2023. url : https://mobilit.belgium.be/sites/default/files/documents/publications/2023/Vision%20Rail%202040%20%281%29.pdf.

[12] Bruxelles Mobilité. *Plan régional de mobilité 2020–2030*. Rapp. tech. Dépôt légal : D/2021/13.413/1. Place Saint-Lazare 2, 1035 Bruxelles : Bruxelles Mobilité, 2021.

[13] Department of Mobility et Government of Flanders Public Works. *Flanders, Together in Motion*. Consulté le 29 juillet 2025. 2025.

[14] Service public de Wallonie Mobilité et Infrastructures. *Stratégie régionale de mobilité. Volet 1 - Mobilité des personnes*. Sous la dir. d'Etienne Willame. Dépôt légal : D/2019/11802/38. Service public de Wallonie Mobilité et Infrastructures, 2019.

[15] SPW Mobilité et Infrastructures. *Vers une mobilité plus durable en Wallonie – Enquête sur les habitudes de déplacement des Wallons (2021)*. Rapp. tech. Consulté le 29 juillet 2025. Service Public de Wallonie, Mobilité et Infrastructures, 2021. url : https://mobilite.wallonie.be/files/cematheque/cematheque_0044.pdf.

[16] European Urban Mobility Observatory. *Parking and Sustainable Urban Mobility Plans (SUMP)*. Rapp. tech. Consulté le 29 juillet 2025. European Commission, Directorate-General for Mobility et Transport, 2023. url : https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/system/files/2023-11/parking_and_sump.pdf.

[17] Johannes Rodenbach et al. *SHARED MOBILITY IN BELGIUM*. Licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). More info : Koningin Astridlaan 185 box 301, 9000 Ghent : Way To Go, 2025.

[18] Pierre Servain et al. « L'autopartage entre particuliers du point de vue des utilisateurs : quand la voiture devient un bien commun ». In : *Développement durable et territoires* 13.1 (juill. 2022). Consulté le 29 juillet 2025. doi : 10.4000/developpementdurable.20545. url : https://journals.openedition.org/developpementdurable/20545.

[19] Service public fédéral Mobilité et Transports. *Enquête BEMOB : Les habitudes de covoiturage des Belges*. Dépôt légal : D/2021/13.831/14. Rue du Progrès 56, 1210 Bruxelles : Service public fédéral Mobilité et Transports, 2021.

[20] Fédération des Entreprises de Belgique (FEB). *Les entreprises et la mobilité partagée : état des lieux, écueils et potentialités*. Fédération des Entreprises de Belgique, juill. 2018.

[21] Mike Hanlon. « New research indicates motorcycle commuting reduces traffic congestion and emissions ». In : *New Atlas* (fév. 2012). Consulté le 29 juillet 2025. url : https://newatlas.com/motorcycles-reduce-congestion/21420/.

[22] Service public fédéral Mobilité et Transports. *Le nombre de voitures de société en Belgique en 2024*. Dépôt légal : D/2024/13.831/22. Rue du Progrès 56, 1210 Bruxelles : Service public fédéral Mobilité et Transports, 2024.

[23] Statbel (Office belge de statistique). *Vehicle stock in Belgium*. Consulté le 29 juillet 2025. 2024.

[24] Policy Learning Platform Interreg Europe. *LISA – Mobility as a Service & Last Mile*. Publié le 24 novembre 2020, consulté le 29 juillet 2025. 2020.

[25] Interreg Europe, Policy Learning Platform. *Shared mobility for low-carbon and inclusive transport*. https://www.interregeurope.eu/find-policy-solutions/stories/shared-mobility-for-low-carbon-inclusive-transport. Publié le 07 mai 2024, consulté le 29 juillet 2025. 2024.

[26] Dominik J. Mühlematter et al. « Spatially-aware station based car-sharing demand prediction ». In : *arXiv preprint arXiv :2303.14421* (2023). Accepté pour publication dans *Journal of Transport Geography*, vol. 114, 2024. url : https://arxiv.org/pdf/2303.14421.

[27] Nebiyou Tilahun, Piyushimita Thakuriah et Nathan Mallon. « Trip chaining, vehicle type choice and the role of the built environment ». In : *ePrints University of Glasgow* (2013). url : https://eprints.gla.ac.uk/75475/1/75475.pdf.

[28] Alessandro Emilio Capodici, Gabriele D'Orso et Marco Migliore. « A GIS-Based Methodology for Evaluating the Increase in Multimodal Transport between Bicycle and Rail Transport Systems. A Case Study in Palermo ». In : *ISPRS International Journal of Geo-Information* 10.5 (2021), p. 321. doi : 10.3390/ijgi10050321. url : https://www.mdpi.com/2220-9964/10/5/321.

[29] Chris Stride et Jane Smith. « The Role of Local Amenities in Reducing Car Dependency ». In : *Journal of Urban Mobility* 34.2 (2022), p. 123-139.

[30] Ehsan Islam et al. *Comprehensive Total Cost of Ownership Quantification for Vehicles*. Rapp. tech. Consulté en mai 2025. Argonne National Laboratory, 2021. URL : https://publications.anl.gov/anlpubs/2021/05/167399.pdf.

[31] SPW Mobilité et Infrastructures. *Carsharing – Autopartage (Wallonie)*. https://mobilite.wallonie.be/home/je-suis/un-citoyen/en-voiture/services-et-solutions/carsharing.html. Consulté le 8 août 2025. n.d.

[32] SPW Mobilité et Infrastructures. *CeMaphore n° 165 – mai 2025*. Rapp. tech. Consulté le 9 août 2025. Service Public de Wallonie, SPW Mobilité et Infrastructures, mai 2025. URL : https://mobilite.wallonie.be/files/cemaphore/cempahore_00165.pdf.

[33] Susan A. Shaheen et Elliot Martin. « Carsharing and the City : Examining the Impacts of Carsharing in North America ». In : *Transportation Sustainability Research Center (TSRC)* (2016). URL : https://tsrc.berkeley.edu/carsharing.

[34] Fangqing Liao, Chris Voulgaris et Jasper de Jong. « Understanding the Modal Shift Impact of Mobility-as-a-Service in Low-Density Contexts ». In : *arXiv preprint arXiv :2310.19036* (2023). URL : https://arxiv.org/abs/2310.19036.

[35] Arne Chapman, Johan Eyckmans et Veronique Van Acker. « Does Car-Sharing Reduce Car-Use ? An Impact Evaluation of Car Sharing in Flanders, Belgium ». In : *Sustainability* 12.19 (2020), p. 8155. DOI : 10.3390/su12198155.

[36] Elliot Martin et Susan A. Shaheen. « The Impact of Carsharing on Public Transit and Non-Motorized Travel : An Exploration of North American Carsharing Survey Data ». In : *Energies* 4.11 (2011), p. 2094-2114. DOI : 10.3390/en4112094.

[37] EVBox. *Volkswagen ID.3 – Charging time, range, and info*. Consulté le 29 juillet 2025. n.d.

[38] Ville de Paris. *Bilan des déplacements à Paris 2023*. Direction de la Voirie et des Déplacements, Ville de Paris. 2023. URL : https://cdn.paris.fr/paris/2025/01/17/paris_ra2023-web-kqq9.pdf.

[39] Automobile Propre. *Simulateur de temps de recharge — Volkswagen ID.3*. https://www.automobile-propre.com/simulateur-temps-de-recharge-voiture-electrique/volkswagen-id3/. Consulté le 9 août 2025. n.d.

[40] Jeffrey Matthijs. *Deelmobiliteit in België in 2024 : Rapport Way To Go*. Rapp. tech. Rapport annuel sur deelfietsen, deelsteps en deelauto's in België. Gent, België : Way To Go (voorheen Autodelen.net), 2024. URL : https://www.waytogo.be/files/Publicaties/Deelmobiliteit-in-Belgi%C3%AB-in-2024-Rapport-Way-To-Go.pdf.

[41] E. Pakyuz-Charrier et al. « Topological analysis in Monte Carlo simulation for uncertainty propagation ». In : *Solid Earth* 10.5 (2019), p. 1663-1684. DOI : 10.5194/se-10-1663-2019. URL : https://doi.org/10.5194/se-10-1663-2019.

[42] Anna McMurray. *Guidance on Applying the Monte Carlo Approach*. Rapp. tech. Winrock International, 2017. URL : https://winrock.org/wp-content/uploads/2018/02/UncertaintyReport-12.26.17.pdf.

[43] *Parc de véhicules*. Consulté en mai 2025. Statbel. s.d. URL : https://statbel.fgov.be/fr/themes/mobilite/circulation/parc-de-vehicules#news.

[44] SOVAB Renault Batilly. *Réduire efficacement les frais d'entretien d'une flotte automobile*. Consulté en mai 2025. 2024. URL : https://www.sovab-renault-batilly.fr/entretien-reparations/reduire-efficacement-frais-dentretien-flotte-automobile.

[45] Institut Vias. *Quels impacts des horaires décalés sur la congestion et la sécurité routière en heures de pointe ?* Consulté en mai 2025. 2018. URL : https://www.vias.be/publications/De%20impact%20van%20flexibele%20werktijden%20op%20de%20congestie%20en%20de%20verkeersveiligheid%20tijdens%20de%20spitsuren/Quels%20impacts%20des%20horaires%20...%20%28Rapport%29.pdf.

[46] Marek Gierszewski et Aleksandra Koźlak. « The Impact of Congestion on the Costs of Public Transport in Starogard Gdański ». In : *Transport Economics and Logistics* 84 (2019). Consulté en mai 2025, p. 7-20. DOI : 10.26881/etil.2019.84.01. URL : https://www.researchgate.net/publication/349010159_The_Impact_of_Congestion_on_the_Costs_of_Public_Transport_in_Starogard_Gdanski.

[47] Stéphane Bourgeois et al. *Climate Neutrality, Energy Security and Sustainability : A pathway to bridge the gap through Sufficiency, Efficiency and Renewables*. Rapp. tech. Final report of the CLEVER (Collaborative

Low Energy Vision for the European Region) scenario, supported by a network of European partners. France : négaWatt Association, juin 2023. URL : https://clever-energy-scenario.eu.

[48] Carlos MORENO et al. « Introducing the "15-Minute City" : Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities ». In : *Smart Cities* 4.1 (2021), p. 93-111. ISSN : 2624-6511. DOI : 10.3390/smartcities4010006. URL : https://www.mdpi.com/2624-6511/4/1/6.

[49] Adrien TOLEDANO et al. *Establishment of Energy Consumption Convergence Corridors to 2050 – Mobility Sector*. Rapp. tech. Technical note in the build-up of the CLEVER (Collaborative Low Energy Vision for the European Region) scenario. France : negaWatt Association, mars 2023. URL : https://clever-energy-scenario.eu/wp-content/uploads/2023/03/2403-Convergence-corridors-Mobility.pdf.

Annexes

Ci-joint se trouve le lien vers les différents fichiers informatiques qui ont permis la réalisation de ce mémoire. On y trouve un dossier contenant les éléments liés au modèle GIS ainsi qu'au lien entre GIS et EnergyScope. Un second dossier contient l'ensemble des fichiers nécessaires à la compilation d'EnergyScope.

Lien Github

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
École polytechnique de Louvain
Rue Archimède, 1 bte L6.11.01, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique | **www.uclouvain.be/epl**