



Rapport n° 2023-R-13-FR

Le rôle des trottinettes électriques dans le mix de mobilité

Opportunités et menaces



FEDERALE OVERHEIDSDIENST
MOBILITEIT EN VERVOER

Le rôle des trottinettes électriques dans le mix de mobilité

Opportunités et menaces

Rapport n° 2023-R-13-FR

Auteurs : Vandael Schreurs K., Ben Messaoud Y., Dons E., Wrzesinska D., Deleuze J.

Éditeur responsable : Karin Genoe

Éditeur: Institut Vias

Date de publication : 21/04/2023

Dépôt légal : D/2023/0779/28

Veuillez faire référence à ce document comme suit : Vandael Schreurs et al. (2023). Le rôle des trottinettes électriques dans le mix de mobilité – Opportunités et menaces, Bruxelles, Belgique : Institut Vias

Dit rapport is eveneens beschikbaar in het Nederlands.

This report is also available in English.

Remerciements

Les auteurs de ce rapport et le Vias Institute tiennent à remercier le Service Public Fédéral Mobilité et Transports pour le financement de cette étude.

Les auteurs remercient également les différentes communes bruxelloises, ainsi que la police, qui ont donné leur accord pour la collecte de données sur leur territoire dans le cadre de la partie observation des comportements et des conflits de cette étude.

Nous adressons également nos remerciements aux différents opérateurs de micromobilité partagée et aux magasins privés qui ont accepté de participer à des entretiens et de partager leurs connaissances afin de combler les lacunes de la littérature.

Enfin, les auteurs tiennent à remercier Philip Temmerman, pour son assistance pratique dans la partie de l'étude consacrée à l'observation des comportements et des conflits, ainsi que Tim De Ceunynck, qui a réalisé l'évaluation externe de ce rapport.

Table des matières

Liste des tableaux et des figures	6
Glossaire	9
Résumé	11
1 Introduction	14
1.1 Catégorisation	14
1.2 Mobilité	15
1.3 Incidences sur l'environnement	16
1.4 Comportement de conduite	17
1.5 Accidents	17
2 Les DPM et leur mobilité	19
2.1 Méthodologie	19
2.2 Description de l'échantillon	21
2.3 Répartition modale	24
2.4 Caractéristiques des déplacements et transfert modal	28
2.5 Les motifs du choix de la trottinette électrique ou du vélo (électrique)	32
2.5.1 La satisfaction des besoins	33
2.5.2 Conditions préalables au comportement et au changement de comportement	37
2.5.3 Choix du mode de transport : synthèse des raisons et des facteurs sous-jacents	44
2.6 Synthèse intermédiaire des résultats	46
3 L'impact environnemental des trottinettes électriques	50
3.1 Méthodologie	50
3.2 Inventaire du cycle de vie	51
3.2.1 Véhicule	52
3.2.2 Transport	57
3.2.3 Utilisation	58
3.2.4 Services opérationnels	59
3.2.5 Infrastructure	60
3.3 Évaluation des incidences sur l'environnement	61
3.3.1 Véhicule	61
3.3.2 Transport	61
3.3.3 Utilisation	62
3.3.4 Services opérationnels	62
3.3.5 Infrastructure	64
3.4 Interprétation	64
3.4.1 Empreinte carbone totale des trottinettes électriques	64
3.4.2 Comparaison avec d'autres modes de transport	72
4 Sécurité et comportement de conduite	75
4.1 Méthodologie	75
4.1.1 Choix du site	75
4.1.2 Collecte de données	76

4.2	Analyses comportementales	79
4.2.1	Nombre d'usagers vulnérables de la route	79
4.2.2	Vitesses pratiquées et excès de vitesse	82
4.2.3	Rouler avec un passager	86
4.3	Analyses des conflits	88
4.3.1	Aperçu des interactions et des conflits	88
4.3.2	Nombre d'interactions	88
4.3.3	Nombre de conflits	89
4.3.4	Aperçu des conflits	90
4.4	Accidents	93
4.4.1	Méthodologie	93
4.4.2	Résultats	93
5	Discussion	100
5.1	Catégorisation et réception par type	100
5.2	Mobilité	100
5.3	L'impact environnemental des trottinettes électriques	102
5.4	Comportement	104
5.5	Accidents	105
6	Recommandations	107
	Références	109
	Annexes	113
	Analyse factorielle du modèle ERG (anglais)	113
	Analyse factorielle du modèle COM-B (anglais)	114

Liste des tableaux et des figures

Tableau 1: Question de sélection	19
Tableau 2: Motifs d'utilisation d'une trottinette électrique, d'un vélo électrique ou d'un vélo classique en fonction du niveau de besoins de la théorie ERG	34
Tableau 3: Définitions d'interventions et de politiques avec des exemples appliqués aux trottinettes électriques (Michie et al., 2011)	38
Tableau 4: Liens entre les fonctions d'intervention (anneau intérieur autour du centre de la RCC) et les sources de comportement (le centre de la RCC) (Michie et al., 2011)	40
Tableau 5: Liens entre les fonctions d'intervention (anneau intérieur autour du centre de la RCC) et les catégories de politiques (anneau extérieur de la RCC) (Michie et al., 2011)	40
Tableau 6: Items du questionnaire qui étaient applicables au cadre de la Roue du Changement de Comportement.	41
Tableau 7: Différents types de pneus montés sur les trottinettes électriques.	54
Tableau 8: Différents types de freins sur les trottinettes électriques	55
Tableau 9: Les mix électriques mondial et belge en 2020. Sources : (World Energy Data, 2022) et (IEA, 2022).	58
Tableau 10: Estimation de la durée de vie et du kilométrage total des trottinettes électriques.	59
Tableau 11: Évaluation des émissions de GES du cycle de vie des trottinettes électriques privées et partagées issues de la littérature scientifique.	71
Tableau 12: Durée de vie, kilométrage annuel et nombre moyen de passagers des différents modes de transport. Chiffres basés sur (Cazzola & Crist, 2020) et entretiens avec des opérateurs de trottinettes électriques partagées.	73
Tableau 13: Mode de transport remplacé par l'utilisation de trottinettes électriques partagées et privées. Source : (Moreau et al., 2020).	74
Tableau 14: Aperçu du nombre d'utilisateurs de la route vulnérables, des interactions et des conflits sur les sites testés	88
Figure 1: Aperçu des dispositifs de mobilité personnelle, à l'exception des véhicules utilitaires (ACEM, 2021)	15
Figure 2: Dispositif DMP précoce	15
Figure 3: Le taux d'utilisation des trottinettes électriques, des vélos électriques et des vélos classiques	20
Figure 4: Distribution par âge des utilisateurs réguliers et des utilisateurs non réguliers des différents modes de transport concernés	21
Figure 5: Activité principale des répondants	22
Figure 6: Cadre de vie des répondants	22
Figure 7: La fréquence à laquelle les participants pratiquent une activité physique quelconque	23
Figure 8: La proportion d'utilisateurs réguliers et d'utilisateurs non réguliers des modes de transport concernés qui sont titulaires d'un permis de conduire	24
Figure 9: Le nombre de modes de transport détenus dans le ménage des participants.	24
Figure 10: Les parts d'utilisation privée et partagée des modes de transport concernés	25
Figure 11: Distribution de l'utilisation d'un appareil partagé lorsqu'un utilisateur régulier ne possède pas d'appareil privé	26
Figure 12: Différents modes d'utilisation de la trottinette électrique par les utilisateurs réguliers	26
Figure 13: La disponibilité de dispositifs partagés pour chaque mode de transport spécifique	27
Figure 14: La disponibilité d'un espace pour entreposer le mode de transport en toute sécurité lorsqu'il n'est pas utilisé	27
Figure 15: L'impact de la pandémie de COVID-19 et de ses restrictions sur les déplacements en fonction des modes de transport	28
Figure 16: Parts modale pour différents motifs de déplacement	29
Figure 17: Différences entre les groupes d'utilisateurs réguliers et non réguliers en ce qui concerne la part d'utilisation des différents modes de transport	30
Figure 18: Distances parcourues avec les différents modes de transport	31
Figure 19: Cadre du modèle intégrant la théorie ERG des besoins, les difficultés de déplacement, les attributs du niveau de service et les caractéristiques socio-économiques des utilisateurs dans le contexte du choix du mode de transport (Bláfoss Ingvarðson et al., 2019)	32
Figure 20: Représentation visuelle de la théorie ERG	33

Figure 21: Motifs de l'utilisation d'une trottinette électrique, d'un vélo électrique ou d'un vélo classique, en fonction du niveau de besoins de l'ERG	35
Figure 22: Le cadre du modèle COM-B, sur lequel repose la Roue du Changement de Comportement (Michie et al., 2011)	37
Figure 23: Le cadre de la Roue du Changement de Comportement (RCC) (Michie et al., 2011)	38
Figure 24: Notes générales sur les sources de comportement qui indiquent les raisons de ne pas utiliser le mode de transport	42
Figure 25: Différenciation entre les différents utilisateurs réguliers et les utilisateurs non réguliers sur les sources de comportement qui indiquent les raisons de ne pas utiliser le mode de transport	43
Figure 26: Interprétation personnelle du lien entre la théorie ERG et la théorie RCC et l'impact éventuel sur le choix du mode de transport appliqué au cadre du modèle conçu par Bláfoss Ingvarðson et al. (2019)	46
Figure 27: Diagramme des frontières du système. Source : (Hollingsworth et al., 2019).	50
Figure 28: Les composants contribuant aux émissions de GES du cycle de vie d'une trottinette électrique partagée.	51
Figure 29: Part des matériaux d'une trottinette électrique. Source: (Severengiz et al., 2020)	52
Figure 30: Consommation d'énergie pour la fabrication, le montage et le traitement en fin de vie de véhicules	56
Figure 31: Consommation d'énergie pour la fabrication, l'assemblage et le traitement en fin de vie des batteries	56
Figure 32: Une aire de stationnement désignée à Anvers et une station de recharge à Atlanta, en Géorgie. Source : Google Images.	60
Figure 33: Émissions de GES liées à la fabrication, à l'assemblage et à le traitement en fin de vie des véhicules et des batteries [g éq. CO ₂ /vkm].	61
Figure 34: Émissions de GES dues à l'utilisation des véhicules.	62
Figure 35: Émissions de GES nécessaires pour les services opérationnels [g d'éq. CO ₂ /vkm].	63
Figure 36: Part relative des composants dans les émissions de GES du cycle de vie d'une trottinette électrique partagée de première génération et d'une trottinette électrique privée.	65
Figure 37: Les émissions de GES du cycle de vie d'une trottinette électrique partagée et d'une trottinette électrique privée en g de CO ₂ par véhicule-km.	65
Figure 38: La part relative des différents composants dans les émissions de GES du cycle de vie de la nouvelle génération de trottinettes électriques partagées.	66
Figure 39: Les émissions de GES du cycle de vie d'une trottinette électrique partagée de première génération, d'une trottinette électrique partagée de dernière génération et d'une trottinette électrique privée en g de CO ₂ par véhicule-km.	66
Figure 40: Sensibilité des émissions de GES du cycle de vie des trottinettes électriques partagées de première et de dernière génération aux modifications de paramètres. Source : chiffres adaptés de (Cazzola & Crist, 2020)	69
Figure 41: Émissions de GES du cycle de vie de différents modes de transport par passager-km. Chiffres basés sur (Cazzola & Crist, 2020) et nos propres calculs.	72
Figure 42: Lieux d'observation des comportements et des conflits (source : OpenStreetMap)	75
Figure 43: Nombre et proportion d'usagers vulnérables de la route observés sur les quatre sites d'essai	79
Figure 44: Distribution des cyclistes et des utilisateurs de trottinettes électriques tout au long de la journée sur l'ensemble des quatre sites d'essai.	80
Figure 45: Distribution des cyclistes et des utilisateurs de trottinettes électriques tout au long de la journée sur chacun des quatre sites d'essai	81
Figure 46: Proportion de trottinettes électriques partagées et privées sur chaque site d'essai	82
Figure 47: Vitesses pratiquées par les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques dans les zones piétonnes du Boulevard Anspach et de la Rue neuve	83
Figure 48: Vitesses pratiquées par les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques dans les espaces partagés de la Chaussée d'Ixelles et de Merode.	84
Figure 49: Infractions pour excès de vitesse par espace partagé pour tous les utilisateurs	84
Figure 50: Distribution des infractions pour excès de vitesse par usager de la route et par lieu de test	85
Figure 51: Infractions pour excès de vitesse par moment de la journée et par type d'usager de la route	86
Figure 52: Proportion de trottinettes avec un passager par type de trottinette électrique pour l'ensemble des lieux.	86
Figure 53: Utilisation d'une trottinette électrique partagée avec un passager en tenant la main d'un piéton	87
Figure 54: Utilisation d'une trottinette électrique partagée avec 2 passagers (trois utilisateurs sur une trottinette électrique)	87

Figure 55: Nombre d'interactions observées par lieu d'essai lors desquelles un cycliste ou un conducteur de trottinette électrique était impliqué _____	88
Figure 56: Nombre d'usagers de la route et d'interactions observés par site d'observation _____	89
Figure 57 : Taux de conflit pour les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques _____	89
Figure 58: Taux de conflit des cyclistes et des utilisateurs de trottinettes électriques par lieu _____	90
Figure 59: Usagers de la route entre lesquels le conflit s'est produit _____	90
Figure 60: Respect de la vitesse au moment d'un conflit _____	91
Figure 61: Usagers de la route impliqués dans les conflits vérifiés _____	91
Figure 62: Principale partie « à l'origine » du conflit _____	91
Figure 63: Causes du conflit _____	92
Figure 64: Direction dans laquelle le conflit s'est produit _____	92
Figure 65: Implication dans les (quasi-) accidents par mode de transport, sur la base des accidents autodéclarés _____	93
Figure 66: L'implication dans de multiples accidents et quasi-accidents par mode de transport _____	94
Figure 67: Causes des accidents unilatéraux et multilatéraux par mode de transport _____	95
Figure 68: La part des accidents unilatéraux et multilatéraux et les causes de ces accidents par mode de transport _____	97
Figure 69: Conséquences de l'accident _____	98
Figure 70: Accidents de trottinettes électriques enregistrés dans les hôpitaux d'Oslo 2019-2020 (Bjørnskau, 2022) _____	99

Glossaire

[ACEM] Association des Constructeurs Européens de Motocycles	Elle représente les plus grands constructeurs de cyclomoteurs, de motocyclettes, de tricycles et de quadricycles qui exploitent des activités en Europe et peut être considérée comme l'industrie du motocycle en Europe.
[RCC] Roue du Changement de Comportement	Théorie qui prend en compte les constructions intérieures et extérieures à l'individu, afin d'expliquer les raisons de la mise en œuvre ou non d'un certain comportement et les interventions susceptibles de faciliter ou d'atténuer ce comportement.
[EPAC] Electrically Assisted Pedal Cycle (Vélo électrique)	Vélo électrique à pédalage assisté d'une vitesse maximale de 25 km/h et d'une puissance maximale de 250W, qui ne fait pas partie du champ d'application du Règlement 168/2013.
[ISO] Organisation internationale de normalisation	Une fédération internationale d'organismes nationaux de normalisation
[PET] Post-Encroachment Time (Temps post-empiètement)	Le temps entre le moment où le premier usager de la route quitte la voie du second et le moment où le second rejoint la voie du premier.
[PLEV] Personal Light Electric Vehicle (Engin de déplacement motorisé)	Engin de déplacement motorisé, couverts par la norme CEN EN17128, qui ne relèvent pas du Règlement (UE) 168/2013 sur la réception par type, qui ne sont ni des vélos ni des EPAC.
[DMP] Dispositif de mobilité personnelle	Large gamme de produits de mobilité, notamment les PLEV, les EPAC et les cycles motorisés soumis à la réception par type. Ce terme est utilisé dans le contexte du processus de définition des politiques lancé par la Commission européenne en 2019.
[2RMs] Deux-roues motorisés	Ils font partie des véhicules de catégorie légère (Règlement 168/2013 sur la réception par type, catégorie L), avec deux roues dans l'axe, une carrosserie minimale et un rapport puissance/poids élevé, y compris les catégories L1e, L3e et L4e.
[TTC] Time to collision	Le temps restant jusqu'à ce qu'un accident entre les véhicules se produise s'ils continuent sur leur trajectoire actuelle à leur vitesse actuelle.
BEV / EV	Véhicule électrique à batterie / Véhicule électrique
Évaluation des incidences sur l'environnement	Méthodologie d'évaluation des impacts environnementaux associés à un produit.
Théorie ERG	Théorie qui aborde les choix en tenant compte des individus qui tentent de satisfaire leurs besoins (existence, relation et croissance).
Premier - dernier kilomètre (mode de déplacement d'approche - mode de déplacement final)	Généralement, la première ou la dernière partie d'un voyage de mobilité, qui complète le principal mode de transport. Il ne s'agit pas nécessairement d'un mile ou d'un kilomètre. (p.ex., un trajet de la gare au lieu de travail à vélo, lorsque le train était utilisé comme principal mode de transport)
MCI	Moteur à combustion interne

Interaction	Une situation dans laquelle deux usagers de la route arrivent à un endroit avec une telle proximité dans le temps et l'espace que la présence d'un usager de la route peut avoir une influence sur le comportement de l'autre.
L1eA	Catégorie de cycle motorisé de la législation sur les véhicules de catégorie légère (catégorie L)
L1eB	Catégorie de cyclomoteur de la législation sur les véhicules de catégorie légère (catégorie L)
Analyse du cycle de vie / Inventaire du cycle de vie [ACV]	Méthodologie d'évaluation de toutes les étapes du cycle de vie d'un produit commercial.
Empreinte carbone du cycle de vie	Émissions totales de carbone considérées sur la durée de vie totale d'un produit
Dispositif de micromobilité	Terme générique englobant tout produit destiné au transport de personnes ou de marchandises, autopropulsé ou non, qui ne relève pas actuellement du Règlement (UE) 168/2013 sur la réception par type ou qui n'est ni un vélo, ni un EPAC et dont la taille est relativement réduite.
MONITOR	Une enquête complète sur les habitudes de mobilité et de sécurité routière en Belgique, basée sur les données de 30 000 adultes et enfants.
Accident multilatéral	Accident survenu entre deux usagers de la route ou plus
Quasi-accident	Accident potentiel qui a pu être évité à la dernière minute.
Powered cycles (L1eA) Cycles motorisés	Cycle électrique à pédalage assisté d'une vitesse maximale de 25 km/h et d'une puissance située entre 250 W et 1000 W qui doit être soumis à la réception par type conformément au règlement UE 168/2013.
Indicateur de performance de sécurité	Indicateur permettant de déterminer si une interaction peut être considérée comme dangereuse (p.ex., TTC, PET, etc.).
Speed EPAC (L1eB)	Également appelé Speed Pedelec, il s'agit d'un vélo électrique à pédalage assisté d'une vitesse maximale de 45 km/h et d'une puissance maximale de 4 kW, qui doit être soumis à la réception par type conformément au règlement UE 168/2013.
Indicateur de substitution de sécurité	Indicateur destiné à être une alternative aux analyses de sécurité basées sur les données d'accidents (p.ex., TTC, PET, etc.).
Tank-to-Wheel	Tient compte de toutes les ressources/émissions/énergie utilisées depuis le lieu de stockage de l'énergie dans le produit jusqu'à son utilisation réelle (p.ex., batterie, réservoir d'essence, etc.).
Règlement 168/2013 sur la réception par type	Règlement relatif à la réception et à la surveillance du marché des véhicules à deux ou trois roues et des quadricycles
Accident unilatéral	Accident qui s'est produit avec un seul usager de la route (p.ex., rouler contre un objet statique).
Well-to-Tank	Tient compte de toutes les ressources/émissions/énergie utilisées depuis l'extraction jusqu'au lieu de stockage de l'énergie dans le produit (p.ex., batterie, réservoir d'essence, etc.).
Well-to-Wheel	Prend en compte toutes les ressources/émissions/énergie utilisées depuis l'extraction jusqu'à l'utilisation réelle.

Résumé

L'urbanisation croissante pose des défis majeurs, parmi lesquels les embouteillages. Outre les alternatives bien connues au transport motorisé privé, comme les transports publics, la marche et le vélo, ou le covoiturage, les dispositifs de mobilité personnelle (DMP) constituent une nouvelle solution. Conçus à l'origine pour les personnes confrontées à des problèmes de mobilité physique, les DMP ont connu des évolutions et sont aujourd'hui devenus un mode de transport à part entière, entraînant un boom sur le marché. Cependant, la catégorisation et la législation relatives à ces DMP sont souvent assez floues. Même si l'on insiste largement sur leurs avantages pour la mobilité, des inconvénients sont également bien présents. Les connaissances en matière de mobilité sont rapidement dépassées, l'impact sur l'environnement est remis en question et la sécurité routière devient un sujet de préoccupation en raison de l'augmentation des accidents corporels. Cette étude a été mise en place pour combler progressivement les lacunes existantes, en se concentrant sur la mobilité, la performance environnementale, le comportement des utilisateurs et les conflits dans le trafic, ainsi que sur les (quasi-)accidents déclarés par les conducteurs. À cet effet, nous avons accordé une attention particulière aux trottinettes électriques, aux vélos classiques et aux vélos électriques.

Des études antérieures ont démontré que les trottinettes électriques remplacent la marche, le vélo et les transports publics. Cette étude montre que les trottinettes électriques influencent principalement les déplacements en voiture, ont un léger impact positif sur l'utilisation des transports publics et n'ont pas d'impact sur la marche et le vélo. Seuls les vélos électriques avaient un impact sur les déplacements en transports publics. Si la voiture et les transports publics sont utilisés pour toutes les distances de déplacement, leur popularité est la plus grande pour les déplacements plus longs. Les vélos sont les plus populaires pour les distances de 2 à 5 km, tandis que les trottinettes électriques et les vélos électriques sont les plus populaires pour les distances de 5 à 10 km. Les vélos classiques mais aussi les trottinettes électriques ne sont pas uniquement considérés comme des options du 'dernier kilomètre', mais comme des modes de transport indépendants et à part entière. En ce qui concerne la propriété de DMP, les trottinettes électriques privées sont les plus populaires, mais l'utilisation des trottinettes partagées est également assez courante. Il n'en va pas de même pour les vélos classiques et les vélos électriques qui appartiennent plus souvent à des particuliers. Quant aux utilisateurs, les trottinettes électriques sont principalement utilisées par des hommes jeunes, salariés. Si les jeunes se tournent également vers les vélos électriques, les utilisateurs de ces derniers sont généralement un peu plus âgés. Les utilisateurs du vélo classique sont davantage répartis dans toutes les catégories d'âge. En outre, nous avons constaté que les trottinettes électriques sont très populaires auprès des personnes souffrant d'un handicap physique. Cependant, des recherches supplémentaires à ce sujet seraient nécessaires.

Le choix du mode de transport s'avère être fortement influencé par des constructions psychologiques sous-jacentes plus profondes. C'est en tout cas ce qu'ont démontré les modèles psychologiques, et le simple fait d'avoir accès à un mode de transport ne fait pas d'une personne un utilisateur régulier. Par ailleurs, une personne qui utilise une trottinette électrique ne choisira pas nécessairement un vélo si la trottinette électrique lui est retirée. Nous avons constaté que les croyances d'ordre supérieur (p.ex., la contribution à la société, l'impact positif sur l'environnement, les sensations vis-à-vis du véhicule, la santé, etc.) jouaient un rôle majeur, plus important encore que les aspects fonctionnels (p.ex., rencontrer des amis, aller au magasin, aller au travail, effectuer des déplacements multimodaux, etc.). Pour les trottinettes électriques, nous avons également observé un intérêt plus marqué pour la norme sociale (p.ex., l'utiliser parce que c'est tendance, pour afficher son prestige social, pour impressionner les autres, etc.). Ensuite, nous avons pu identifier des facteurs qui entravent l'utilisation de ces modes de transport. Il a été prouvé que les facteurs de motivation étaient les plus importants (p.ex., les sentiments négatifs à l'égard de la sécurité, le fait de ne pas prévoir d'utiliser le mode de transport, le fait de penser automatiquement à la voiture, etc.). Par la suite, l'opportunité physique jouait également un rôle majeur (p.ex., un manque de temps et d'argent, l'indisponibilité du mode de transport, l'absence d'appareils bien entretenus, etc.). Nous pourrions également le prouver, car de nombreux utilisateurs non réguliers n'ont pas accès à un vélo, un vélo électrique ou une trottinette électrique, ou manquent d'espace disponible pour les entreposer en toute sécurité. Les capacités physiques et psychologiques d'une personne ont également un impact (p.ex., pas assez de force, pas assez d'endurance, pas assez de compétences, pas assez de concentration, etc.). Le soutien social des autres était moins important. Nous ne pouvons pas ignorer le rôle de l'activité physique, puisque les utilisateurs réguliers étaient plus actifs physiquement que leurs homologues non réguliers, ce qui a également eu un effet positif sur les limitations physiques qui constituaient un obstacle à l'utilisation du mode de transport.

Outre les préoccupations liées à la mobilité, la question de la performance environnementale des trottinettes électriques a également été soulevée. Bien que les trottinettes électriques ne produisent pas d'émissions directes de gaz d'échappement, leur courte durée de vie et le processus de production très polluant des batteries suscitaient des inquiétudes. Elles produisent des émissions de 110 à 165 g d'éq. CO₂/vkm (véhicule kilomètre), ce qui correspond à celles d'une voiture à moteur à combustion interne typique. Ce mauvais chiffre est dû à la courte durée de vie présumée et à l'utilisation de camionnettes de service polluantes à carburant fossile pour transporter et recharger les trottinettes électriques partagées. En revanche, notre étude (basée sur des chiffres actualisés) a révélé des émissions de CO₂ de 36 g/vkm pour une trottinette électrique privée récente et de 49 g/km pour la dernière génération de trottinettes électriques partagées. C'est un meilleur résultat que les autres modes de transport motorisés (p.ex., la voiture à MCI, la voiture électrique et le bus) dont elle est une alternative. Cette amélioration peut s'expliquer par l'augmentation de la durée de vie des trottinettes électriques, un meilleur entretien et un fonctionnement plus efficace. La majeure partie de ces émissions est due au processus de production des véhicules (soit 50 à 80 % des émissions totales du cycle de vie) et aux services opérationnels pour les équivalents partagés, alors que la contribution de l'import initial de l'engin vers la Belgique, des systèmes de propulsion des trottinettes électriques (qui sont particulièrement efficaces) et du mix électrique durable en Belgique (en termes de CO₂) est négligeable.

Toutefois, les émissions de GES (Gaz à Effet de Serre) du cycle de vie d'une trottinette électrique sont très sensibles à son kilométrage total et sa durée de vie. Une trottinette électrique qui n'atteint que la moitié de sa durée de vie et qui est utilisée deux fois moins pendant cette période, produit, durant son cycle de vie, des émissions de gaz à effet de serre presque quatre fois supérieures au chiffre initial, devenant rapidement plus polluante que les voitures à carburant fossile. En outre, des distances de plus courtes pour accéder au service peuvent également contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serre, par exemple en passant de dispositifs sans station à un approvisionnement basé sur les stations d'accueil. Si c'est vrai pour les dispositifs partagés, les plus grands gains environnementaux des trottinettes électriques privées se situent dans la phase de production du véhicule, dont les grandes différences de qualité sur le marché peuvent impacter considérablement la durée de vie du véhicule et les émissions de son cycle de vie.

Bien que la durée de vie des trottinettes électriques soit un paramètre crucial, il est difficile de l'estimer en raison des nombreuses innovations et du renouvellement rapide des modèles, ainsi que de la confidentialité des données sur la durée de vie de la part des opérateurs de trottinettes électriques partagées. Cette étude souligne la nécessité d'une réglementation et d'une communication transparente sur la performance des dispositifs de micromobilité.

La sécurité routière est considérée comme un autre sujet de préoccupation. Des recherches antérieures ont révélé que les piétons et les cyclistes se sentent plus en sécurité lorsque les utilisateurs de trottinettes électriques roulent à une vitesse maximale de 15 km/h, ou s'ils se font dépasser à une vitesse maximale de 10 km/h. Cependant, cette vitesse est considérée comme lente par les utilisateurs de trottinettes électriques et est inférieure à leur vitesse moyenne. Dans le cadre de cette recherche, nous avons pu constater la part importante d'infractions pour excès de vitesse (de 30 à 60 %) commises par les utilisateurs de trottinettes électriques dans les zones piétonnes, où la vitesse était limitée à 8 km/h. En général, des excès de vitesse et des vitesses non adaptées ont été observés tant chez les utilisateurs de trottinettes électriques que chez les cyclistes, mais ils étaient plus élevés chez les utilisateurs de trottinettes électriques. Par ailleurs, dans un conflit observé sur 4, la limitation de vitesse n'était pas respectée (tant de la part des cyclistes que des utilisateurs de trottinettes électriques). En outre, cette recherche a révélé que les conducteurs de trottinettes électriques présentent un risque de conflit plus élevé que les utilisateurs de vélos, compte tenu du nombre d'utilisateurs, mais pas du nombre d'interactions. De surcroît, la présence d'un passager sur la trottinette électrique a été constatée chez 10 % des utilisateurs, mais ne semble pas être une cause majeure de conflit.

En ce qui concerne les accidents, le sous-enregistrement est un problème de taille. Seule une partie des accidents impliquant un vélo (électrique) ou une trottinette électrique est enregistrée par la police : nous avons constaté que seuls 10 % des accidents déclarés par les conducteurs ont entraîné des blessures plus graves nécessitant une visite chez le médecin. La gravité des blessures augmente surtout lorsqu'un autre usager de la route est impliqué dans l'accident. Dans la littérature, nous n'avons trouvé aucune différence au niveau du risque de décès du conducteur par trajet entre les trottinettes électriques et les vélos, mais le risque d'hospitalisation semble significativement plus élevé chez les conducteurs de trottinettes électriques que chez les cyclistes. Dans cette étude, même si la gravité des accidents n'était pas très élevée d'après les accidents déclarés par les conducteurs, il ne faut pas oublier que les trottinettes électriques sont principalement utilisées par des usagers plus jeunes et moins vulnérables, par rapport, par exemple, aux conducteurs plus âgés de vélos électriques. D'autre part, nous avons constaté que les utilisateurs de trottinettes électriques possèdent

moins souvent un permis de conduire. Il y a vraisemblablement un manque de connaissances adéquates (c'est-à-dire des connaissances qui sont souvent acquises pour un examen théorique afin d'obtenir un permis de conduire), un facteur susceptible d'intervenir dans le ratio plus élevé d'accidents par véhicule-kilomètre parcouru.

Les données d'accidents déclarés par les conducteurs ont montré que les accidents impliquant des trottinettes électriques sont en grande partie unilatéraux (4 accidents sur 5), c'est-à-dire le contraire des analyses de PV. Les causes de ces accidents unilatéraux sont souvent liées à des problèmes techniques, au comportement du conducteur et aux conditions météorologiques pour les trottinettes électriques, tandis que les cyclistes évoquent surtout des problèmes d'infrastructure routière et leur propre comportement pour expliquer les accidents. Dans les accidents multilatéraux, le comportement des autres usagers de la route est souvent indiqué comme cause de l'accident, mais leur propre comportement est également mentionné par les conducteurs de trottinettes électriques. Nous ne pouvons pas expliquer la part élevée de problèmes techniques à l'origine des accidents impliquant des trottinettes électriques. Il est conseillé de poursuivre les recherches sur cet aspect. D'après la littérature, le nombre de blessures à la tête est élevé dans les accidents impliquant des trottinettes électriques.

Toutes ces informations ont permis de formuler des recommandations spécifiques dans le domaine des DMP. Ces recommandations, qui portent sur le cadre juridique et technique des DMP, les comportements de mobilité et le choix du mode de transport, l'impact environnemental et la sécurité, sont présentées tout à la fin de ce rapport.

Si cette étude a permis d'apporter un éclairage nouveau sur le sujet, elle a également présenté certaines limites. Compte tenu de son étendue, il n'a pas été possible de mettre en place une exploration plus approfondie de certains aspects ou résultats intéressants. Ensuite, la méthodologie de recherche sur la mobilité différait des travaux antérieurs sur le sujet, ce qui rendait les comparaisons directes impossibles. En outre, un questionnaire a été utilisé pour recueillir des informations sur la mobilité et les accidents, ce qui a potentiellement induit un biais de désirabilité sociale ou de rappel. Enfin, nous avons dû formuler des hypothèses dans le cadre de l'évaluation du cycle de vie, notamment en nous basant sur des informations provenant d'opérateurs de trottinettes électriques partagées qui auraient pu donner lieu à une performance environnementale trop optimiste.

Bien que nous ne puissions ignorer les limites de cette étude, nous pouvons conclure que les DMP (et plus particulièrement les trottinettes électriques) ont un effet positif sur la mobilité en général et sur l'environnement. La prudence s'impose lorsqu'il s'agit de la sécurité routière, étant donné les risques d'accidents et de conflits plus élevés par rapport aux vélos et les niveaux de blessures plus élevés qui y sont associés. La sécurité routière est un enjeu important pour tirer avantage de ce mode de transport spécifique. Dans un monde où le passage à des modes de transport plus durables est une nécessité absolue, ces dispositifs peuvent contribuer à un meilleur environnement. Par ailleurs, les résultats de l'étude montrent que les croyances d'ordre supérieur sont plus importantes dans le choix du mode de transport que la simple demande dérivée et le besoin de se déplacer d'un point A à un point B. Les trottinettes électriques, les vélos électriques et les vélos classiques ont leur propre domaine d'utilisation spécifique et ne se remplacent pas simplement les uns les autres. Bien que les trottinettes électriques, les vélos électriques et les vélos classiques puissent être des rivaux pour des déplacements spécifiques (p.ex., une trottinette électrique est aussi souvent utilisée qu'un vélo pour des déplacements du premier au dernier kilomètre), l'effet collectif de ces modes de déplacement sur le remplacement des déplacements en voiture semble être le plus avantageux. Il convient effectivement de mettre davantage l'accent sur la capacité des trottinettes électriques à contribuer à l'amélioration des environnements de vie.

1 Introduction

L'urbanisation croissante entraîne indéniablement une augmentation des embouteillages. Outre les alternatives bien connues telles que les transports publics, le vélo ou même le covoiturage, les dispositifs de mobilité personnelle (DMP) offrent une solution différente. De plus, ils sont abordables, accessibles et faciles à utiliser. Pourtant, certains de ces dispositifs ont mauvaise réputation, notamment en ce qui concerne la santé, la sécurité routière et la durabilité environnementale. Un manque de connaissance concernant ces dispositifs, dû à leur développement rapide, empêche le gouvernement de prendre des mesures efficaces. Cette étude a été mise en place pour combler progressivement les lacunes existantes en ce qui concerne leur rôle dans la mobilité quotidienne, la performance environnementale, le comportement des utilisateurs, la sécurité et l'influence sur le choix du mode de transport (p.ex., vélo, marche et utilisation des transports publics).

Le rapport est rédigé de manière à permettre la lecture des différents chapitres indépendamment les uns des autres. Toutefois, nous vous conseillons de lire l'intégralité du rapport pour avoir un aperçu complet.

Le chapitre 2 de ce rapport met l'accent sur les informations relatives à la mobilité, qui ont été collectées par le biais d'une enquête par questionnaire auprès d'utilisateurs réguliers et non réguliers (ou non utilisateurs) de trottinettes électriques, de vélos et de vélos électriques, au moyen d'un échantillon national représentatif de la population belge de 1 088 répondants. Ce chapitre a pour but de fournir des informations supplémentaires sur les aspects de la mobilité qui sont encore peu explorés à ce jour.

Le chapitre 3 traite de l'impact environnemental des trottinettes électriques. Cette question a été étudiée au moyen d'une évaluation du cycle de vie et d'une évaluation de l'impact environnemental et ce, sur la base de la littérature récente.

Ensuite, les chapitres 4 et 5 traitent de la sécurité routière. Le chapitre 4 étudie les comportements des utilisateurs de trottinettes électriques et des cyclistes au moyen d'une étude d'observation des comportements et des conflits dans des espaces partagés avec des piétons, des cyclistes et des utilisateurs de trottinettes électriques à Bruxelles. Le chapitre 5 aborde ensuite les accidents et des quasi-accidents (déclarés par les conducteurs), ainsi que les conclusions récentes de la littérature.

Enfin, les chapitres 6 et 7 analysent les résultats et formulent des recommandations.

Pour commencer, nous présentons un aperçu de base concernant les différents dispositifs de mobilité qui ont été pris en compte pour cette recherche, ainsi que les sujets évalués dans ce rapport, à savoir : les caractéristiques des déplacements et la mobilité quotidienne, l'impact environnemental, le comportement des utilisateurs et les accidents.

1.1 Catégorisation

La catégorisation et les termes dans le domaine des dispositifs de mobilité personnelle (DMP) sont divers et peuvent prêter à confusion. Voici quelques définitions visant à clarifier les différentes catégories ainsi que la portée de cette étude. L'ACEM (l'industrie du motorcycle en Europe) a présenté un aperçu des dispositifs de mobilité personnelle. Bien que l'utilisation de ces termes ne soit pas universelle dans la littérature, l'usage de cette catégorisation créée par l'industrie du motorcycle est tout de même cohérent, puisque la plupart de ces dispositifs de mobilité personnelle sont motorisés et peuvent donc être classés dans la catégorie des deux roues motorisés (2RMs). L'ACEM (2021) présente les définitions suivantes :

- DMP (dispositif de mobilité personnelle) : « couvre la plus vaste gamme de produits, y compris les EPAC (vélos électriques) et les cycles motorisés soumis à la réception par type de la classe L1eA. Ce terme est utilisé dans le cadre du processus de définition des politiques lancé par la Commission européenne en 2019. »
- Dispositifs de micromobilité : « Terme générique englobant tout produit destiné au transport de personnes ou de marchandises, autopropulsé ou non, qui ne relève pas actuellement du Règlement (UE) 168/2013 sur la réception par type ou qui n'est ni un vélo, ni un EPAC. »
- PLEV (Engin de déplacement motorisé) : « les engins de déplacement (électriques), couverts par la norme CEN EN17128, qui ne relèvent pas du Règlement (UE) 168/2013 sur la réception par type, qui ne sont ni des vélos, ni des EPAC. »

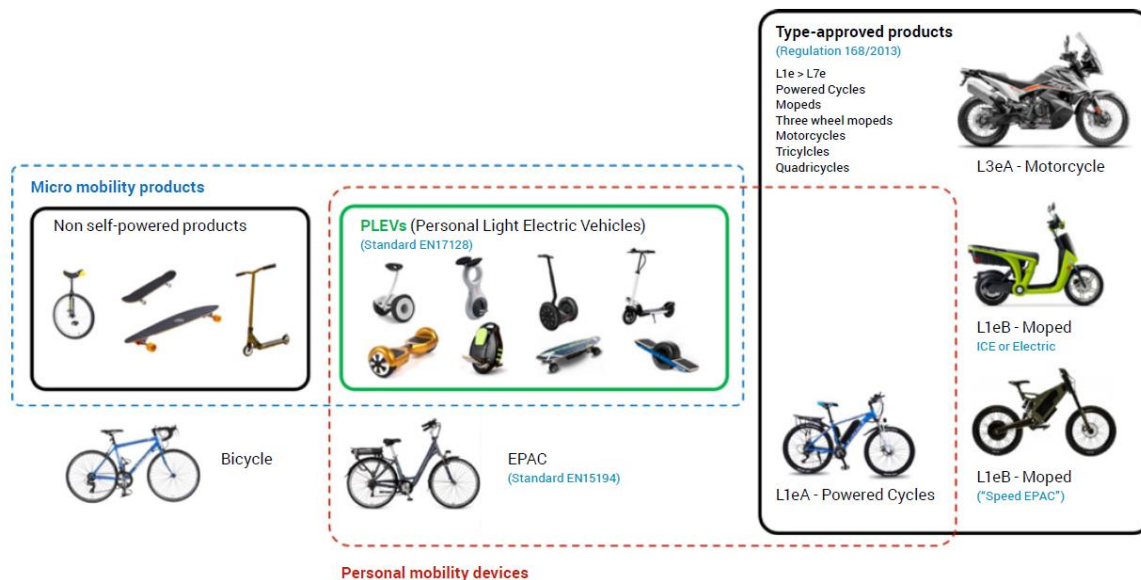


Figure 1: Aperçu des dispositifs de mobilité personnelle, à l'exception des véhicules utilitaires (ACEM, 2021)

Initialement, cette recherche visait à se concentrer sur les dispositifs de mobilité personnelle (DMP) et les vélos classiques (à noter que les vélos classiques ne relèvent pas du champ d'application des DMP selon les définitions précédentes). Toutefois, pour y parvenir, il fallait réduire le large spectre des DMP. Ce rétrécissement a donné lieu à la **sélection de trottinettes électriques, de vélos électriques (EPAC et Cycles motorisés de catégorie L1eA) et de vélos classiques pour cette recherche**. Pour faciliter la collecte des données, les speed pedelecs (c'est-à-dire la catégorie speed EPAC L1eB) ont également été pris en compte dans la catégorie des vélos électriques, même s'ils ne font pas partie de la catégorie des DMP.

Cette sélection spécifique a été réalisée car les DMP sont un type de véhicule relativement récent et le nombre d'études scientifiques à leur sujet est donc limité. Parmi ces études, la plupart se concentrent sur les trottinettes électriques et, en particulier, sur les trottinettes électriques partagées (European Commission, 2021). Actuellement, les trottinettes électriques comptent parmi les dispositifs de micromobilité les plus populaires et les plus utilisés, ce qui accroît la pertinence de cette étude, ainsi que la probabilité de recruter un échantillon suffisamment important d'utilisateurs réguliers pour cette recherche.

1.2 Mobilité

Les DMP ont été conçus à l'origine pour les personnes confrontées à des problèmes de mobilité physique. Toutefois, les nouvelles évolutions technologiques et la congestion chronique des réseaux de transports urbains ont entraîné le développement et la création de nouveaux DMP (European Commission, 2021).

Aujourd'hui, les DMP connaissent un essor commercial (visible dans l'Indice européen de Mobilité partagée¹) et se veulent être un moyen aisé de se déplacer en ville, de promouvoir des modes de transport durables sur de courtes distances en proposant des alternatives à la voiture particulière, et de tenter de résoudre le problème du « dernier kilomètre » (Brannigan et al., 2022; European Commission, 2021; Vias institute, 2021). Le problème du dernier kilomètre décrit les difficultés rencontrées par les personnes qui parcourent le premier ou le dernier kilomètre entre leur point de départ ou leur destination finale et un pôle de transport public. L'utilisation de trottinettes électriques privées ou partagées peut être considérée comme une solution à ce problème. Toutefois, il semblerait que les trottinettes électriques partagées sont principalement utilisées pour les activités de loisirs, pendant le week-end et par des hommes jeunes, tandis que les trottinettes électriques privées sont plus souvent utilisées pour les déplacements entre le domicile et le travail (European Commission, 2021).



Figure 2: Dispositif DMP précoce

¹ European Shared Mobility Index : présente un aperçu trimestriel du marché dans 20 villes sélectionnées afin de souligner la diversité en termes de taille, de géographie et de caractéristiques du marché. L'indice englobe les vélos, les trottinettes, les cyclomoteurs et les voitures partagés (Polis, 2022)

Les DMP peuvent contribuer aux objectifs locaux de durabilité en réduisant la dépendance à l'égard de la voiture (embouteillages, bruit, retards, stress), en améliorant l'accessibilité et la mobilité dans les zones urbaines, en remplaçant les déplacements en voiture particulière et en induisant ainsi un transfert modal (Brannigan et al., 2022). Les trottinettes électriques, en particulier, pourraient remplacer jusqu'à la moitié des trajets en voiture dans les villes, laissant penser qu'elles deviendront un mode de transport important dans les zones urbaines (Vias institute, 2021). Toutefois, les conclusions des études diffèrent en grande partie quant à la mesure dans laquelle les trottinettes électriques remplaceront effectivement les déplacements en voiture (De Ceunynck et al., 2021).

Voici d'autres avantages souvent cités (Brannigan et al., 2022; Vias institute, 2021):

- Leur prix abordable et leur rentabilité
- Une meilleure accessibilité dans les zones urbaines
- Un effort physique réduit par rapport au vélo (ce qui permet de transpirer moins et de porter plus facilement des vêtements de bureau)
- Elles sont plus respectueuses de l'environnement que les véhicules à moteur (voir la section 1.3)
- Commodité et flexibilité
- Compatibilité avec d'autres modes de transport (p.ex., transports publics)

Les défis potentiels sont néanmoins cités également. Les critiques soutiennent que les trottinettes électriques inciteront les individus à marcher moins (European Commission, 2021), et qu'un transfert modal pourrait se produire des vélos et des transports publics vers les trottinettes électriques, ce qui réduirait l'activité physique et les avantages pour la santé qui y sont associés (Brannigan et al., 2022).

Bien que les informations sur la mobilité par ces DMP soient de plus en plus nombreuses, il reste encore beaucoup de travail à faire sur l'étude de cette mobilité. D'une part, certains enseignements sont rapidement dépassés en raison de l'évolution constante de l'utilisation, de la croissance du secteur et des changements sociétaux (p.ex., la pandémie de COVID-19). D'autre part, le lien direct entre l'utilisation des modes de DMP et des vélos classiques est rarement établi dans la même étude. Alors que les chiffres sont souvent comparés entre les études (chacune avec ses propres limites), tentant d'estimer ainsi le transfert modal, une comparaison directe entre les utilisateurs réguliers et les utilisateurs non réguliers de ces différents modes de transport est rarement établie. C'est dans cette optique que cette étude explore les caractéristiques de mobilité des trottinettes électriques, des vélos et des vélos électriques.

1.3 Incidences sur l'environnement

En ce qui concerne les dispositifs de micromobilité, et plus particulièrement les trottinettes électriques, leur impact environnemental est souvent remis en question. Récemment, des préoccupations ont été soulevées concernant l'empreinte carbone de leur cycle de vie, laquelle a également été remise en question pour les VE. En outre, l'on trouve de grandes différences dans la littérature récente en ce qui concerne les émissions de CO₂ (en grande partie indirectes) des trottinettes électriques. À titre d'exemple, nous pouvons observer des différences allant de 36 g et 60 g de CO₂/km à 165 g CO₂/km, ce dernier chiffre étant similaire à celui d'une voiture particulière (de Bortoli, 2021; Hollingsworth et al., 2019; Kazmaier et al., 2020; Licata, 2021; Moreau et al., 2020; Severengiz et al., 2020).

Les avantages allégués des trottinettes électriques sont notamment la possibilité de réduire les embouteillages et les émissions de gaz à effet de serre (Brannigan et al., 2022), par rapport à d'autres modes de transport. Il est toutefois difficile d'évaluer ces allégations sans cadre d'analyse approprié. Par exemple, puisque les trottinettes électriques n'ont pas de tuyau d'échappement, elles n'émettent pas directement de gaz à effet de serre. Cependant, leur empreinte carbone secondaire est considérable en raison d'autres phases de leur cycle de vie, comme les processus de fabrication, de recharge et d'entretien. Pour identifier correctement l'impact sur l'environnement des différentes étapes du cycle de vie d'une trottinette électrique, il convient de réaliser une analyse du cycle de vie.

Alors que les trottinettes électriques privées peuvent être utilisées quand l'utilisateur le souhaite, les trottinettes électriques partagées sont mises à la disposition du public par des fournisseurs de services moyennant une redevance, constituée de frais d'activation complétés par un tarif fixe par minute d'utilisation. Une fois arrivé à destination, l'utilisateur laisse la trottinette électrique partagée sur le domaine public, de préférence sans gêner les autres usagers de la route (sans station), ou aux emplacements de stationnement prévus à cet effet, conformément aux réglementations locales et aux politiques de l'entreprise. Par conséquent,

c'est principalement l'entreprise qui fournit le service qui s'occupe de la recharge et de l'entretien des trottinettes électriques et qui doit prendre en compte l'incidence de son service sur l'environnement.

À mesure que le marché se développe, une évaluation rigoureuse des avantages et des risques environnementaux potentiels prend de plus en plus d'importance. Des experts estiment que le marché mondial des trottinettes électriques partagées connaîtra un boom et passera de 774 000 unités en 2019 à plus de 4 millions de trottinettes électriques partagées en service dans le monde en 2024 (The Brussels Times, 2020).

Étant donné que le marché des trottinettes électriques se développe rapidement (tant pour les particuliers que pour l'utilisation partagée), les effets sur l'environnement doivent souvent faire l'objet de réévaluations. Il existe de grandes différences entre les générations de trottinettes électriques (p.ex., au niveau de la durée de vie de la trottinette électrique, des stratégies d'entretien et de recyclage, etc.), pouvant donner lieu à une évaluation dépassée de leur performance. Voilà pourquoi il est essentiel de se faire une idée de la performance environnementale de la génération actuelle de trottinettes électriques, par exemple au moyen d'une étude d'impact environnemental. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, il n'est pas certain qu'un cadre juridiquement contraignant existe pour une telle évaluation.

1.4 Comportement de conduite

Les DMP partagent le même espace que les piétons², les cyclistes et/ou le trafic motorisé, selon l'endroit. Non seulement leur masse est plus importante que les piétons, mais ils se déplacent également à plus grande vitesse (tout comme les cyclistes), ce qui peut être source de conflits. Par ailleurs, les DMP sont silencieux et équipés d'un éclairage moins visible, ce qui rend difficile pour les autres usagers de la route d'anticiper leur présence (European Commission, 2021). Cela semble être particulièrement le cas dans des espaces partagés, tels que des zones piétonnes, où ces différents usagers de la route sont mélangés, pouvant entraîner ainsi des problèmes de sécurité (Martensen et al., 2021). En outre, de plus en plus de villes reçoivent des plaintes concernant des situations dangereuses dans ces espaces partagés en raison de la présence d'utilisateurs de DMP (en particulier de trottinettes électriques) (European Transport Safety Council, 2022).

Le comportement de conduite des utilisateurs de DMP (et surtout de trottinettes électriques) est crucial pour la sécurité routière. Les opérateurs doivent assumer leurs responsabilités et fournir à chacun un service sûr (European Transport Safety Council, 2022). Les comportements irresponsables tels que les excès de vitesse, la circulation sur les trottoirs, le stationnement aléatoire, le vandalisme, etc. sont des aspects négatifs souvent relatés dans les médias (Vias institute, 2021). Par conséquent, les décideurs politiques s'inquiètent du comportement des utilisateurs de trottinettes électriques. Bien que de plus en plus d'études soient réalisées aujourd'hui, les connaissances sur les comportements réels sont encore limitées. La plupart des informations récupérées concernent des études hospitalières et quelques études d'observation (limitées) (Vias institute, 2021). Par conséquent, l'accent est souvent mis sur l'alcool au volant, le port du casque, la vitesse maximale, la place sur la chaussée et le stationnement (European Commission, 2021). Malheureusement, les conflits ne font pas souvent l'objet de recherches.

Pourtant, une meilleure compréhension des comportements et des conflits qui concernent les utilisateurs de trottinettes électriques et les cyclistes dans les espaces partagés est nécessaire. Voilà pourquoi une étude d'observation des comportements et des conflits est réalisée dans le cadre de cette recherche afin de mieux comprendre cet aspect peu exploré de la sécurité des trottinettes électriques, notamment les différences entre les vélos et les vélos électriques dans ces mêmes situations.

1.5 Accidents

Bien que les trottinettes électriques, les vélos électriques et les vélos présentent des avantages indéniables, des questions se posent quant aux dangers des DMP. Alors qu'ils ont été introduits pour réduire le trafic motorisé, nous observons une augmentation du nombre de blessures (European Commission, 2021).

² À partir du 1^{er} juillet 2022, les DMP ne sont plus autorisés à utiliser les trottoirs en Belgique (sauf pour les utilisateurs à mobilité réduite). Cependant, ils partagent toujours le même espace dans les rues commerçantes, les zones piétonnes, les espaces partagés, etc.

En 2021, 34 640 accidents corporels impliquant un vaste éventail de modes de transport ont été enregistrés officiellement sur le réseau routier belge. Par rapport au nombre d'accidents corporels survenus en 2019 sur le réseau routier belge (soit 37 719 accidents corporels), une baisse de 8 % a pu être constatée en 2021. Cependant, au cours de cette même période, 1 034 accidents corporels impliquant des trottinettes électriques ont été enregistrés en 2021, soit une augmentation de 153 % par rapport à 2020 (année non référencée en raison de la COVID-19) et même une augmentation de 491 % par rapport à 2019. Il y a donc une forte augmentation des accidents corporels impliquant des trottinettes électriques, parallèlement à une diminution du nombre total d'accidents corporels impliquant d'autres modes de transport. En effet, l'augmentation substantielle de l'exposition peut expliquer une grande partie de cette hausse car une croissance annuelle de 124 % des déplacements a pu être observée en 2021 par rapport à 2020 (Fluctuo, 2022). Quoi qu'il en soit, ces statistiques d'accidents suscitent l'inquiétude des décideurs politiques et des experts en sécurité routière. D'autant plus que les accidents impliquant des trottinettes électriques sont associés à un manque de statistiques et d'informations (bien que l'enregistrement des accidents se soit amélioré dernièrement). Si les informations sur les accidents impliquant des vélos et des vélos électriques sont facilement disponibles, les informations sur les accidents impliquant des trottinettes électriques sont, quant à elles, encore rares. Ce n'est que récemment qu'une première étude sur les causes des accidents³ a été réalisée en Belgique par De Vos & Sloomans (2023), qui présente un aperçu d'accidents corporels impliquant des trottinettes électriques pour lesquels la présence de la police était nécessaire.

En outre, les accidents ne brossent qu'un tableau partiel des problèmes liés à la sécurité routière, en raison de leur rareté (De Ceunynck, 2017). Nous supposons qu'ils ne reflètent pas la réalité globale en raison d'une sous-déclaration des accidents, qui est vraisemblablement très présente dans les accidents impliquant des trottinettes électriques. Les données des hôpitaux sont souvent utilisées en guise de solution. Bien que fournissant, dans certains cas, plus d'informations que les statistiques officielles sur les accidents, le problème de la sous-déclaration est toujours présent puisque, heureusement, tous les accidents n'entraînent pas une visite à l'hôpital. Voilà pourquoi il est intéressant d'utiliser une approche axée sur les quasi-accidents ou les accidents déclarés par les intéressés. Lorsque les études sur les quasi-accidents font appel à des méthodologies bien conçues, la collecte des accidents déclarés par les intéressés est un processus assez simple et direct. L'autodéclaration des accidents est un outil utile qui peut servir de méthode complémentaire en vue d'obtenir davantage d'informations quant aux événements, ainsi que pour combler les lacunes dues à la sous-déclaration des accidents. Toutefois, il importe de reconnaître le principal problème lié à l'autodéclaration qui concerne la possibilité de donner une réponse socialement souhaitable et d'oublier les accidents mineurs survenus il y a plus longtemps (Kamaluddin et al., 2018).

Étant donné qu'un questionnaire était prévu dans cette étude pour recueillir des informations sur la mobilité, nous avons saisi l'occasion d'ajouter des questions sur les accidents et les quasi-accidents déclarés par les intéressés. Avec la section de cette étude consacrée aux quasi-accidents par le biais de notre observation des conflits et les informations sur les accidents par le biais de (De Vos & Sloomans, 2023), nous pouvons obtenir une meilleure vue d'ensemble des accidents impliquant des trottinettes électriques et des graves conflits.

³ L'étude sur la cause des accidents par De Vos & Sloomans (2023), réalisée parallèlement à la présente étude, peut constituer un bon complément au présent rapport. En outre, elle peut permettre d'établir une comparaison avec les informations de la présente étude sur l'observation et sur les accidents déclarés par les conducteurs.

2 Les DPM et leur mobilité




2.1 Méthodologie

Afin d'obtenir plus d'informations sur l'utilisation régulière et non régulière des trottinettes électriques, des vélos électriques et des vélos classiques, nous avons réalisé une étude par questionnaire.

Des groupes cibles ont été créés sur la base des trois modes de transport concernés (c'est-à-dire les trottinettes électriques, les vélos et les vélos électriques y compris les speed pedelecs). Pour chacun des groupes cibles, nous avons défini 2 sous-groupes, à savoir les utilisateurs réguliers et les utilisateurs non réguliers des modes de transport concernés. Ainsi, six groupes de répondants ont été formés au total : utilisateurs réguliers de trottinettes électriques, utilisateurs non réguliers de trottinettes électriques, utilisateurs réguliers de vélos électriques, utilisateurs non réguliers de vélos électriques, utilisateurs réguliers de vélos classiques, utilisateurs non réguliers de vélos classiques.

Afin de catégoriser les utilisateurs réguliers et les utilisateurs non réguliers, une distinction a été établie en fonction de la fréquence d'utilisation. Le questionnaire commençait par un sous-questionnaire de sélection, composé d'une section demandant des informations de type démographique et d'une section visant à catégoriser le répondant dans l'une des six catégories (comme indiqué dans le tableau 1). Les personnes qui utilisent l'un de ces modes de transport chaque jour ou chaque semaine sont considérées comme des utilisateurs réguliers, tandis que les utilisateurs non réguliers sont considérés comme des personnes qui utilisent le mode de transport moins souvent qu'une fois par semaine voire pas du tout.

Tableau 1: Question de sélection

	Je l'utilise quotidiennement	Je l'utilise chaque semaine	Je l'utilise plusieurs fois par mois	Je l'utilise ≤ 1 par mois	Je l'ai utilisé dans le passé mais plus maintenant	Je ne l'utilise pas
 Trottinette électrique	a)	b)	c)	d)	e)	f)
 Vélo électrique	a)	b)	c)	d)	e)	f)
 Vélo classique	a)	b)	c)	d)	e)	f)

Le questionnaire approprié a été proposé sur base des réponses des personnes interrogées dans le sous-questionnaire de sélection. Si les participants utilisaient plusieurs modes de transport, la priorité a été donnée au questionnaire qui s'adressait aux utilisateurs les plus difficiles à atteindre (p.ex., si une personne utilisait une trottinette électrique et un vélo toutes les semaines, elle recevait le questionnaire sur la trottinette électrique plutôt que celui sur le vélo). Pour les utilisateurs non réguliers, la même approche a été utilisée de manière inverse, en se concentrant principalement sur les modes de transport que nous pensons être les plus utilisés (p.ex., si un répondant indique qu'il n'utilise aucun des modes de transport, la priorité est donnée au questionnaire sur le vélo, car les utilisateurs non réguliers de vélo sont plus difficiles à trouver que des utilisateurs non réguliers de trottinette électrique ou de vélo électrique).

Le questionnaire a été envoyé à un échantillon représentatif à l'échelle nationale via un institut de sondage. Des objectifs de nombres de répondants ont été fixés pour chacun des groupes. Pour les utilisateurs non réguliers de chaque mode de transport, un objectif de 250 répondants a été fixé. Pour les utilisateurs réguliers, 120 participants ont été prévus (les groupes d'utilisateurs étant plus difficiles à trouver). Les questionnaires envoyés étaient identiques, ceux-ci ne différaient que par le mode de transport dont il était question.

L'échantillonnage a toujours été représentatif au niveau national. Les différents groupes ont été composés automatiquement sur la base des réponses des personnes interrogées. Une fois qu'une catégorie de répondants était complète, l'échantillonnage continuait pour les autres catégories tout en restant représentatif au niveau national. Cet échantillonnage s'est poursuivi jusqu'à ce que toutes les catégories définies atteignent la taille cible (c'est-à-dire 250 utilisateurs non réguliers et 120 utilisateurs réguliers pour chaque moyen de transport). Seul le groupe des utilisateurs réguliers de trottinette électrique a eu besoin d'un petit coup de pouce pour atteindre la taille cible souhaitée.

Au total, l'échantillon se composait de 1088 participants. Cependant, pour atteindre cette taille d'échantillon, il a fallu sélectionner beaucoup plus de répondants afin de rester représentatif vis-à-vis de la population nationale (p.ex., pour respecter les objectifs prédéfinis de 500 répondants, beaucoup plus de répondants ont complété le questionnaire de sélection). Pour chaque mode de transport concerné, environ 250 utilisateurs non réguliers (soit 22 % de l'échantillon total pour chaque mode de sport) ont pu être atteints. Pour les vélos électriques et les vélos classiques, 120 utilisateurs réguliers (11 % de l'échantillon total pour chaque mode de transport) ont pu être identifiés, tandis que pour les trottinettes électriques, 90 utilisateurs réguliers (8 % de l'échantillon total) ont été recrutés (suite au nettoyage des données, une partie des répondants a dû être éliminée).

Il convient de noter qu'une surreprésentation des utilisateurs réguliers de trottinettes électriques a été observée dans la province du Hainaut (peut-être en raison de l'augmentation du nombre d'utilisateurs réguliers de trottinettes électriques ou de l'essor récent des systèmes de location de trottinettes électriques, qui se sont avérés très populaires à Charleroi).

La figure 3 montre que le vélo classique est utilisé le plus souvent, tandis que les trottinettes électriques sont utilisées le moins souvent.

Taux d'utilisation des modes de transport étudiés (N=1088)

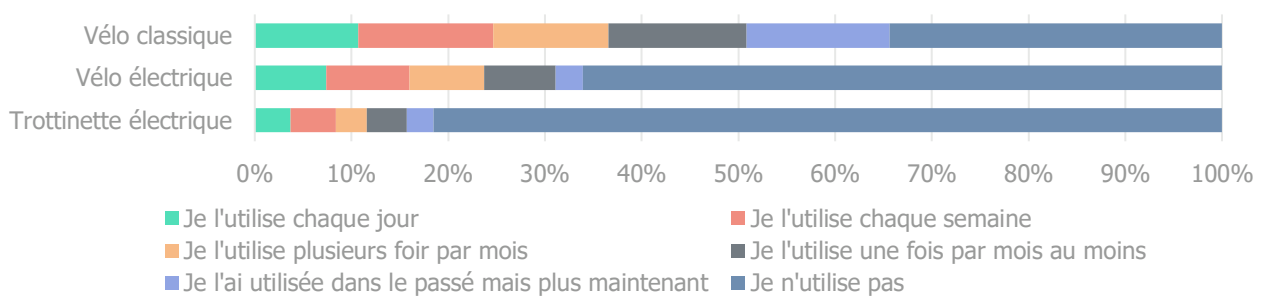


Figure 3: Le taux d'utilisation des trottinettes électriques, des vélos électriques et des vélos classiques

Les questions portaient sur les informations démographiques, la répartition modale, la disponibilité des modes de transport, l'accessibilité des modes de transport, les distances parcourues et les raisons d'utiliser (ou de ne pas utiliser) l'un des modes de transport sélectionnés.

2.2 Description de l'échantillon

Les résultats montrent une différence significative d'un point de vue statistique au niveau du sexe, les hommes étant légèrement plus présents que les femmes dans chacune des catégories d'utilisateurs réguliers (soit environ 2 % d'utilisateurs masculins de plus que d'utilisateurs féminins). Nous observons le contraire pour les utilisateurs non réguliers.

Un âge moyen de 48 ans a été observé dans l'échantillon total. Les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques et les utilisateurs réguliers de vélos classiques affichent clairement un âge moyen inférieur (respectivement 37 et 44 ans), tandis que les utilisateurs réguliers de vélos électriques affichent un âge moyen supérieur (52 ans). Cette différence d'âge est également visible dans la figure 4, au niveau des différentes catégories d'âge. Les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques sont généralement plus jeunes, tandis que les utilisateurs réguliers de vélos électriques ont tendance à être plus âgés. Il semble y avoir une répartition plus homogène pour les utilisateurs réguliers de vélos classiques. Il convient de mentionner que les jeunes se tournent de plus en plus vers les vélos électriques (De Maeseneer, 2018; Service public fédéral Mobilité et Transports, 2022). Néanmoins, une part de 20,6 % d'utilisateurs de vélos électriques de moins de 36 ans est conforme à d'autres données recueillies récemment sur le vélo en Belgique (Service public fédéral Mobilité et Transports, 2022).

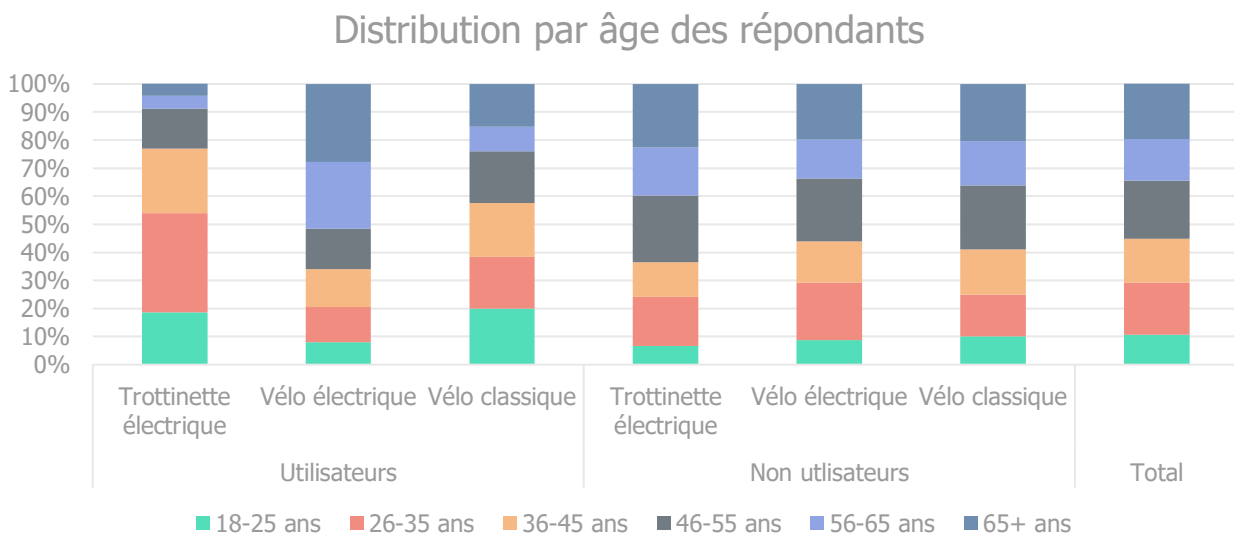


Figure 4: Distribution par âge des utilisateurs réguliers et des utilisateurs non réguliers des différents modes de transport concernés

En ce qui concerne l'activité principale/la profession des répondants, la majorité d'entre eux sont des employés à temps plein, suivis des retraités. Les autres activités/professions principales sont moins souvent citées (c'est-à-dire les indépendants, les étudiants, les femmes/hommes au foyer, les handicapés et les chômeurs). Ici, nous pouvons également observer certaines différences, qui peuvent être liées aux différences d'âge constatées précédemment.

Comme le montre la figure 5, les utilisateurs réguliers de vélos classiques semblent être davantage des étudiants et des salariés, mais moins des retraités, ce qui peut expliquer la répartition plus homogène des catégories d'âge et de l'âge moyen des utilisateurs réguliers de vélos classiques. Leur plus faible coût de possession pourrait expliquer leur popularité auprès des étudiants (et en partie auprès des employés), tandis que les personnes plus âgées peuvent être rebutées par l'effort physique plus important nécessaire pour faire avancer le vélo par rapport à un vélo électrique. Ce dernier point peut expliquer la proportion nettement plus élevée d'utilisateurs réguliers de vélos électriques parmi les retraités.

En ce qui concerne les trottinettes électriques, le nombre d'employés est largement plus élevé, tandis que le nombre de retraités est nettement plus faible. Les étudiants utilisent aussi un peu plus souvent ce mode de transport. La nature de la trottinette électrique (plutôt rapide, instable, etc.) la rend probablement moins populaire auprès des personnes âgées, tandis que sa flexibilité la rend probablement plus populaire auprès des employés (p.ex., pour le dernier kilomètre) et des étudiants.

Activité principale des répondants

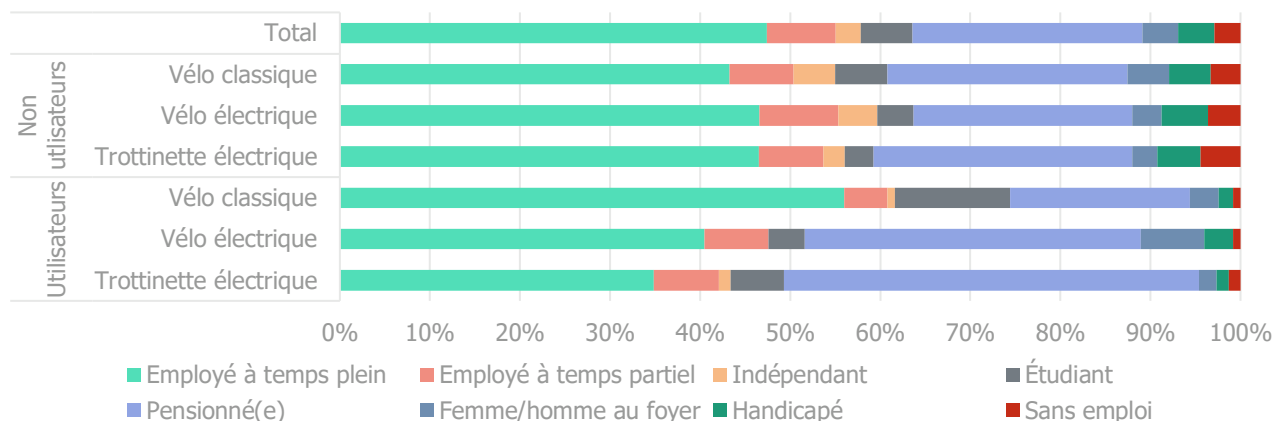


Figure 5: Activité principale des répondants

Le niveau d'éducation montre que la majorité de l'échantillon est titulaire d'un diplôme de l'enseignement secondaire (50 %), d'un diplôme de baccalauréat (28 %) ou d'un diplôme de master (17 %). Il montre également que les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques ont tendance à être plus instruits que les utilisateurs réguliers et les utilisateurs non réguliers des autres modes de transport. Les autres modes de transport affichent des différences moins prononcées.

Différents niveaux de revenus (nets des ménages) ont également pu être observés au sein de l'échantillon, avec une grande partie des répondants ayant un revenu faible à moyen (c'est-à-dire <4.500€ par mois). D'un point de vue statistique, nous observons des différences significatives entre les utilisateurs réguliers et les utilisateurs non réguliers, mais elles sont plutôt faibles et négligeables. Les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques ont généralement un revenu net inférieur à celui des utilisateurs réguliers d'autres modes de transport (peut-être parce qu'un plus grand nombre de répondants ont préféré ne pas répondre).

Si nous tenons compte de la répartition géographique, les résultats montrent que les vélos et les vélos électriques sont plus populaires en Flandre, tandis que les trottinettes électriques présentent une répartition plus homogène, avec une part légèrement plus importante d'utilisateurs réguliers vivant à Bruxelles, à Liège et dans le Hainaut. Parmi les utilisateurs non réguliers, nous constatons une répartition plus homogène, comparable à celle des habitants de chaque province.

Les domiciles de ces utilisateurs réguliers sont également bien répartis en ce qui concerne le milieu de vie (c'est-à-dire urbain, suburbain, périphérique et rural). La figure 6 montre que les utilisateurs réguliers vivent plus souvent dans un environnement urbain (ou plus proche de celui-ci) que les utilisateurs non réguliers. C'est surtout chez les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques que la proportion de personnes vivant dans un environnement urbain (ou à proximité) est la plus élevée. Les vélos électriques sont également populaires en périphérie.

Cadre de vie des répondants

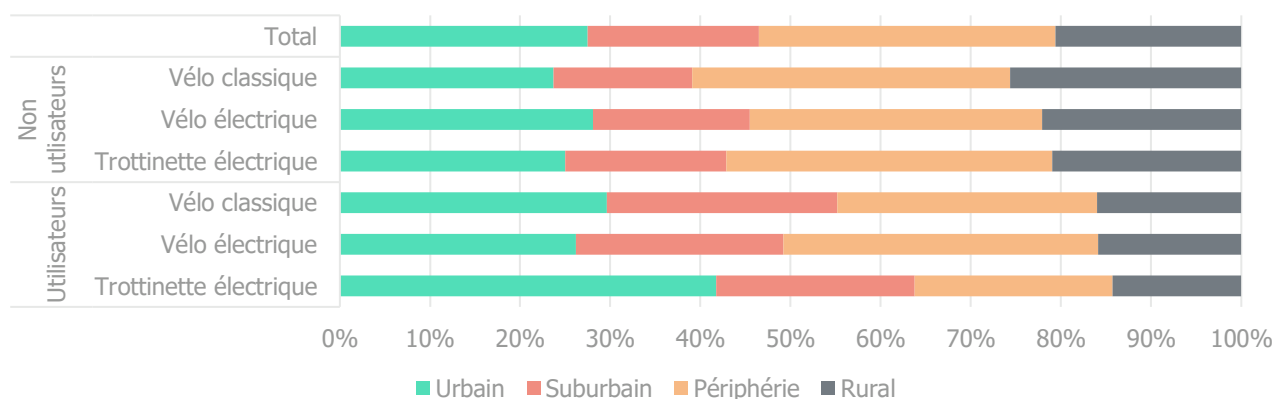


Figure 6: Cadre de vie des répondants

Ensuite, il a été demandé aux répondants s'ils souffraient ou non d'un type quelconque d'invalidité permanente ou de longue durée⁴ (p.ex., syndrome de fatigue chronique, blessure de longue durée, amputation d'un membre ou membre non fonctionnel, etc.). En général, 9,7 % des personnes ayant complété le questionnaire ont indiqué avoir un handicap. Cependant, plus intéressant encore, les données montrent que les personnes handicapées font moins souvent partie des utilisateurs réguliers de vélos classiques et de vélos électriques (soit respectivement 3,2 % et 5,6 %), mais beaucoup plus souvent des utilisateurs réguliers de trottinettes électriques (soit 30,8 %). Sur base de ces résultats, il semble qu'une trottinette électrique présente des avantages potentiels pour les personnes souffrant d'un handicap permanent ou de longue durée. En raison de la diversité des handicaps possibles, il serait important de mener d'autres recherches sur le sujet. Néanmoins, les entretiens avec les opérateurs de trottinettes électriques partagées ont permis d'éclaircir cet aspect, en constatant que, par exemple, les utilisateurs de fauteuils roulants utilisent des trottinettes électriques partagées pour faire avancer leur fauteuil roulant sur de plus longues distances.

Nous avons également examiné la fréquence des activités qui induisent une fatigue physique (p.ex., la course à pied, le cyclisme, le travail dans un secteur intensif en travail manuel, etc.). La figure 7 montre que les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques, de vélos électriques et de vélos classiques sont plus actifs physiquement que les utilisateurs non réguliers. Les utilisateurs réguliers du vélo sont les plus actifs physiquement, peut-être en raison de la nature justement active de ce mode de transport.

Fréquence de la pratique d'une activité physique

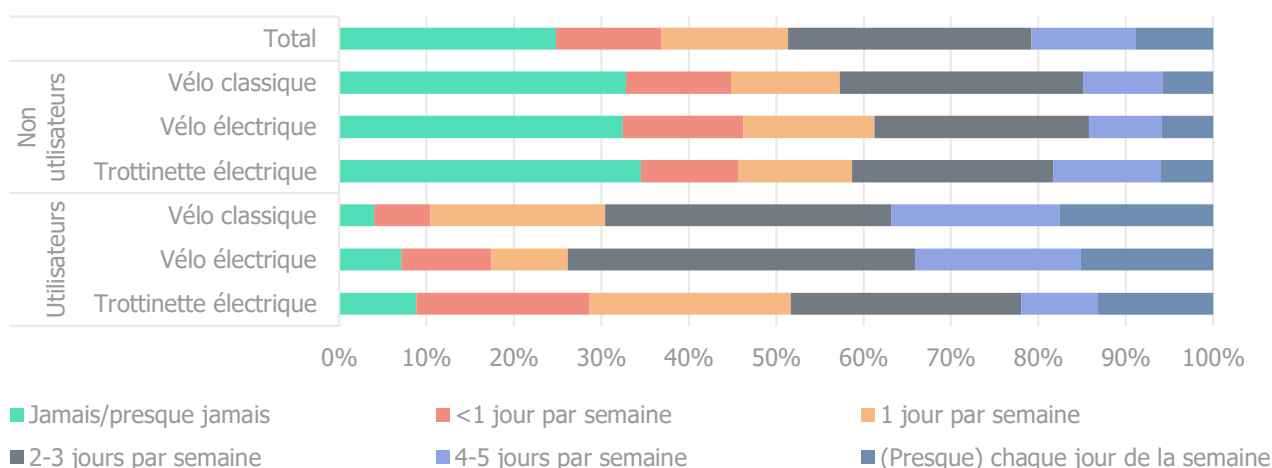


Figure 7: La fréquence à laquelle les participants pratiquent une activité physique quelconque

Enfin, comme le montre la figure 8, les différences entre les utilisateurs réguliers et les utilisateurs non réguliers sont négligeables en ce qui concerne la possession d'un permis de conduire, sauf pour les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques. Ceux-ci sont moins souvent détenteurs d'un permis de conduire quel qu'il soit. 28 % des utilisateurs réguliers de trottinettes électriques ne possèdent pas de permis de conduire. Pour les autres utilisateurs réguliers et non réguliers, nous observons une fourchette allant de 12 % à 20 %.

⁴ Fondé sur la question : « Avez-vous un handicap/une invalidité permanent(e) ou de longue durée qui vous empêche d'utiliser des moyens de transport actifs « normaux » ? (p.ex., bras amputé, blessure de longue durée, fatigue chronique, qui vous empêcherait de vous déplacer avec une trottinette ou un vélo normal) »

Possession du permis de conduire

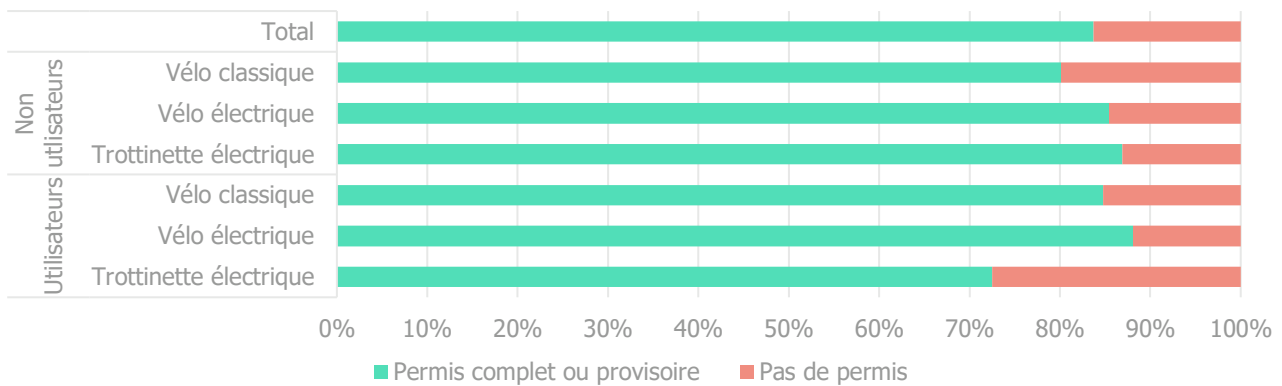


Figure 8: La proportion d'utilisateurs réguliers et d'utilisateurs non réguliers des modes de transport concernés qui sont titulaires d'un permis de conduire

2.3 Répartition modale

Nous avons également examiné les informations modales afin d'obtenir un aperçu plus détaillé des modes de transport utilisés.

La figure 9 donne tout d'abord un aperçu de la possession des modes de transport. Dans l'échantillon total, sans faire de distinction entre les utilisateurs réguliers et les utilisateurs non réguliers, il est clair que la possession d'une voiture est la plus fréquente (le ménage possède le plus souvent une ou deux voitures, ce qui est conforme aux données MONITOR (SPF Mobilité et Transports, 2022)). Outre la voiture, la possession d'un vélo classique est également très fréquente. Il n'est pas rare de posséder plusieurs vélos, même chez les personnes considérées comme utilisateur non régulier. Pour les vélos électriques, le taux de possession est beaucoup plus faible. Cela pourrait s'expliquer par le coût plus élevé d'un vélo électrique, puisque les répondants ayant un revenu plus faible indiquent plus souvent ne pas en posséder. Posséder une trottinette électrique à titre privé est assez peu courant.

Nombre de modes de transport possédés par le ménage (N=1088)

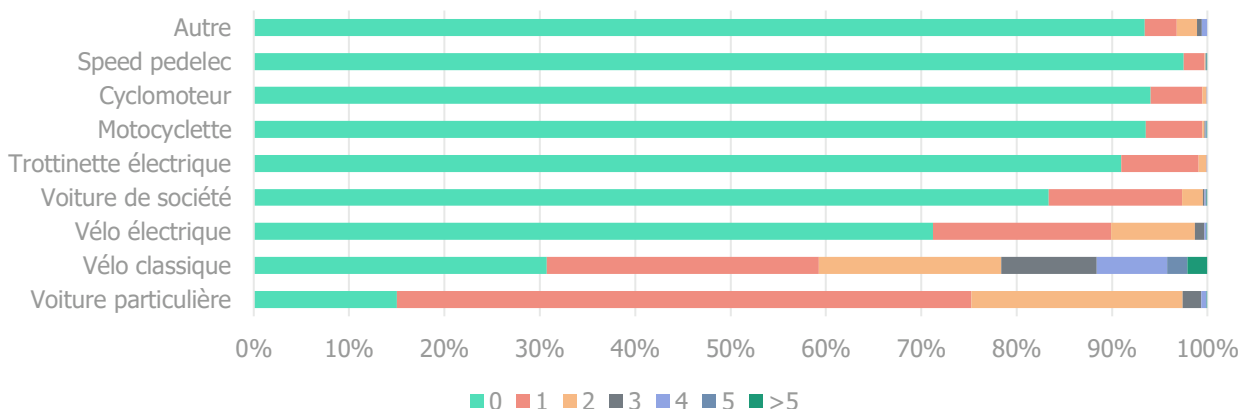


Figure 9: Le nombre de modes de transport détenus dans le ménage des participants.

Par la suite, une différenciation a été établie, en se concentrant uniquement sur les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques, de vélos électriques et de vélos classiques, entre ceux qui utilisent ces moyens de transport via un opérateur de trottinettes électriques ou de vélos partagés et ceux qui utilisent la/le leur. La figure 10 montre que les utilisateurs réguliers de vélos électriques et de vélos classiques possèdent principalement leur vélo à titre privé. L'utilisation partagée est très marginale (< 3 %) et est légèrement plus élevée pour les vélos classiques.

Bien que les propriétaires de trottinette électrique étaient marginaux dans l'échantillon total (tous les utilisateurs réguliers et non réguliers), environ 2 utilisateurs réguliers de trottinettes électriques sur 3 utilisent une trottinette électrique privée. Les trottinettes électriques partagées sont utilisées ou ont été utilisées par 70 % des utilisateurs réguliers de trottinettes électriques (40 % indiquent qu'ils les utilisent actuellement et 30 % indiquent qu'ils en ont utilisé dans le passé mais plus aujourd'hui, ce qui pourrait être un effet de la pandémie de COVID-19 et de l'augmentation du télétravail). 30 % des utilisateurs réguliers de trottinettes électriques n'ont pas recours à un système partagé. Toutefois, il convient de préciser qu'une personne peut utiliser à la fois un dispositif privé et un dispositif partagé.

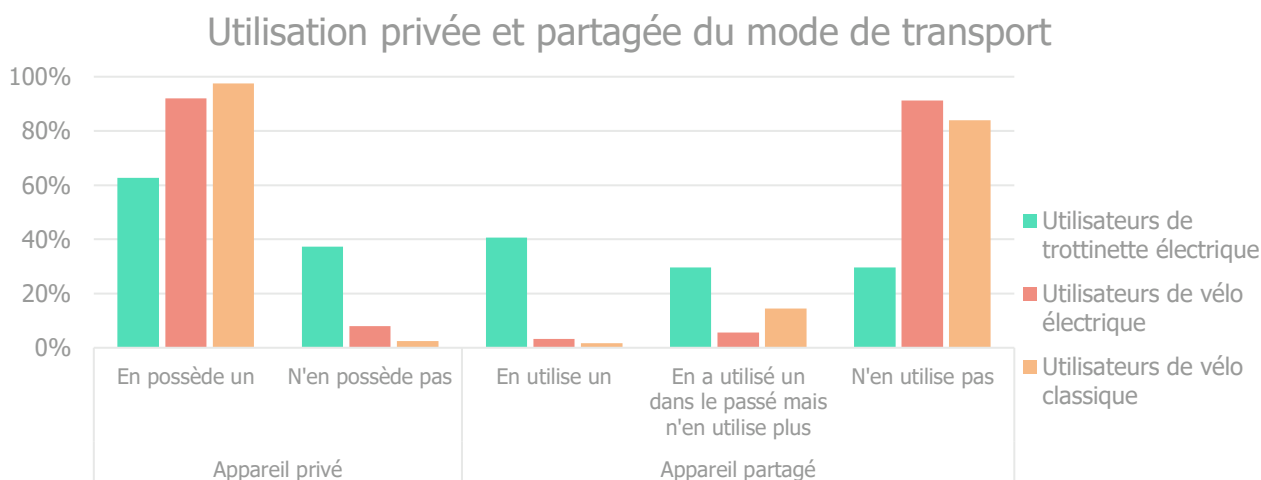


Figure 10: Les parts d'utilisation privée et partagée des modes de transport concernés

Afin de mieux comprendre ce résultat, nous avons examiné en détail, sur la figure 11, les utilisateurs réguliers qui ont indiqué ne pas posséder d'appareil privé et, leur utilisation des appareils partagés.

En ce qui concerne les vélos classiques et les vélos électriques, le nombre d'utilisateurs réguliers ne disposant pas d'un appareil privé est assez bas (< 8 %). Parmi ceux-ci, certains indiquent avoir utilisé un vélo partagé dans le passé mais plus maintenant, ou indiquent spécifiquement ne pas utiliser de vélo partagé.

Parmi les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques qui ne possèdent pas d'appareil privé, 85 % utilisent ou ont utilisé un appareil partagé (41 % utilisent actuellement un appareil partagé et 44 % utilisaient un appareil partagé dans le passé mais plus maintenant, ce qui pourrait s'expliquer en partie par le télétravail dû à la pandémie de COVID). 15 % des utilisateurs réguliers de trottinettes électriques qui ne possèdent pas d'appareil privé déclarent ne pas utiliser non plus de trottinette électrique partagée. Il peut s'agir d'un mode d'utilisation des trottinettes électriques complètement différent comme le partage privé (p.ex., une cohabitation où plusieurs personnes utilisent la même trottinette électrique, l'utilisation de la trottinette électrique d'un voisin, etc.), ou la mise à disposition de trottinettes électriques par l'entreprise (p.ex., pour aller déjeuner, pour aller à une réunion, etc.). En plus, nous ne pouvons pas totalement exclure les réponses erronées.

Utilisation d'un appareil partagé en fonction de la possession d'un appareil privé

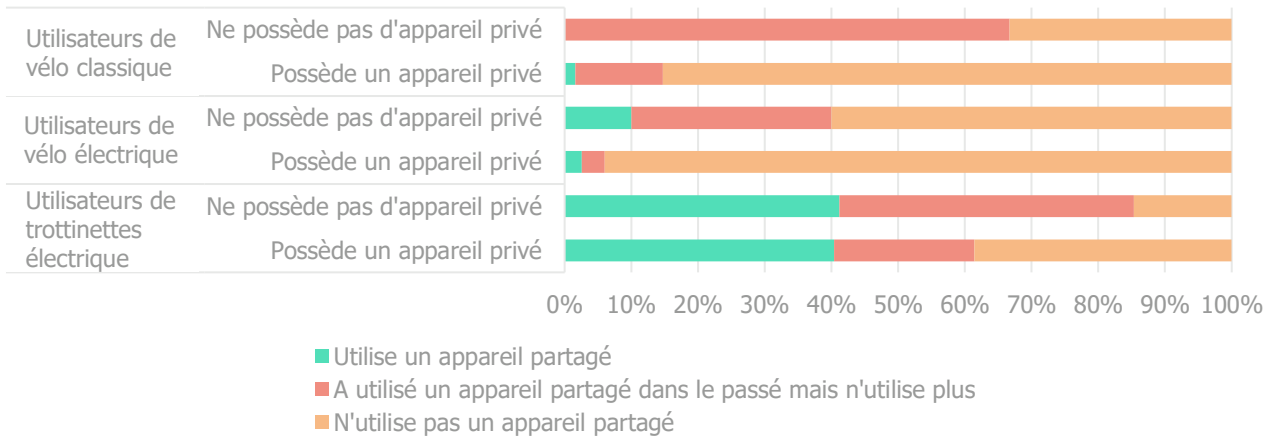


Figure 11: Distribution de l'utilisation d'un appareil partagé lorsqu'un utilisateur régulier ne possède pas d'appareil privé

La figure 12 présente un aperçu complet des différentes utilisations d'une trottinette électrique pour l'ensemble de l'échantillon des utilisateurs réguliers de trottinettes électriques.

Différentes options d'utilisation des trottinettes électriques

- Utilise uniquement une trottinette électrique privée

- Utilise des trottinettes électriques privées et partagées

- Utilise uniquement une trottinette électrique partagée

- N'utilise pas de trottinette électrique privée, a utilisé une trottinette électrique partagée dans le passé mais n'en utilise plus

- N'utilise pas de trottinette électrique privée ou partagée

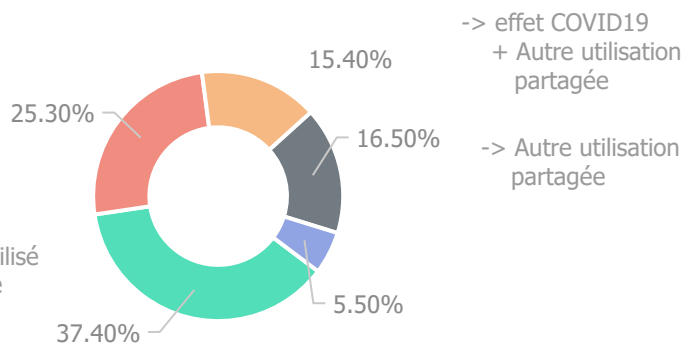


Figure 12: Différents modes d'utilisation de la trottinette électrique par les utilisateurs réguliers

Nous avons ensuite étudié la disponibilité des engins partagés. La figure 13 montre que, pour les utilisateurs réguliers, la disponibilité des trottinettes électriques partagées est la plus élevée. Près de 40 % des utilisateurs réguliers de trottinettes électriques indiquent qu'ils disposent d'un système partagé à proximité (contre 18 % pour les vélos et 12 % pour les vélos électriques). En ce qui concerne les vélos classiques, la plupart des utilisateurs réguliers indiquent que l'engin n'est pas disponible. La proportion la plus élevée est celle d'utilisateurs réguliers et non réguliers de vélos électriques qui ignorent si un engin partagé est disponible.

En général, la plupart des utilisateurs non réguliers indiquent ne pas avoir d'engin partagé à leur disposition ou ne pas savoir s'il en existe un à proximité, ce qui peut expliquer directement leur non-utilisation.

Accès aux dispositifs partagés pour les utilisateurs du mode de transport

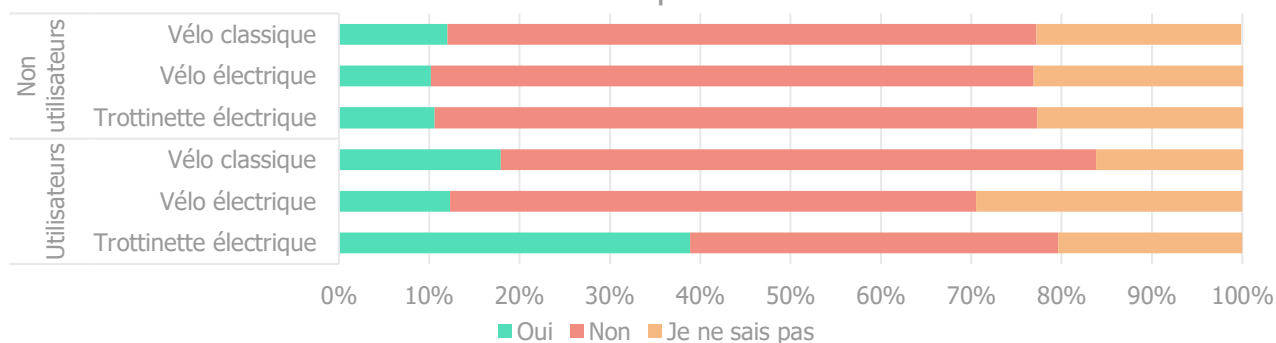


Figure 13: La disponibilité de dispositifs partagés pour chaque mode de transport spécifique

Outre l'utilisation partagée, la disponibilité d'un espace pour entreposer une trottinette électrique, un vélo électrique ou un vélo classique privé en toute sécurité fut également demandée. La figure 14 montre que l'entreposage de ces véhicules est en général possible à domicile pour 88 % des utilisateurs. L'entreposage de ces modes de transport sur le lieu de destination est cependant moins souvent possible (généralement possible pour 53 % des utilisateurs seulement). Dans ce cas, les vélos et les trottinettes électriques peuvent être plus souvent entreposés sur le lieu de destination que les vélos électriques.

Par ailleurs, les utilisateurs non réguliers indiquent plus souvent qu'ils ne sont pas en mesure d'entreposer la trottinette électrique ou le vélo à la maison ou sur le lieu de destination. Ceci peut expliquer la non-utilisation du mode de transport. Néanmoins, il est également possible que ces utilisateurs non réguliers surestiment l'espace nécessaire à l'entreposage de l'un de ces modes de transport, ou qu'ils ne disposent d'aucune infrastructure de recharge.

La nature plus compacte d'une trottinette électrique peut expliquer pourquoi ce mode de transport est plus facile à entreposer à la fois à la maison et sur le lieu de destination. Le prix plus élevé des vélos électriques et le risque de vol perçu peuvent expliquer l'indisponibilité déclarée d'un espace de stockage sur le lieu de destination, puisque ces appareils nécessitent souvent des espaces d'entreposage verrouillables.

Disponibilité d'un espace pour entreposer le mode de transport en toute sécurité

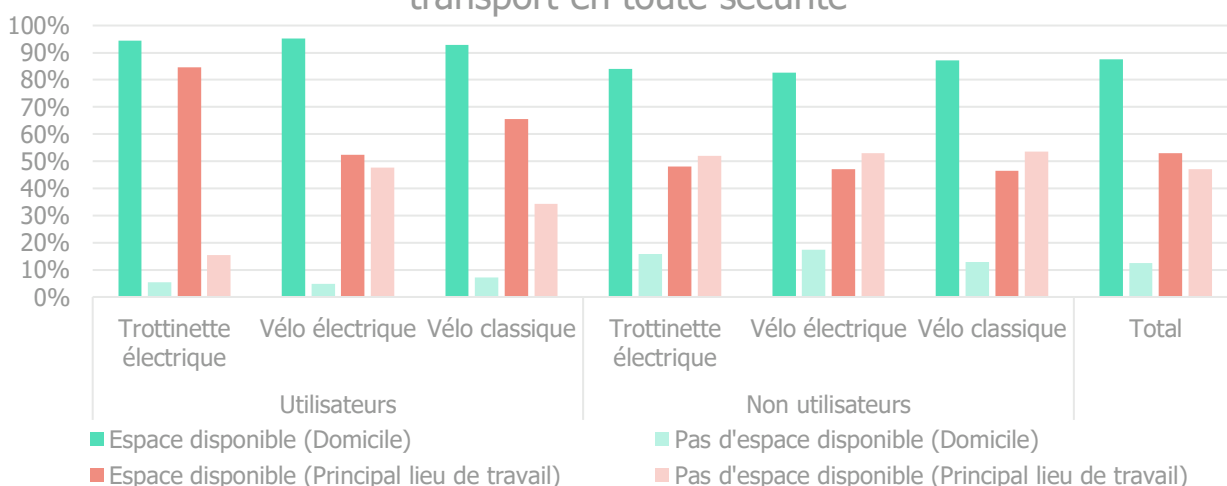


Figure 14: La disponibilité d'un espace pour entreposer le mode de transport en toute sécurité lorsqu'il n'est pas utilisé

D'un point de vue statistique, cette disponibilité d'un espace diffère considérablement en fonction du revenu et de la région du répondant. Nous avons constaté que plus le revenu est faible, plus les répondants indiquent souvent ne pas disposer d'un espace suffisant à la maison ou sur leur principal lieu de destination pour entreposer le mode de transport en toute sécurité. En outre, au niveau régional, les habitants de Bruxelles indiquent plus souvent que ceux des autres régions qu'ils n'ont pas assez d'espace à la maison pour entreposer

le mode de transport en toute sécurité. Plus généralement, le taux d'urbanisation joue un rôle majeur à cet égard, car une personne vivant dans un environnement urbain dispose moins souvent d'espace pour entreposer le mode de transport en toute sécurité.

2.4 Caractéristiques des déplacements et transfert modal

Avant d'examiner les caractéristiques des déplacements et le transfert modal, voici un aperçu de l'impact possible de la COVID-19 (et des restrictions y afférentes) sur les déplacements. Alors qu'une grande partie de la population n'a pas modifié ses habitudes de déplacement avec un mode de transport spécifique, la figure 15 montre que l'attractivité de certains modes de transport a augmenté avec les restrictions liées à la pandémie de COVID-19. La marche, le vélo et l'utilisation d'une trottinette électrique ont enregistré une progression, contrairement aux transports publics. Il semble que cette tendance suive les observations nationales des baromètres de la mobilité⁵. Pour les autres modes de transport, nous observons à la fois une augmentation et une diminution, ce qui peut être considéré comme un impact nul ou un effet nul.

Impact de la pandémie de COVID-19 sur les déplacements

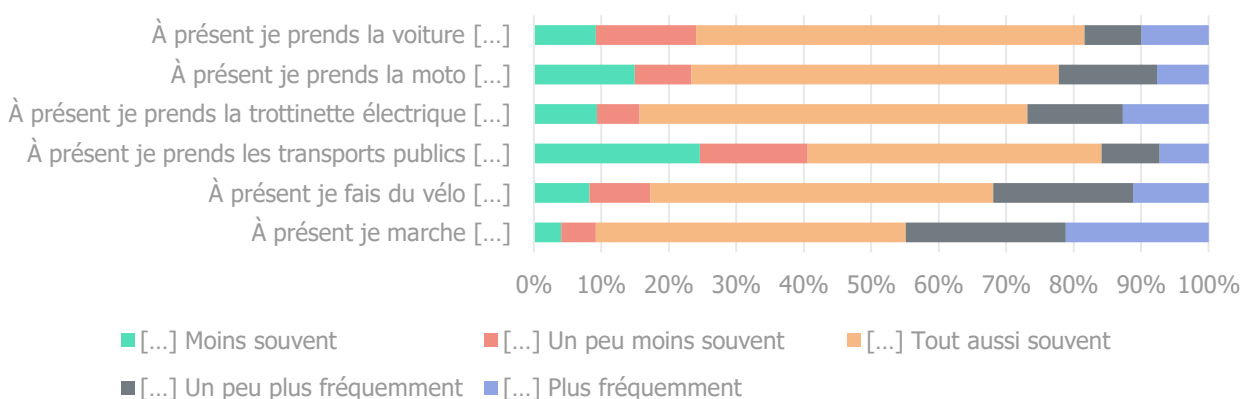


Figure 15: L'impact de la pandémie de COVID-19 et de ses restrictions sur les déplacements en fonction des modes de transport

Indépendamment de l'effet COVID, l'utilisation des modes de transport peut varier en fonction du motif du déplacement, comme le montre la figure 16. En général, la voiture est le mode de transport le plus populaire, surtout pour les loisirs et les autres déplacements (p.ex., faire des courses, aller chercher quelqu'un, aller chez le médecin, etc.) par rapport aux déplacements domicile-travail (la voiture est utilisée en moyenne dans 57 % des cas pour les déplacements domicile-travail, alors que ce pourcentage est de 63 % pour les loisirs et de 69% pour les autres déplacements). Ensuite, le vélo et la marche sont pratiqués en moyenne dans 10 à 15 % des cas, avec des différences mineures selon le type de déplacement. Les transports publics sont, quant à eux, en grande partie empruntés pour les trajets domicile-travail et, dans certains cas, pour les déplacements de loisirs. L'utilisation de la trottinette électrique et de la moto est négligeable par rapport aux autres modes de transport.

Par ailleurs, nous avons constaté que les personnes qui ne possèdent pas de voiture présentent une plus grande variation dans les modes de transport utilisés, par rapport à celles qui en possèdent une. Elles doivent forcément faire appel à différents moyens de transport pour effectuer ces déplacements. Il en résulte une augmentation de la marche et une utilisation accrue des transports publics.

Si nous comparons les différents groupes d'utilisateurs réguliers et d'utilisateurs non réguliers, nous constatons certaines différences, illustrées à la figure 17.

⁵ Le baromètre de mobilité est une mise à jour trimestrielle sur l'état de la mobilité en Belgique, accessible ici : <https://www.mobility.vias.be/fr/barometre/>

En général, quel que soit le motif du déplacement, les utilisateurs réguliers de vélos, de vélos électriques et de trottinettes électriques utilisent moins souvent la voiture que les utilisateurs non réguliers pour effectuer leurs déplacements. Les transports publics sont moins souvent empruntés par les utilisateurs réguliers de vélos électriques que par les utilisateurs réguliers et non réguliers d'autres modes de transport. L'utilisation d'un vélo électrique semble avoir un impact sur l'utilisation de la voiture ainsi que sur l'utilisation des transports publics, notamment pour les déplacements domicile-travail. Chez les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques et de vélos classiques, l'utilisation des transports publics n'est pas directement impactée (peut-être parce que ces modes de transport peuvent se compléter), à l'inverse de l'utilisation de la voiture qui est réduite pour ces groupes d'utilisateurs réguliers.

Les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques ont tendance à utiliser moins souvent le vélo et le vélo électrique que les utilisateurs réguliers de vélos (électriques). Cependant, l'utilisation du vélo chez les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques est toujours aussi élevée (ou même un peu plus élevée) par rapport à tous les groupes d'utilisateurs non réguliers. Par conséquent, nous pouvons affirmer que l'utilisation de la trottinette électrique n'a pas nécessairement un impact sur l'utilisation du vélo.

En ce qui concerne la marche, nous n'avons constaté aucune différence entre les différents utilisateurs réguliers et les utilisateurs non réguliers. Les utilisateurs réguliers et non réguliers des différents modes de transport semblent marcher aussi souvent les uns que les autres. Il en va de même pour les déplacements domicile-travail. L'utilisation de ces modes de transport ne semble pas avoir un impact sur la marche.

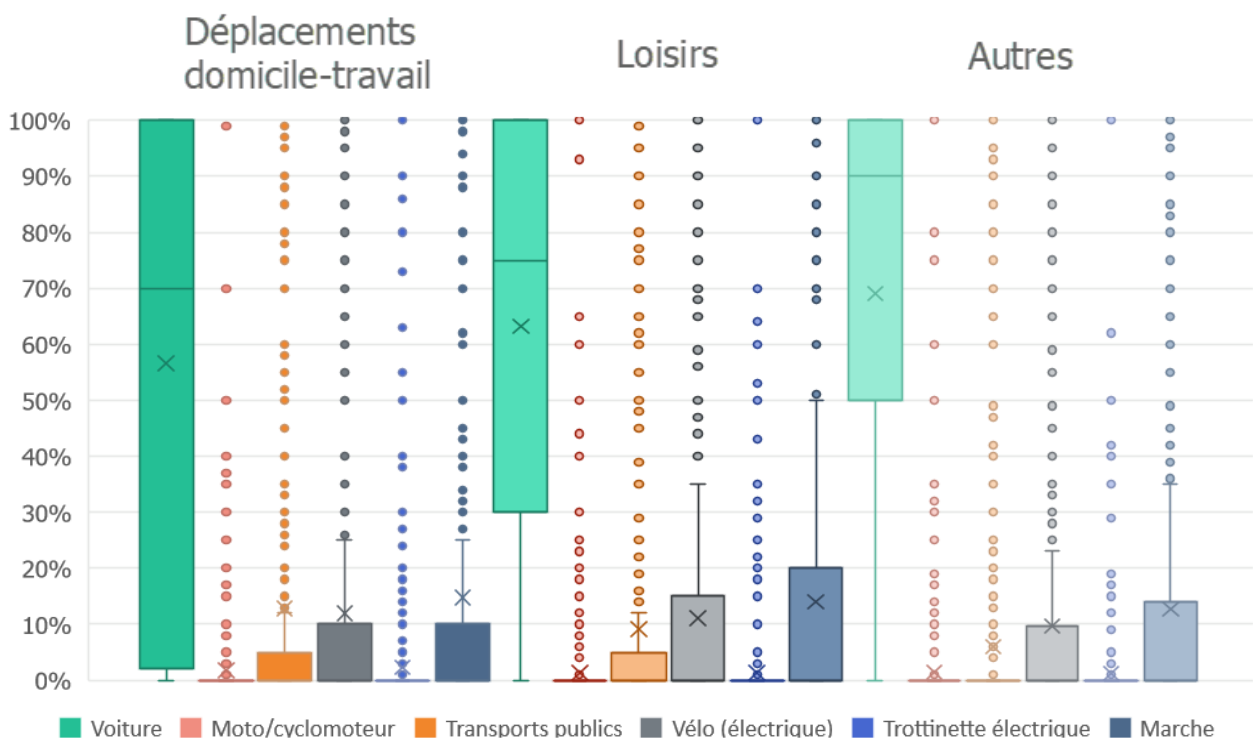


Figure 16: Parts modale pour différents motifs de déplacement

Part moyenne d'un mode de transport pour effectuer des déplacements

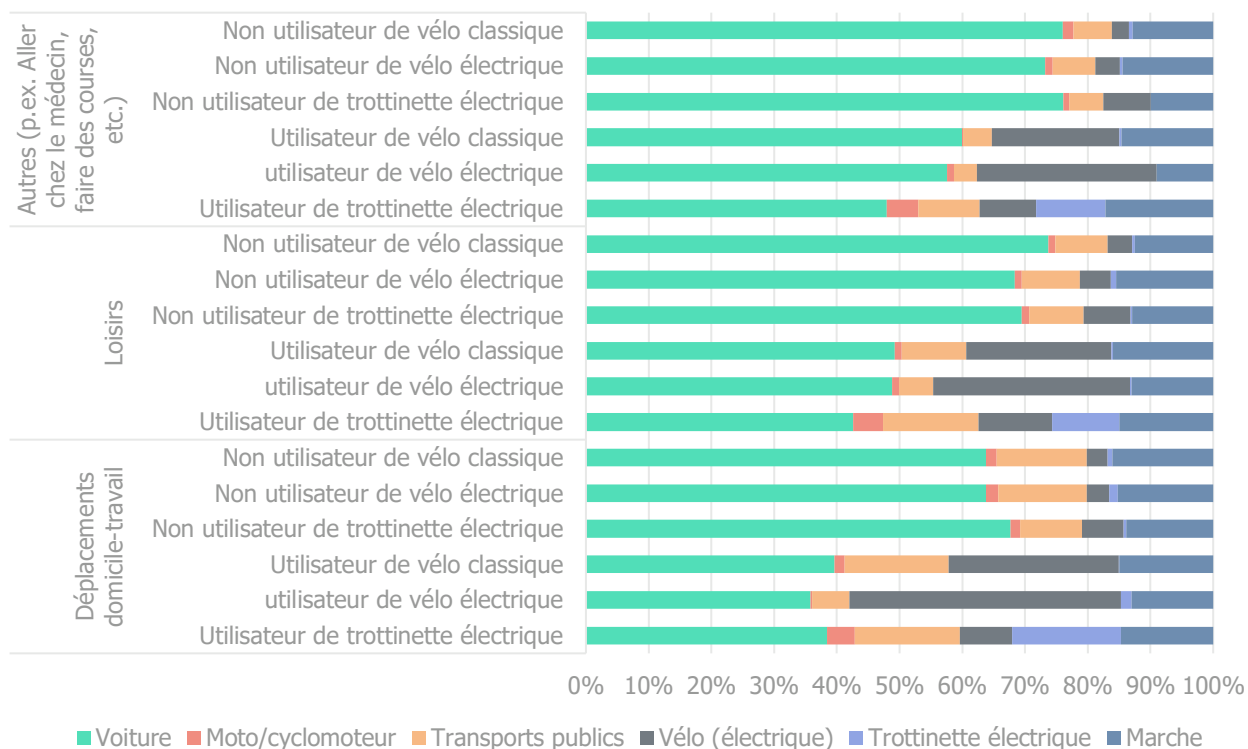


Figure 17: Différences entre les groupes d'utilisateurs réguliers et non réguliers en ce qui concerne la part d'utilisation des différents modes de transport

Afin de mieux comprendre la présence d'une éventuelle concurrence entre les types de déplacement, la figure 18 présente un aperçu des distances parcourues pour chaque trajet en fonction du mode de transport. Il n'est pas possible de faire la somme de ces pourcentages car une personne peut indiquer qu'elle effectue plusieurs trajets pour un mode de transport spécifique.

En général, les tendances bien connues ont pu être confirmées. Pour la voiture, nous observons une augmentation de l'utilisation, avec une augmentation de la distance parcourue. Nous pouvons également confirmer que la voiture est toujours utilisée régulièrement pour les trajets inférieurs à 5 km (8 % des personnes l'utilisent pour les premiers/derniers kilomètres, 12 % pour les trajets inférieurs à 2 km et 26 % pour les trajets compris entre 2 et 5 km). En ce qui concerne les transports publics, ils sont pleinement exploités sur de plus longues distances, comme c'est le cas pour la voiture. Mais à un degré moindre.

La marche est pratiquée très fréquemment pour le premier/dernier kilomètre et pour des déplacements courts, ainsi que pour des distances allant jusqu'à 5 km, voire 10 km (bien que ces distances plus importantes sont davantage liées au contexte des loisirs). Le vélo réalise son plein potentiel sur des distances comprises entre 2 km et 5 km, mais il est aussi fréquemment utilisé sur des distances plus courtes (c'est-à-dire le premier/le dernier kilomètre ou moins de 2 km) et même sur des distances allant jusqu'à 10 km.

La trottinette électrique et le vélo électrique montrent leur potentiel sur des distances plus importantes (5-10 km), rivalisant avec la voiture et les transports publics. À cet égard, la trottinette électrique est également plus populaire que le vélo électrique pour les trajets plus courts et les derniers kilomètres.

Distances parcourues avec chaque mode de transport

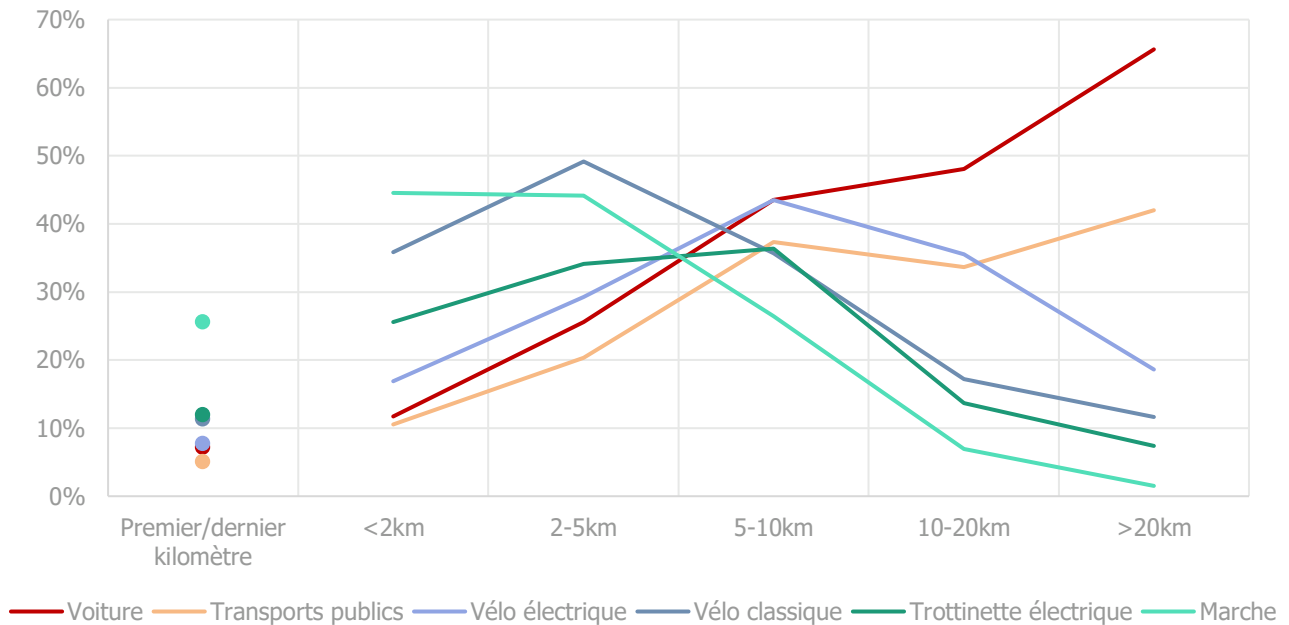


Figure 18: Distances parcourues avec les différents modes de transport

Sur la base de ces informations supplémentaires, nous pouvons conclure que les trottinettes électriques sont utilisées pour des trajets allant jusqu'à 10 km, après quoi leur utilisation diminue considérablement. Même si la longueur de ces déplacements est directement comparable à celle des déplacements à vélo, les déplacements en trottinette électrique ne remplacent pas nécessairement l'utilisation d'un vélo (comme nous l'avons vu précédemment à la figure 17).

Le vélo a également un impact sur la plupart des déplacements en voiture, ce qui en fait un concurrent direct de la voiture (surtout pour les courtes distances). Les vélos électriques rivalisent également avec les transports publics, ce qui n'est pas le cas d'un vélo classique. Le fait que les vélos électriques soient utilisés pour parcourir de plus grandes distances a un impact direct sur l'utilisation des transports publics, comme le montre la figure 17 (sauf pour les très grandes distances).

2.5 Les motifs du choix de la trottinette électrique ou du vélo (électrique)

Le choix modal est un concept vaste et difficile à appréhender, aux motivations multiples. Il importe de mieux comprendre les comportements et les raisons qui poussent à choisir un mode de transport spécifique, afin de s'assurer que les incitations ou les contre-mesures éventuelles ont l'effet escompté lorsqu'il s'agit de promouvoir ou de décourager un mode de transport spécifique. Pour mieux comprendre ces comportements, et plus particulièrement les changements de comportement, de nombreux modèles conceptuels ont été développés (p.ex., la théorie du comportement planifié, le modèle de croyance en santé, la théorie de la motivation à la protection, etc.). Notre questionnaire a été élaboré en utilisant deux cadres différents de modèles comportementaux, à savoir la théorie ERG et la Roue du Changement de Comportement. Ceux-ci permettent de prendre en compte les besoins qui poussent les utilisateurs réguliers à choisir ce mode de transport, ainsi que les facteurs qui empêchent les utilisateurs non réguliers d'utiliser le mode de transport.

La théorie ERG (c'est-à-dire la théorie de l'existence, des relations interpersonnelles et de la croissance) aborde le choix du mode de transport en termes de stratégies mises en place par les personnes pour satisfaire leurs besoins. Bien qu'il s'agisse d'un facteur essentiel dans le choix du mode de transport, il ne peut expliquer que partiellement le choix d'un mode de transport spécifique, car de nombreux autres aspects l'influencent. C'est ce qu'illustre la figure 19 ci-dessous, dans laquelle les facteurs de la théorie ERG jouent un rôle sur la base d'une certaine utilité qui impacte le choix du mode de transport. Toutefois, il convient également d'ajouter les caractéristiques sociodémographiques, les attributs du niveau de service et les difficultés de déplacement car ils jouent également un rôle dans cette conceptualisation (figure 19).

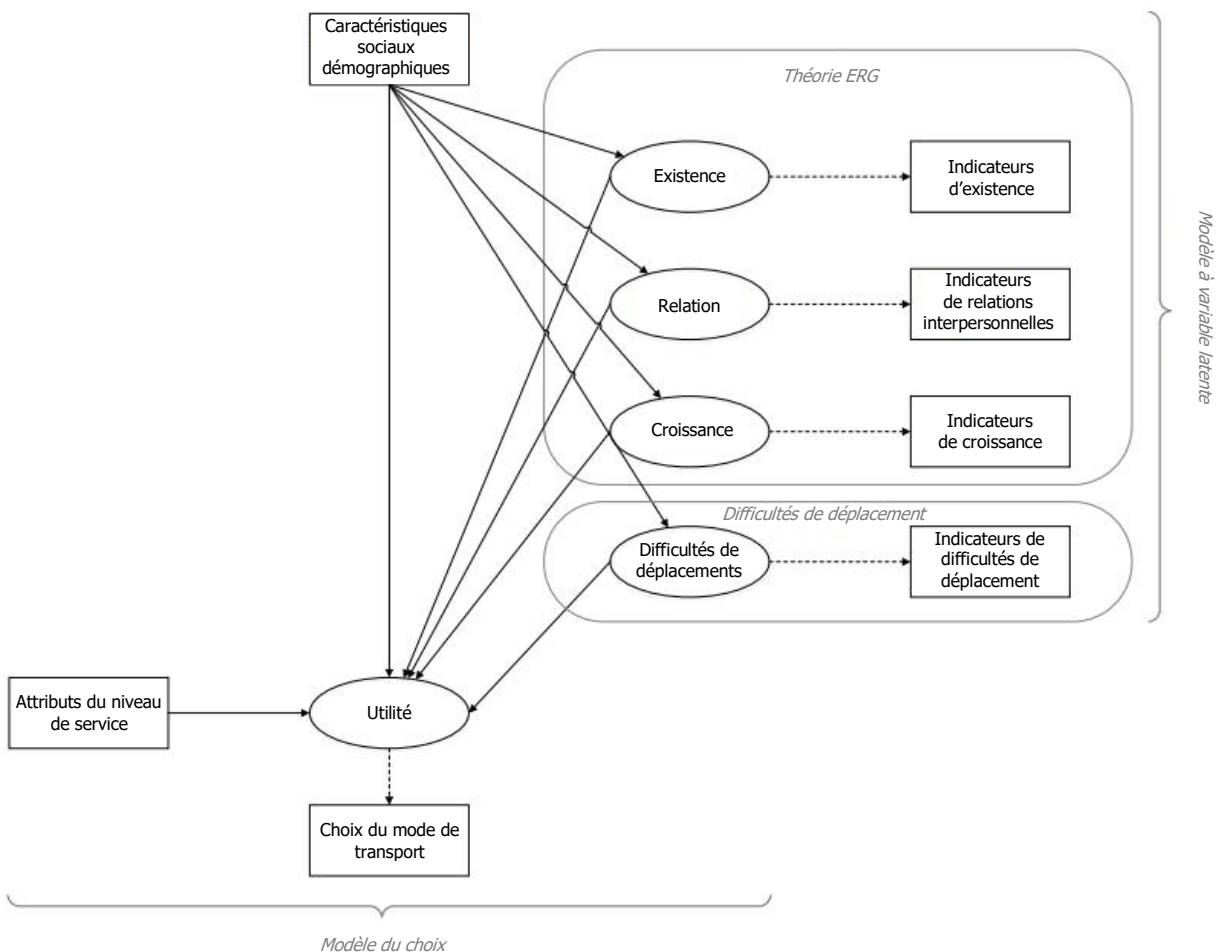


Figure 19: Cadre du modèle intégrant la théorie ERG des besoins, les difficultés de déplacement, les attributs du niveau de service et les caractéristiques socio-économiques des utilisateurs dans le contexte du choix du mode de transport (Bláfoss Ingvarðson et al., 2019)

Pour combler cette lacune, nous avons utilisé le concept de la Roue du Changement de Comportement (RCC). Celle-ci tient compte des constructions sous-jacentes intérieures et extérieures à l'individu, afin d'expliquer les raisons d'un comportement spécifique et les éventuelles interventions à mettre en œuvre pour favoriser ou atténuer ce comportement. L'utilisation de ces deux modèles permet de mieux comprendre le choix du mode de transport et le comportement des voyageurs.

2.5.1 La satisfaction des besoins

La théorie ERG a été utilisée pour déterminer les facteurs sous-jacents qui déterminent le choix de l'un des modes de transport. Il s'agit d'une théorie qui permet de prendre en compte les préférences liées à la façon dont chaque mode de transport répond aux besoins des utilisateurs. Elle repose sur la théorie hiérarchique de la motivation de Maslow et se constitue d'une conceptualisation en trois volets des besoins humains, à savoir 'Existence', 'Relations interpersonnelles' et 'Croissance' (Bláfoss Ingvarðson et al., 2019). Cette théorie affirme qu'il n'existe pas de séquence chronologique et que les personnes peuvent satisfaire leurs besoins de manière indépendante. Par conséquent, les besoins d'ordre inférieur ne doivent pas nécessairement être satisfaits en premier lieu, avant de pouvoir satisfaire les besoins d'ordre supérieur. Cela nous offre une dimension intéressante en ce qui concerne le choix du mode de transport, car cela permet de déterminer les facteurs qui incitent les individus à utiliser un mode de transport spécifique plutôt que ce qui constituerait un obstacle à son utilisation.

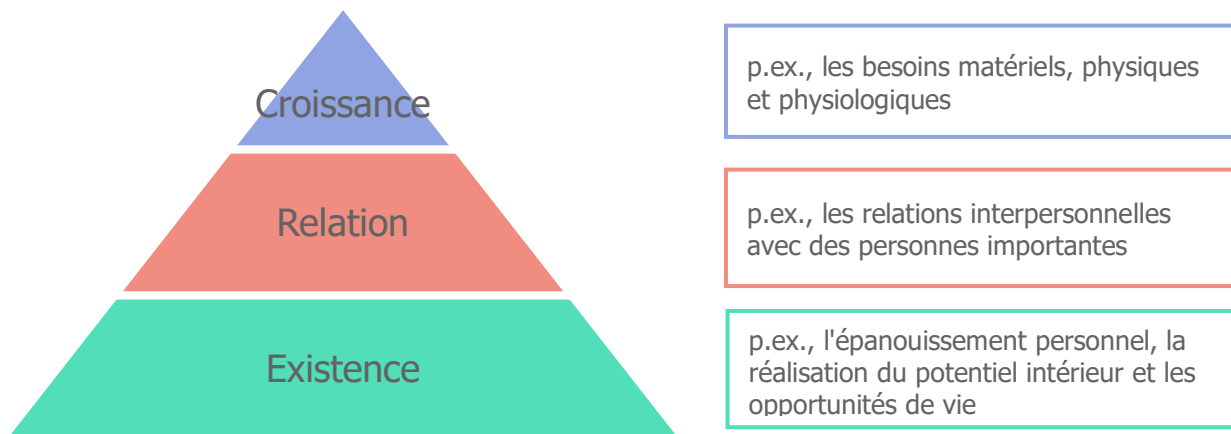


Figure 20: Représentation visuelle de la théorie ERG

Sur la base de la théorie ERG, plusieurs questions ont été construites pour tenter de saisir les différents besoins du modèle (c'est-à-dire les besoins d'existence, les besoins de relations interpersonnelles, les besoins de croissance). Au total, 33 items ont été construits, visibles dans le tableau 2, sur la base de la littérature disponible. Chaque répondant devait répondre à tous ces items au moyen d'une échelle de Likert à cinq points. Ensuite, une analyse factorielle⁶ a été réalisée sur ces items afin de saisir les constructions ou facteurs sous-jacents. Au total, nous avons trouvé trois constructions sous-jacents, liées à la théorie ERG, prouvant le succès de l'utilisation de cette théorie. Ces constructions comprenaient : La 'mobilité utilitaire' (constituée principalement de besoins liés à l'existence), la 'norme subjective' (constituée principalement de besoins liés aux relations interpersonnelles) et les 'motivations secondaires' (constituées principalement de besoins liés à la croissance). Le tableau ci-dessous présente un aperçu complet de ces différents facteurs et des items utilisés.

Un aperçu complet de l'analyse factorielle est disponible en annexe.

⁶ Une analyse factorielle est une technique statistique qui réduit un ensemble de variables en extrayant tous leurs points communs en un plus petit nombre de facteurs. Elle peut être considérée comme une méthode de réduction des données pour un grand ensemble d'éléments individuels (TIBCO, n.d.).

Tableau 2: Motifs d'utilisation d'une trottinette électrique, d'un vélo électrique ou d'un vélo classique en fonction du niveau de besoins de la théorie ERG

Mobilité utilitaire (constituée principalement de besoins liés à l'existence)
– Visiter un musée / une exposition d'art
– Participer à des activités après les heures de travail (p.ex., cours de langue, de musique, etc.)
– Rencontrer vos amis pendant une journée
– Participer à une réunion professionnelle
– Sortir le soir (p.ex., aller au restaurant, à une soirée, au café, etc.)
– Partir en voyage /excursion
– Aller au travail/à l'école
– Faire des courses quotidiennes (p.ex., aller chez le médecin, chez le coiffeur, à la pharmacie)
– Aller chercher des plats à emporter
– Faire de nouvelles rencontres
– Passer du temps de qualité avec votre famille
– Effectuer un trajet multimodal (combiner différents modes de transport, p.ex., prendre un vélo dans le train)
– Faire des courses dans des commerces locaux (p.ex., sur le marché de rue, au supermarché local)
– Aller dans un plus grand magasin (p.ex., hypermarché, Ikea etc.)
Norme subjective (constituée principalement de besoins liés aux relations interpersonnelles)
– Je pense que ma famille/mes amis apprécieraient que je l'utilise
– Je pense que son utilisation est tendance
– Je crois que cela permet d'impressionner mes amis, mes collègues, ma famille
– Je crois que son utilisation donne une sorte de prestige/avantage social
– Je crois que cela permet de prouver son opinion/ ses croyances
– Je crois que les personnes qui l'utilisent appartiennent à un certain groupe/mouvement (social)
Les motivations secondaires (constituées principalement de besoins de croissance)
– Je crois que c'est bon pour l'environnement
– Je pense que ce mode de transport est meilleur pour ma santé
– Je crois que c'est bon pour ma santé
– Je crois qu'il contribue à améliorer la situation dans les villes (embouteillages, pollution, bruit, etc.)
– Je crois que son utilisation est bien perçue par la société
– Je crois qu'il permet de contribuer à une société meilleure
– Je trouve que son utilisation procure une bonne sensation (adrénaline, liberté, etc.)
– Je pense qu'il est moins cher que les autres modes de transport
– Je l'utilise pour me vider la tête et stimuler ma productivité
– Je crois qu'il est plus facile de le stationner / il ne nécessite pas de parking
– Je crois qu'il offre plus de flexibilité que les autres modes de transport

Le facteur 'Mobilité utilitaire' fait référence à l'aspect de l'utilisation d'un mode de transport en vue de réaliser une activité ou de l'utiliser pour des considérations d'ordre pratique (p.ex., aller dans un magasin, rencontrer des amis, faire des courses, participer à des activités après les heures de travail, etc.). Il est associé au niveau des besoins liés à l'existence de la théorie ERG, puisque les éléments liés à la mobilité utilitaire sont tous liés à la satisfaction des besoins fondamentaux, à la survie ou au bien-être physiologique.

Le facteur 'Norme subjective' tient compte de la croyance selon laquelle une personne ou un groupe de personnes approuve ou désapprouve le mode de transport spécifique, ce qui affecte l'utilisation de ce mode de transport. Il s'agit d'utiliser un mode de transport spécifique afin de se conformer à la norme subjective (p.ex., parce qu'ils pensent que cela permet d'impressionner les autres, parce qu'ils pensent que cela apporte un prestige social, etc.). Ce facteur correspond au niveau de besoins liés aux relations interpersonnelles de la théorie ERG, puisqu'il concerne les relations interpersonnelles et sociales.

Le facteur 'Motivations secondaires' fait référence à des motivations d'ordre supérieur (p.ex., croire que c'est bon pour l'environnement, croire que c'est bon pour la santé, etc.). Ce facteur est lié au niveau de besoins liés à la croissance de la théorie ERG, qui implique un désir intérieur de développement personnel.

Afin de mieux comprendre pourquoi certaines raisons sous-jacentes sont plus importantes dans le choix d'un mode de transport spécifique, nous avons recherché les différences entre les modes de transport. La figure

21 présente un aperçu des différents scores moyens obtenus par l'analyse factorielle pour les trottinettes électriques, les vélos électriques et les vélos classiques pour chacune des différentes raisons sous-jacentes/réponses aux besoins. Cette figure met l'accent sur les utilisateurs réguliers par rapport aux utilisateurs non réguliers, car elle accorde une plus grande attention aux raisons pour lesquelles les utilisateurs réguliers utilisent l'un de ces modes de transport.

La satisfaction des besoins en empruntant les modes de transport

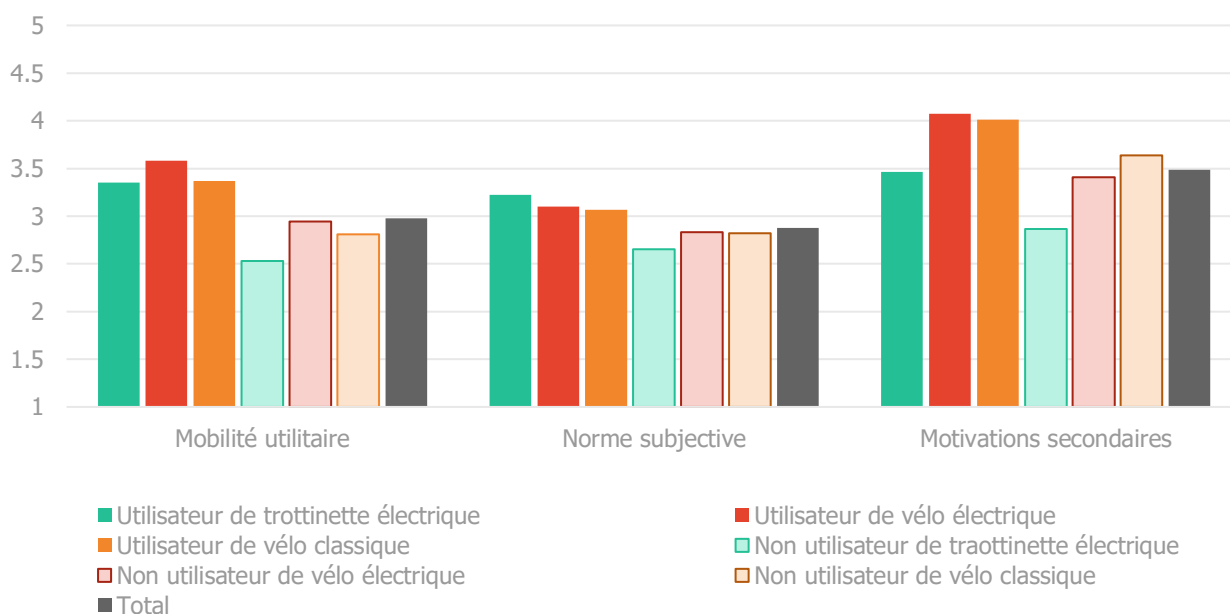


Figure 21: Motifs de l'utilisation d'une trottinette électrique, d'un vélo électrique ou d'un vélo classique, en fonction du niveau de besoins de l'ERG

Si l'on tient compte des scores plus élevés pour les Motivations secondaires (c'est-à-dire le niveau le plus élevé de besoins), les besoins d'ordre supérieur jouent le rôle le plus important dans le choix du mode de transport. C'est non seulement le cas pour les utilisateurs réguliers, mais aussi pour les utilisateurs non réguliers. Certains modes de transport véhiculent donc l'idée qu'ils sont plus qu'un simple moyen de se rendre d'un point A à un point B. Des raisons plus altruistes jouent peut-être un rôle majeur dans ce cadre, ainsi que des catalyseurs incitant à faire plus dans la vie. À ce niveau, les utilisateurs réguliers de vélos électriques et les utilisateurs réguliers de vélos classiques obtiennent les résultats les plus élevés, ce qui peut potentiellement s'expliquer par le fait qu'un vélo électrique est l'alternative la plus appropriée à la voiture. Il s'agit donc d'un moyen plutôt facile de se déplacer tout en procurant un sentiment important d'épanouissement personnel, de contribution à des causes supérieures. L'impact des vélos classiques et des vélos électriques est plus cohérent que celui des trottinettes électriques, ce qui peut s'expliquer par le peu de preuves concernant les trottinettes électriques et leur impact sur la planète. Ceci peut expliquer le score plus faible des utilisateurs réguliers de trottinettes électriques par rapport aux utilisateurs réguliers de vélos.

La deuxième raison la plus importante d'utiliser l'un de ces différents modes de transport est l'aspect de la mobilité utilitaire (c'est-à-dire les besoins de base). La décision d'utiliser une trottinette électrique, un vélo électrique ou un vélo classique n'est donc déterminée qu'en second lieu, en fonction des besoins fondamentaux, ce qui conduit à une demande dérivée, et à son tour à la mobilité. Parmi tous les modes de transport, les utilisateurs réguliers de vélos électriques obtiennent les résultats les plus élevés et ont tendance à les utiliser plus fréquemment pour répondre à des besoins de base (mobilité). Étant donné que la base d'un vélo électrique est identique à un vélo classique (plus aisé de transporter des bagages qu'une trottinette électrique, tout en présentant les mêmes avantages qu'un vélo classique), tout en ayant un support motorisé supplémentaire, il est donc peut-être mieux adapté que le vélo classique et la trottinette électrique pour répondre aux besoins de base. Nous constatons que les trottinettes électriques et les vélos classiques obtiennent les mêmes résultats en matière de satisfaction des besoins fondamentaux. Cela contraste avec la croyance selon laquelle les trottinettes électriques sont les moins aptes à répondre aux besoins de base (mobilité) en raison de leur capacité de chargement limitée, du manque de possibilités pour entreposer une

trottinette privée dans les espaces publics (p.ex., les supports à vélos ne sont généralement pas adaptés pour entreposer une trottinette électrique en toute sécurité), etc. Il est également prouvé que chacun des modes de transport présente plus d'avantages utilitaires pour les utilisateurs réguliers que pour les utilisateurs non réguliers. Par conséquent, une personne commence éventuellement à apprécier le mode de transport (et à en voir les avantages) après avoir utilisé l'appareil, alors que les utilisateurs non réguliers peuvent avoir plus de difficultés à voir ces avantages ou les possibilités de satisfaire ces besoins fondamentaux.

En ce qui concerne la norme subjective, ceci montre que celle-ci est la raison la moins importante pour déterminer le choix d'un certain mode de transport, bien qu'elle soit toujours un facteur pertinent dans ce choix. La perception sociale d'un mode de transport donné atteint un niveau presque similaire parmi les utilisateurs réguliers, quel que soit leur mode de transport, des différences majeures apparaissant uniquement entre utilisateurs réguliers et utilisateurs non réguliers. Les utilisateurs réguliers semblent prêter davantage attention à la façon dont les individus les perçoivent, ce qui est le plus fréquent chez les utilisateurs de trottinettes électriques (p.ex. le désir d'impressionner, d'être considéré comme un amateur de gadgets, un innovateur, de tenter une nouveauté sympa, etc.). Le score global suggère un désir d'appartenance à une communauté (p.ex., « nous » cyclistes contre « vous » automobilistes, « nous » utilisant une nouvelle mobilité contre « votre » façon démodée de vous déplacer) ou de pouvoir exprimer ses convictions. Les utilisateurs non réguliers, quant à eux, semblent être plus sujets à la pression sociale (c'est-à-dire qu'ils n'ont pas encore essayé et se fient aux croyances des autres), ce qui entraîne un score plus faible. En outre, nous pouvons observer que les utilisateurs non réguliers de trottinettes électriques perçoivent ces dernières comme étant les moins aptes à répondre à leurs besoins sociaux, ce qui indique qu'ils ne se soucient guère de ce que les autres pensent ou de la manière dont la trottinette électrique pourrait améliorer leur prestige social. Il convient toutefois de faire attention car nous parlons de croyances normatives (c'est-à-dire ce qu'une personne pense que les autres pensent ou croient) et non de la perception sociale réelle des personnes.

En général, il semble que les vélos électriques et les vélos classiques répondent aux besoins les plus importants (c'est-à-dire les motivations secondaires). En outre, les vélos électriques sont également considérés comme mieux adaptés à la satisfaction des besoins de base (c'est-à-dire la mobilité utilitaire) par rapport aux trottinettes électriques et aux vélos classiques. En revanche, les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques ont tendance à tenir compte de tous ces aspects de manière égale. Cette différence avec les vélos classiques et les vélos électriques peut peut-être s'expliquer par le manque de connaissance et de maturité du marché des trottinettes électriques, qui a un impact sur l'attitude, ou par le fait que l'on considère ce mode de transport dans une perspective plus large qui ne répond pas seulement à un type de besoin spécifique. Par la suite, une plus grande variation est toujours présente entre les utilisateurs réguliers et les utilisateurs non réguliers des différents modes de transport, les trottinettes électriques présentant la plus grande variation. Dans l'ensemble, les utilisateurs réguliers sont plus favorables que les utilisateurs non réguliers, et l'essai d'une trottinette électrique peut éventuellement permettre aux individus de reconnaître les aspects positifs du mode de transport, tandis que les utilisateurs non réguliers restent dans l'ignorance en se fiant aux opinions des autres (ce qui peut expliquer le faible score de la norme subjective).

Enfin, si nous considérons les personnes handicapées, les données montrent que l'importance des motivations secondaires est moins forte que pour les personnes non handicapées. En outre, la norme subjective enregistre un score légèrement plus élevé par rapport aux personnes sans handicap. Les raisons utilitaires restent tout aussi importantes. Cela peut éventuellement s'expliquer par le fait qu'il est plus difficile de satisfaire les besoins de base, ce qui entraîne moins d'intérêt et de temps pour les besoins d'ordre supérieur. Une fois de plus, cela montre la nécessité de poursuivre les recherches pour ce groupe cible spécifique.

2.5.2 Conditions préalables au comportement et au changement de comportement

La RCC se concentre sur les constructions sous-jacentes du comportement, en tentant d'expliquer pourquoi certaines personnes adoptent ou non un comportement spécifique, et quelle intervention peut être mise en place afin d'atteindre le comportement souhaité. Les interventions visant à modifier le comportement sont importantes. Elles peuvent être utilisées pour promouvoir des modes de vie sains et des comportements adéquats (p.ex., adopter un mode de transport actif au lieu de la voiture). Toutefois, pour identifier un type d'intervention efficace, il faut disposer d'un éventail complet d'options et d'un système rationnel permettant de sélectionner les plus pertinentes. Cette démarche doit s'appuyer sur un modèle de comportement, sans négliger certaines influences importantes (p.ex., la théorie du comportement planifié et le modèle de croyance en santé permettent d'expliquer certains comportements, mais ils ne tiennent pas compte de certains rôles importants, tels que l'impulsivité, l'habitude, la maîtrise de soi, etc.) (Michie et al., 2011).

Le modèle COM-B a été développé afin de résoudre ce problème et d'obtenir un modèle intégral d'intervention comportementale. Ici, nous avons identifié les principales dimensions qui peuvent expliquer le comportement actuel et qui sont des conditions préalables nécessaires et suffisantes pour l'exécution d'un comportement volontaire spécifique. Ces dimensions sont la 'capacité', 'l'opportunité' et la 'motivation'. Les flèches dans le modèle représentent une influence potentielle entre les dimensions du système. Les liens de causalité au sein du système peuvent contribuer à réduire ou à amplifier l'effet d'interventions particulières sur un ou plusieurs dimensions du système comportemental, entraînant des changements ailleurs (Michie et al., 2011).

- **Capacité** : « la capacité psychologique et physique de l'individu à s'engager dans l'activité concernée, y compris le fait d'avoir les connaissances et les compétences requises. »
- **Opportunité** : « les facteurs extérieurs à l'individu qui rendent le comportement possible ou le suscitent ».
- **Motivation** : « tous les processus cérébraux qui dynamisent et orientent le comportement, et pas seulement les objectifs et la prise de décision consciente. Elle comprend les processus habituels, la réaction émotionnelle, ainsi que la prise de décision analytique. »

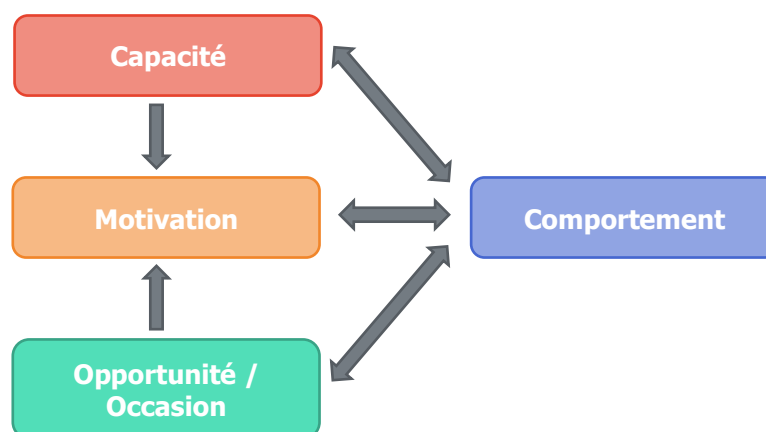


Figure 22: Le cadre du modèle COM-B, sur lequel repose la Roue du Changement de Comportement (Michie et al., 2011)

La **Roue du Changement de Comportement** (RCC) a été développée sur la base du modèle COM-B, en incorporant les **sources de comportement, ainsi que les interventions et les mesures politiques**. Neuf fonctions d'intervention ont été placées autour du centre (montrant les dimensions COM-B) en vue de traiter les déficits dans une ou plusieurs de ces conditions. Autour de ces neuf fonctions d'intervention, nous trouvons sept catégories de politiques permettant la réalisation de ces interventions (Michie et al., 2011). Le modèle est illustré à la figure 23, les définitions des termes étant présentées dans le tableau 3 (appliqué à l'utilisation des trottinettes électriques).

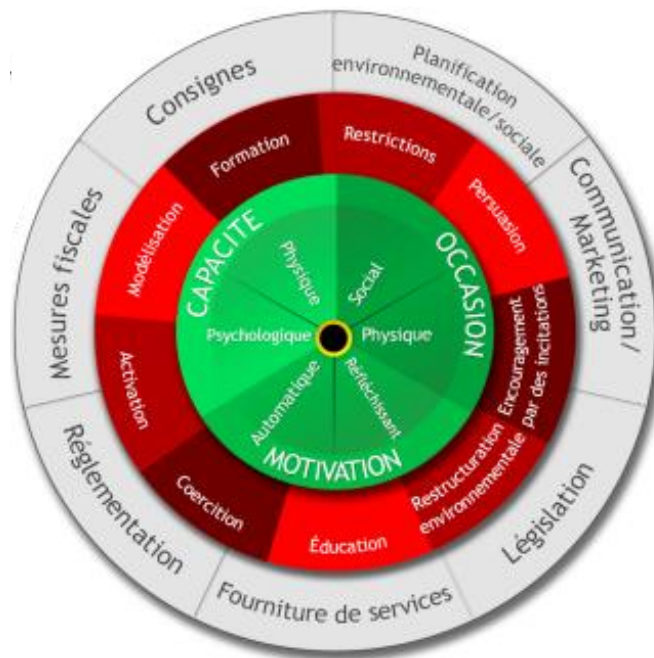


Figure 23: Le cadre de la Roue du Changement de Comportement (RCC) (Michie et al., 2011)

Tableau 3: Définitions d'interventions et de politiques avec des exemples appliqués aux trottinettes électriques (Michie et al., 2011)

Interventions	Définition	Exemples
Éducation	Amélioration des connaissances ou de la compréhension.	Fournir des informations sur l'utilisation d'une trottinette électrique en toute sécurité.
Persuasion	Utilisation de la communication pour induire des sentiments positifs ou négatifs ou pour stimuler l'action.	Utiliser des campagnes pour montrer les avantages d'une trottinette électrique en cohésion avec les transports publics pour réduire l'utilisation de la voiture.
Encouragement par des incitations	Créer l'attente d'une récompense.	Inclure la trottinette électrique dans le système d'allocation vélo.
Coercition	Créer l'attente d'une sanction ou d'un coût.	Augmenter la probabilité d'être condamné à une amende pour avoir roulé trop vite dans les zones piétonnes.
Formation	Transmettre des compétences.	Investir dans des programmes de formation de base dans les écoles et les entreprises pour utiliser en toute sécurité une trottinette électrique, à l'instar d'un examen de vélo.
Restriction	Appliquer des règles pour augmenter le comportement cible en réduisant la possibilité d'adopter des comportements concurrents.	Obligation pour les utilisateurs de trottinettes électriques de descendre de leur trottinette électrique et de marcher aux côtés de celle-ci dans une zone piétonne.
Restructuration environnementale	Modification du contexte physique ou social.	Donner la priorité aux usagers vulnérables de la route au lieu de se focaliser sur la fluidité du trafic.
Modélisation	Fournir un exemple auquel les individus peuvent aspirer ou qu'ils peuvent imiter.	Utilisation de scènes dramatiques télévisées avec un accident de trottinette électrique pour réduire les comportements indésirables.
Activation	Augmenter les moyens/réduire les obstacles pour accroître la capacité ou l'opportunité*.	Permettre une standardisation pour fixer une trottinette électrique à un fauteuil roulant.

Politiques	Définition	Exemples
Communication/ marketing	En utilisant des médias imprimés, électroniques, téléphoniques ou de diffusion.	Mener des campagnes dans les médias de masse.
Consignes	Créer des documents qui recommandent ou imposent une pratique. Notamment tous les changements apportés à la fourniture de services.	Créer un document qui aide les entreprises à recommander l'utilisation d'une trottinette électrique si cela convient à leur pratique.
Mesures fiscales	Utiliser le système fiscal pour réduire ou augmenter le coût financier.	Accorder des avantages fiscaux aux entreprises qui remplacent l'utilisation de la voiture par des trottinettes électriques ou des solutions multimodales incluant une trottinette électrique.
Réglementation	Établir des règles ou des principes de comportement ou de pratique.	Établir des accords volontaires entre les utilisateurs de trottinettes électriques et les entreprises pour le port du casque lors de l'utilisation de la trottinette électrique.
Législation	Créer ou modifier des lois.	Créer une nouvelle législation qui traite de la catégorisation des dispositifs de micromobilité par rapport aux autres véhicules.
Planification environnementale/ sociale	Concevoir et/ou contrôler l'environnement physique ou social.	Utiliser un revêtement différent dans les zones où les trottinettes électriques sont indésirables.
Fourniture de services	Fournir un service.	Faciliter la mise en place d'ateliers de réparation pour les trottinettes électriques dans les gares.

*Capacité au-delà de l'éducation et de la formation, opportunité au-delà de la restructuration environnementale

La Roue du Changement de Comportement permet de déterminer les interventions et les catégories de politiques sur la base du comportement actuel et du comportement souhaité. Toutefois, il est nécessaire de déterminer la catégorie d'intervention ou de politique appropriée afin d'éviter un effet nul (p.ex., il n'est pas avantageux de se concentrer sur les traitements fiscaux pour augmenter l'utilisation des trottinettes électriques, si l'infrastructure n'est pas sûre). Nous pouvons utiliser les tableaux 4 et 5 pour vérifier les fonctions d'intervention (c'est-à-dire la couche intérieure autour du centre) et les catégories de politiques (c'est-à-dire la couche extérieure autour du centre) susceptibles d'être liées aux sources de comportement (c'est-à-dire le centre de la roue).

Tableau 4: Liens entre les fonctions d'intervention (anneau intérieur autour du centre de la RCC) et les sources de comportement (le centre de la RCC) (Michie et al., 2011)

		Fonctions d'intervention								
		Éducation	Persuasion	Encouragement par des incitations	Coercition	Formation	Restriction	Restructuration environnementale	Modélisation	Activation
Sources de comportement	Capacité physique					✓				✓
	Capacité psychologique	✓				✓				✓
	Occasion physique	✓	✓	✓	✓					
	Occasion sociale		✓	✓	✓			✓	✓	✓
	Motivation réfléchie						✓	✓		✓
	Motivation automatique						✓	✓		✓

Tableau 5: Liens entre les fonctions d'intervention (anneau intérieur autour du centre de la RCC) et les catégories de politiques (anneau extérieur de la RCC) (Michie et al., 2011)

		Fonctions d'intervention								
		Éducation	Persuasion	Encouragement par des incitations	Coercition	Formation	Restriction	Restructuration environnementale	Modélisation	Activation
Catégories de politiques	Communication/Marketing	✓	✓	✓	✓				✓	
	Consignes	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
	Mesures fiscales			✓	✓	✓		✓		✓
	Réglementation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
	Législation	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
	Planification environnementale/sociale							✓		✓
	Fourniture de services	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓

Afin d'inclure la Roue du Changement de Comportement dans le questionnaire, nous avons construit plusieurs items. Nous avons construit un total de 31 items, dont 25 ont été conservés après deux analyses factorielles et de fiabilité distinctes. Le tableau 6 ci-dessous présente un aperçu des 25 items et des dimensions COM-B correspondants. Vous trouverez un aperçu détaillé des 31 items en annexe.

Tableau 6: Items du questionnaire qui étaient applicables au cadre de la Roue du Changement de Comportement.

Items du modèle COM-B
Pour que je puisse utiliser la trottinette électrique (plus souvent), [...]
Capacité physique
[...] je devrais avoir une meilleure endurance physique pour ne pas me fatiguer immédiatement. (p.ex. développer une plus grande endurance pour ne pas être épuisé après un trajet)
[...] je devrais développer ma force physique (p.ex., développer la force dans mes jambes pour pouvoir remonter une côte escarpée, ou avoir davantage de force pour la porter dans le train)
[...] je devrais trouver une solution pour surmonter les limitations physiques (p.ex., contourner les problèmes de position assise ou debout dans le mode de transport)
[...] je devrais avoir de meilleures compétences pour utiliser l'appareil (p.ex. suivre une formation pratique pour utiliser l'appareil en toute sécurité)
Capacité psychologique
[...] je devrais avoir plus d'endurance mentale pour m'assurer de rester concentré lors de l'utilisation de ce mode de transport. (p.ex., rester concentré dans un centre-ville avec une circulation dense après un trajet de 20 minutes)
[...] je devrais développer une plus grande confiance dans l'utilisation de l'appareil (p.ex., être convaincu de pouvoir facilement atteindre ma destination)
[...] je devrais en savoir plus sur les avantages de ce mode de transport (p.ex., savoir comment il contribue à une mobilité plus écologique ou à une meilleure qualité de vie, ou savoir combien de temps il me ferait gagner si je l'utilisais)
[...] je devrais en savoir plus sur le fonctionnement de l'appareil. (p.ex. comment le recharger, sa vitesse, etc.)
Opportunité physique
[...] les appareils partagés devraient être mieux entretenus pour me donner l'envie de les utiliser davantage (p.ex., remplacer les trottinettes endommagées, mieux les nettoyer, etc.)
[...] le mode de transport devrait être accessible/disponible (p.ex., je devrais disposer d'un appareil personnel ou je devrais pouvoir utiliser un appareil partagé)
[...] je devrais avoir plus d'argent pour utiliser ce mode de transport
[...] je devrais avoir un dispositif adapté pour pouvoir l'utiliser (p.ex., un siège différent monté, etc.)
[...] je devrais avoir plus de temps pour utiliser ce mode de transport.
[...] je devrais disposer de certaines installations sur mon lieu de travail principal pour me permettre de l'utiliser (p.ex., possibilité de prendre une douche, possibilité de le recharger, etc.)
Opportunité sociale
[...] je devrais être davantage soutenu par les autres pour utiliser le mode de transport (p.ex. avoir des amis qui me soutiennent et ne se moquent pas de moi parce que je l'utilise)
[...] j'aurais besoin de ressentir que je fais partie d'une communauté (p.ex., vivre dans une ville où la plupart des gens l'utilisent comme mode de transport dans le cadre de leur vie)
[...] je devrais avoir plus de personnes dans mon environnement proche qui utilisent le mode de transport (p.ex., des collègues qui utilisent le mode de transport, ma famille, mes amis)
[...] j'aurais besoin de davantage de déclencheurs pour m'inciter à utiliser le mode de transport (p.ex., quelqu'un qui me dépasse tous les matins et qui va plus vite que moi au travail, d'autres personnes qui l'utilisent et qui semblent en meilleure santé, etc.)
Motivation réfléchie
[...] je devrais avoir le sentiment que son utilisation est sûre (p.ex., avoir lu quelque part que c'est un mode de transport sûr)
[...] je devrais planifier l'utilisation du mode de transport (p.ex., réfléchir aux itinéraires alternatifs à prendre, mieux planifier mon voyage à l'avance)
[...] il faudrait que je ressente que son utilisation est naturelle pour moi (c'est-à-dire me sentir mal si j'utilise un autre mode de transport tout en sachant que la trottinette électrique serait préférable).
[...] je devrais être convaincu que je contribue à la durabilité environnementale (p.ex., je devrais être convaincu que l'utilisation de ce mode de transport est bon pour l'environnement)
Motivation automatique
[...] l'utilisation de ce mode de transport devrait me procurer du plaisir (p.ex., être heureux de ne pas prendre la voiture polluante ou être détendu par l'air frais du matin)
[...] je devrais ressentir automatiquement l'envie d'utiliser ce mode de transport (p.ex., penser automatiquement à utiliser ce mode de transport car j'aime l'activité physique ou l'air frais du matin, etc.)
[...] je devrais prendre l'habitude d'utiliser ce mode de transport (p.ex., je devrais prendre l'habitude de me rendre à la gare avec ce mode de transport)
[...] je devrais surmonter les sentiments négatifs qui apparaissent automatiquement (p.ex., surmonter la pensée automatique que l'utilisation de ce mode de transport n'est pas sûre, parce que j'ai vu quelqu'un avoir un accident ou tomber).

Tout d'abord, si nous examinons les résultats généraux de la figure 24, ce sont les aspects motivationnels qui jouent le rôle le plus important dans le fait de ne pas prendre l'un de ces modes de transport. C'est le cas tant pour la motivation automatique que pour la motivation réfléchie. Par conséquent, l'opportunité physique est également un facteur essentiel pour entraver leur utilisation. En particulier, les aspects physiques qui échappent à l'individu (p.ex., le temps, l'argent, l'accessibilité, les installations spécifiques, etc.) obtiennent un score plus élevé.

La capacité physique et psychologique entravent également le comportement, mais dans une moindre mesure. Les limitations physiques (p.ex. fatigue qui s'installe rapidement, force, compétences, etc.), ainsi que les limitations psychologiques (p.ex., faible force mentale, manque de confiance, manque de connaissances, etc.) ne sont pas le principal obstacle à l'utilisation de l'un de ces modes de transport, bien qu'elles restent des obstacles. Le support motorisé total ou partiel de 2 des 3 modes de transport joue probablement un rôle à cet égard.

Enfin, l'opportunité sociale exerce l'impact le plus faible sur l'utilisation de ces appareils. Le soutien ou le comportement des autres n'est pas un facteur déterminant pour l'utilisation de ces modes de transport. Cela confirme les résultats de la théorie ERG évoquée précédemment, qui ont montré que le besoin de se conformer à la norme subjective était le besoin le moins important pour le choix du mode de transport (en particulier pour les utilisateurs non réguliers).

En outre, les résultats généraux montrent également que les personnes souffrant d'un handicap (quel qu'il soit) accordent une note plus élevée aux facteurs de capacité et d'opportunité que les personnes qui ne souffrent pas d'un handicap. La motivation ne diffère pas. Les personnes handicapées rencontrent plus de difficultés, tant au niveau de la capacité physique et psychologique que de l'opportunité physique et sociale, ce qui impacte l'utilisation de ces modes de transport.

Raisons de ne pas utiliser (plus souvent) les modes de transport - Notes générales

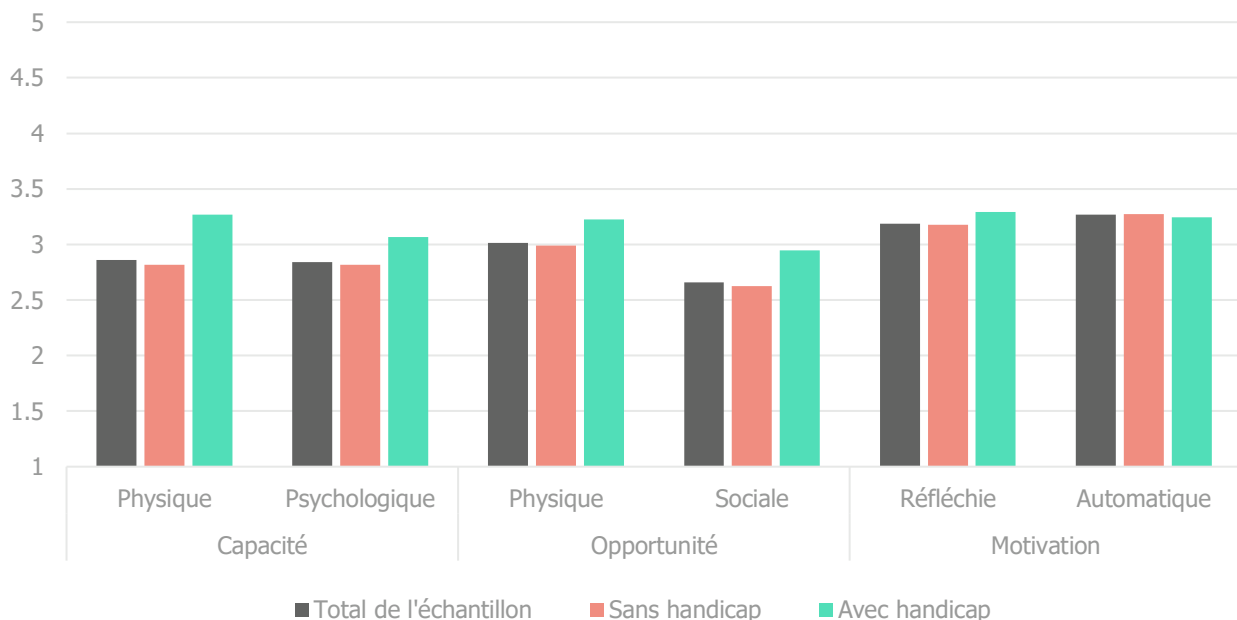


Figure 24: Notes générales sur les sources de comportement qui indiquent les raisons de ne pas utiliser le mode de transport

Ensuite, la figure 25 établit une différenciation entre les différents modes de transport. Cette figure met davantage l'accent sur les utilisateurs non réguliers par rapport aux utilisateurs réguliers, puisqu'un intérêt particulier est porté aux facteurs qui empêchent les utilisateurs non réguliers d'utiliser le mode de transport. Les scores des utilisateurs réguliers sont toujours visibles afin de vérifier comment ils évaluent ces aspects du point de vue de l'utilisateur.

Raisons de ne pas utiliser les modes de transport (plus souvent)

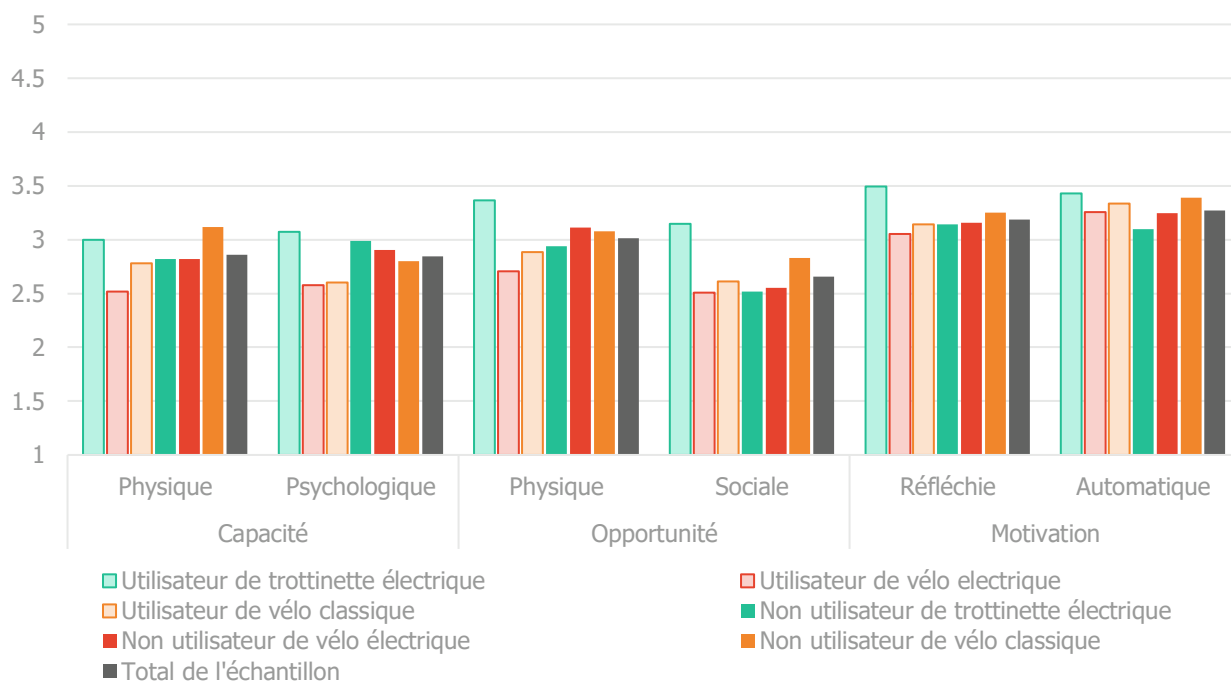


Figure 25: Différenciation entre les différents utilisateurs réguliers et les utilisateurs non réguliers sur les sources de comportement qui indiquent les raisons de ne pas utiliser le mode de transport

En général, les utilisateurs non réguliers d'un mode de transport spécifique donnent des notes plus élevées que les utilisateurs réguliers de ce même mode de transport. Les utilisateurs non réguliers indiquent rencontrer plus de difficultés à utiliser un mode de transport spécifique, ce qui les incite évidemment à ne pas utiliser ce mode de transport. Ce résultat était prévisible, puisque les personnes qui utilisent déjà un mode de transport, ont déjà pratiquement surmonté ces lacunes. Toutefois, leur score n'est pas nul, car chaque utilisateur régulier rencontre probablement encore des difficultés pour utiliser plus souvent le mode de transport (p.ex., indépendamment de la fréquence d'utilisation du vélo, il a toujours besoin de plus de temps ou ne veut pas faire de vélo sous la pluie).

Nous observons une exception chez les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques qui affichent des scores plus élevés pour toutes les sources de comportement. Cela pourrait signifier que, dans cet ensemble de données, les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques évaluent généralement ces aspects de façon plus stricte. Par ailleurs, il est également possible que les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques rencontrent encore quelques difficultés pour utiliser ce mode de transport, même s'ils l'utilisent déjà. Le nombre plus élevé d'utilisateurs réguliers de trottinettes électriques avec un handicap n'a eu aucune influence ici.

Si nous nous concentrons sur le facteur 'motivation', il apparaît que la 'motivation automatique' est le seuil le plus important qui entrave l'utilisation de tous les modes de transport. Ici, les utilisateurs non réguliers de vélos indiquent que cela entrave davantage l'utilisation potentielle par rapport aux utilisateurs non réguliers de trottinettes électriques. Il n'y a pas de différence avec les utilisateurs non réguliers de vélos électriques. En pratique, cela signifie que les utilisateurs non réguliers de vélos classiques ont moins souvent l'habitude de penser à utiliser un vélo, ont des sentiments moins positifs à l'égard du vélo, ou n'éprouvent pas automatiquement du plaisir à l'utiliser, ce qui les incite à ne pas utiliser le vélo. En revanche, pour les utilisateurs non réguliers de trottinettes électriques, ce facteur joue un rôle moins important.

Aucune différence n'a été observée entre les utilisateurs réguliers et non réguliers, ainsi qu'entre les différents modes de transport, en ce qui concerne la 'motivation réfléchie'. Cependant, il s'agit toujours de l'un des principaux facteurs qui entravent l'utilisation, après la 'motivation automatique'. En pratique, cela signifie que les utilisateurs réguliers et non réguliers des différents modes de transport ne consacrent pas de raisonnement spécifique à l'utilisation du mode de transport, ce qui conduit à une utilisation moindre ou nulle du mode de transport (p.ex., oublier les embouteillages récurrents pour choisir le vélo ou la trottinette électrique comme alternative).

Ensuite, 'l'opportunité physique' exerce une grande influence, mais les différences entre les modes de transport étaient absentes (d'un point de vue statistique), présentant essentiellement des différences entre les utilisateurs réguliers et les utilisateurs non réguliers (quel que soit le mode de transport). 'L'opportunité physique', qui peut entraver l'utilisation de ces modes de transport, ne diffère pas en fonction du mode de transport proprement dit (en termes de disponibilité, de temps, de budget, de possibilités de stationnement, etc.) En pratique, cela signifie que les trottinettes électriques ne sont pas considérées comme moins ou plus disponibles, plus coûteuses, plus chronophages, etc. que les vélos ou les vélos électriques par les utilisateurs non réguliers. Nous observons une cohérence avec les résultats précédents où la plupart des utilisateurs non réguliers ont indiqué ne pas disposer de système partagé ou ne pas savoir s'il en existe un à proximité.

La 'capacité physique' et la 'capacité psychologique' semblent jouer un rôle tout aussi important en termes d'obstacles à l'utilisation de l'un des modes de transport. Les utilisateurs non réguliers de vélos classiques accordent une note beaucoup plus élevée à la capacité physique comme raison entravant l'utilisation d'un vélo, par rapport aux utilisateurs non réguliers des autres modes de transport. Étant donné que l'utilisation d'un vélo classique exige un effort physique plus important que celle d'une trottinette électrique et, dans une certaine mesure, que celle d'un vélo électrique si l'on ne tient pas compte de la longueur du trajet, il est assez logique que son utilisation soit considérée comme un facteur limitant. La 'capacité physique' est encore plus entravante que 'l'opportunité physique' pour l'utilisation du vélo, qui, en général, est davantage considérée comme un obstacle par rapport à tous les autres modes de transport. Les trottinettes électriques et les vélos électriques représentent également des difficultés en ce qui concerne la 'capacité physique', mais dans une moindre mesure. Cela peut s'expliquer par l'assistance électrique de ces appareils.

En ce qui concerne la 'capacité psychologique', il n'y a pas de différences statistiquement significatives entre les différents modes de transport, ce qui montre à nouveau des différences entre les utilisateurs réguliers et les utilisateurs non réguliers. La capacité psychologique, qui peut entraver l'utilisation de ces modes de transport, ne diffère pas en fonction du mode de transport proprement dit (en termes de force mentale, d'endurance mentale, de connaissances, etc.) En pratique, les utilisateurs non réguliers ne considèrent pas les trottinettes électriques comme moins ou plus fatigantes mentalement, plus compliquées, etc. que les vélos ou les vélos électriques. Les utilisateurs non réguliers constatent que, pour utiliser l'un de ces modes, il faut davantage de connaissances, d'endurance mentale, de force mentale, etc. En outre, une corrélation a été établie avec l'activité physique pratiquée par le répondant sur base hebdomadaire. Il en ressort que les personnes qui pratiquent une activité physique plus intense considèrent non seulement la 'capacité physique' mais aussi la 'capacité psychologique' comme un obstacle moins important à l'utilisation de ces modes de transport.

Enfin, c'est 'l'opportunité sociale' qui fait le moins obstacle à l'utilisation de ces modes de transport. Ici, les utilisateurs non réguliers de vélos considèrent davantage 'l'opportunité sociale' comme une raison qui empêche l'utilisation du vélo, par rapport aux utilisateurs non réguliers des autres modes de transport. Nous n'avons pu observer aucune différence entre les autres modes de transport. En pratique, pour faire du vélo, ces utilisateurs non réguliers aimeraient avoir davantage de soutien de la part des autres ou voir plus de personnes l'utiliser avant de l'utiliser eux-mêmes. Ce n'est pas vraiment le cas pour les autres modes de transport. Cependant, le soutien d'autrui peut inciter à utiliser également les autres modes de transport, même si c'est dans une moindre mesure.

2.5.3 Choix du mode de transport : synthèse des raisons et des facteurs sous-jacents

Si nous résumons les modèles et les conclusions, les résultats montrent que motivations secondaires, jouent aujourd'hui le rôle le plus important dans le choix du mode de transport (p.ex., le fait de penser que le mode de transport est bon pour l'environnement, bon pour la santé, etc.). Ici, le vélo classique et le vélo électrique obtiennent de meilleurs résultats que la trottinette électrique. Le vélo classique et le vélo électrique sont donc de meilleurs produits pour répondre à ces besoins d'ordre supérieur. Les trottinettes électriques semblent répondre à ces besoins d'ordre supérieur dans une moindre mesure, peut-être en raison de leur connotation négative.

L'aspect utilitaire de ces modes de transport est la deuxième principale raison du choix du mode de transport (p.ex., faire les courses, aller à une réunion, rencontrer des amis, etc.) Ce sont le vélo classique et le vélo électrique en particulier qui enregistrent les meilleurs résultats à cet égard. Le vélo classique et le vélo électrique sont donc considérés comme contribuant davantage aux besoins spécifiques des déplacements

utilitaires (éventuellement comme une alternative à la voiture). En revanche, les trottinettes électriques obtiennent un moins bon résultat sur ce point, peut-être en raison des possibilités moindres de les utiliser comme mode de transport indépendant (c'est-à-dire aucune possibilité d'entreposage, moins de possibilités pour les bagages, etc.)

La norme subjective est l'aspect le moins important dans le choix d'un vélo, d'un vélo électrique ou d'une trottinette électrique (c'est-à-dire ce qu'une personne croit qu'une autre personne pourrait penser). Les utilisateurs réguliers de ces modes de transport (notamment les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques) tiennent davantage compte de cette norme subjective que les utilisateurs non réguliers, mais elle reste la raison la moins importante. Par ailleurs, cet aspect social ne constitue pas non plus un frein réel à l'utilisation de ces modes de transport. L'opinion d'autrui, le fait de voir d'autres personnes utiliser le mode de transport et le soutien d'autrui - ou son absence - n'empêchent pas immédiatement les individus de l'utiliser. La seule exception ici concerne les vélos, qui semblent être un peu plus influencés par cet aspect social par rapport aux trottinettes électriques et aux vélos électriques.

Dans les théories classiques du transport, la demande de déplacement est dérivée, ce qui suggère que les aspects utilitaires jouent un rôle clé dans le choix du mode de transport. Toutefois, nous constatons aujourd'hui que certains modes de transport peuvent être davantage associés à des sentiments d'ordre supérieur (dans ce cas, en particulier, le vélo classique et le vélo électrique), ce qui constitue une raison plus importante de choisir un mode de transport spécifique. Certains modes de transport ont clairement pour vocation d'être plus qu'un simple moyen de se rendre d'un point A à un point B.

Pour pouvoir utiliser ces modes de transport, il faut en avoir la capacité. Il ne s'agit pas seulement d'une capacité physique (c'est-à-dire avoir suffisamment de force physique, d'endurance ou d'aptitudes), mais aussi d'une capacité psychologique (p.ex., l'endurance mentale, la force mentale ou les connaissances). Les modes de transport plus exigeants physiquement, comme le vélo classique, ressentent vraiment un impact dans l'utilisation de cette capacité physique. C'est l'une des principales raisons pour lesquelles les individus n'utilisent pas le vélo, et ce, contrairement à une trottinette électrique ou à un vélo électrique qui ne nécessite pas autant d'efforts physiques (pour un vélo électrique, cela dépend en grande partie de la longueur du trajet). Par ailleurs, la capacité psychologique intervient en grande partie dans la non utilisation d'un mode de transport déterminé. Ici, les différences entre les modes de transport sont pratiquement absentes. La capacité d'une personne en matière de concentration, de focalisation et de connaissances joue un rôle essentiel pour tous ces modes de transport. L'activité physique est non négligeable ; elle joue même un rôle déterminant puisque nous avons constaté que les personnes qui pratiquent plus régulièrement une activité physique ont également moins de contraintes, tant au niveau de leur capacité physique que psychologique.

L'utilisation du mode de transport nécessite également une opportunité physique (p.ex., un mode de transport partagé disponible, des douches sur le lieu de travail, davantage de temps, etc.) Cette opportunité physique est effectivement une raison importante de ne pas utiliser ces modes de transport. Nous n'observons aucune différence entre les différents modes de transport. Par conséquent, les utilisateurs non réguliers estiment que, pour utiliser l'un de ces modes de transport, il faut plus de temps, plus d'argent, plus de disponibilité, etc.

Enfin, la motivation est le facteur le plus important, car il influence l'utilisation de ces modes de transport. La motivation réfléchie est l'un des problèmes fréquents cités par les utilisateurs non réguliers. Il semble être difficile de réfléchir et de raisonner de manière approfondie quant au choix d'un mode de transport. Nous n'avons pas observé de différence entre les modes de transport. Par ailleurs, la motivation automatique limite également le choix d'utiliser ces modes de transport. Les comportements habituels et les pensées et sentiments automatiques sont parfois absents ou difficiles à former. C'est encore plus vrai pour les vélos classiques et les vélos électriques que pour les trottinettes électriques. Les utilisateurs non réguliers de vélos classiques, et dans une certaine mesure de vélos électriques, ne pensent généralement pas naturellement à un vélo à l'évocation d'un voyage, ont des sentiments moins positifs à l'égard du vélo, ou n'éprouvent pas automatiquement du plaisir à l'utiliser, ce qui les conduit à ne pas utiliser le vélo. C'est également le cas pour les trottinettes électriques, mais dans une moindre mesure.

Seule la prise en compte de tous ces aspects permet une bonne compréhension pour faciliter l'utilisation de ces modes de transport. La théorie ERG et la Roue du Changement de Comportement (qui saisit les concepts de difficultés de déplacement, les attributs du niveau de service et, dans une certaine mesure, les caractéristiques sociodémographiques) ont permis de recueillir ces informations. Le raisonnement qui sous-tend le choix d'un mode de transport est un concept difficile à saisir. Pour illustrer cette difficulté, nous avons formulé notre propre interprétation sur le cadre conçu par Bláfoss Ingvarðson et al. (2019) à la figure 26.

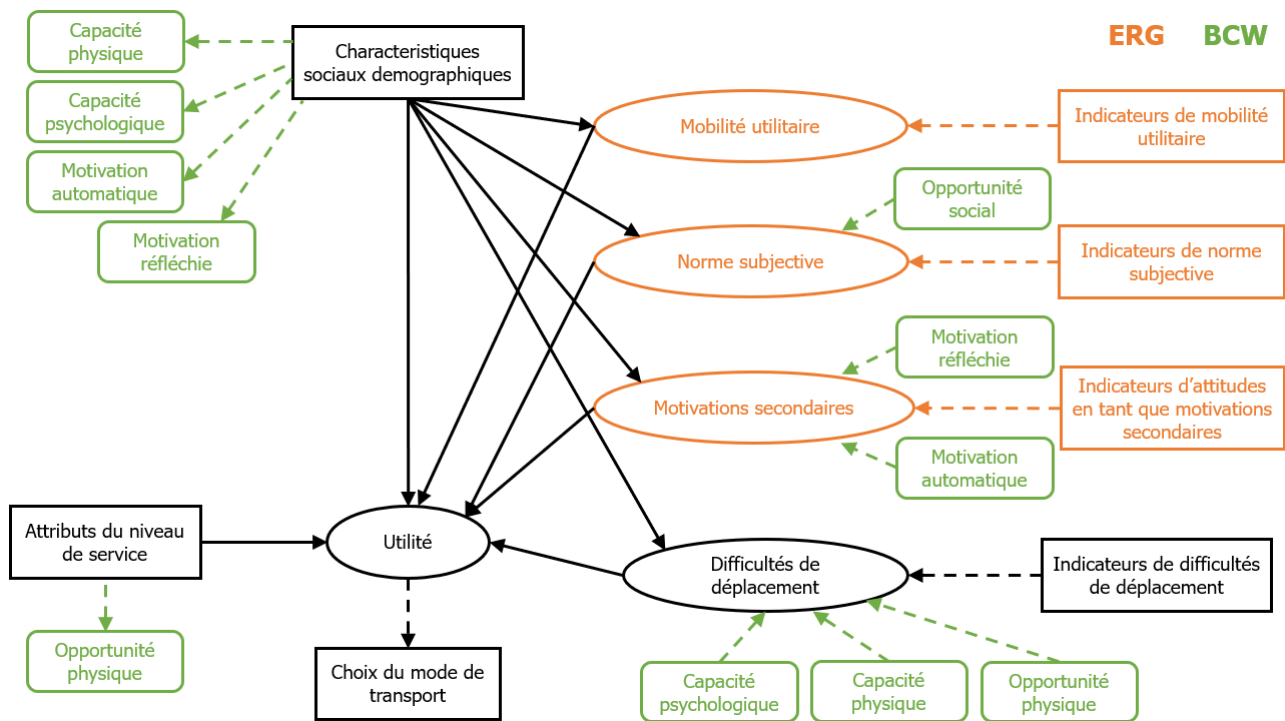


Figure 26: Interprétation personnelle du lien entre la théorie ERG et la théorie RCC et l'impact éventuel sur le choix du mode de transport appliqué au cadre du modèle conçu par Bláfoss Ingvarðson et al. (2019)

2.6 Synthèse intermédiaire des résultats

Les trottinettes électriques sont très peu utilisées par la population par rapport aux vélos électriques et aux vélos classiques (81,5 % n'ont jamais utilisé de trottinette électrique jusqu'à présent, tandis que 66,1 % n'ont jamais utilisé de vélo électrique et 34,4 % n'ont jamais utilisé de vélo classique jusqu'à présent). De même, les trottinettes électriques et les vélos classiques sont plus souvent utilisés par les jeunes, tandis que les vélos électriques sont davantage utilisés par les personnes plus âgées (c'est-à-dire que 50 % des utilisateurs réguliers de trottinettes électriques et 38 % des utilisateurs réguliers de vélos classiques ont moins de 35 ans, tandis que 50 % des utilisateurs réguliers de vélos électriques ont plus de 56 ans). C'est ce que reflète l'activité principale de l'utilisateur régulier, qui montre que les vélos électriques sont plus souvent utilisés par les pensionnés, tandis que les trottinettes électriques et les vélos classiques sont plus souvent utilisés par les étudiants et les personnes actives.

L'utilisation d'une trottinette électrique est plus fréquente à Bruxelles et à Liège et est plus populaire dans les environnements urbains. Les vélos et les vélos électriques sont plus souvent utilisés en Flandre, tout en étant populaires dans les environnements urbains, suburbains et en périphérie. En général, les vélos électriques, les trottinettes électriques et les vélos classiques sont moins utilisés dans les zones rurales, où l'on observe une plus grande utilisation de la voiture.

Les trottinettes électriques sont assez fréquemment utilisées par des personnes handicapées, par rapport aux vélos électriques et aux vélos classiques (30,8 % des utilisateurs réguliers de trottinettes électriques souffrent d'un handicap quelconque, contre 3,2 % pour les vélos électriques et 5,6 % pour les vélos classiques). Sur la base de ces informations, une trottinette électrique semble être un mode de transport plus inclusif. En outre, les utilisateurs réguliers de vélos sont les plus actifs physiquement (aussi bien les vélos électriques que les vélos classiques), mais tous les utilisateurs réguliers de ces modes de transport sont plus actifs physiquement que ceux qui ne les utilisent pas. Nous ignorons si une augmentation de l'activité physique entraîne une plus grande utilisation du mode de transport, ou si l'utilisation du mode de transport entraîne une plus grande activité physique.

La voiture et le vélo classique (ou même plusieurs) comptent parmi les modes de transport que les individus possèdent le plus. Les utilisateurs réguliers de vélos électriques et de vélos classiques les possèdent principalement à titre privé et n'utilisent que rarement les systèmes de vélos partagés. L'offre réduite de vélos partagés (électriques) joue probablement un rôle dans cette moindre utilisation. Par ailleurs, les utilisateurs

réguliers de trottinettes électriques possèdent une trottinette électrique dans 63% des cas, mais l'utilisation partagée est fréquente également. La trottinette électrique semble donc plus populaire en ce qui concerne l'utilisation partagée que les vélos et les vélos électriques. La disponibilité des trottinettes électriques est également la plus élevée pour les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques par rapport aux vélos et aux vélos électriques. Cependant, un certain nombre de personnes n'ont aucune idée de la disponibilité éventuelle d'un appareil partagé.

L'espace disponible pour entreposer les modes de transport est rarement un problème à la maison. Sur le lieu de destination, l'entreposage des vélos électriques et des vélos classiques semble être plus souvent un problème. La nécessité d'un plus grand espace pour entreposer un vélo, avec de bonnes mesures de sécurité, peut éventuellement l'expliquer (risque de vol). En outre, nous avons constaté que les personnes évoquant la plus grande difficulté d'entreposer ces modes de transport sont celles avec un revenu plus faible. L'entreposage du mode de transport à domicile est également considéré comme plus difficile pour les personnes vivant dans des zones urbaines. Les garages verrouillables pour vélos peuvent éventuellement contribuer à résoudre ce problème, mais ils peuvent également inciter les autorités à fournir un stationnement sécurisé sur la voie publique pour d'autres modes de transport que les voitures. Les personnes qui n'utilisent pas (fréquemment) ces modes de transport ont indiqué plus souvent ne pas disposer d'un espace suffisant à domicile ou sur leur principal lieu de travail pour entreposer le mode de transport. Il peut s'agir d'une raison pour ne pas l'utiliser mais aussi d'une mauvaise estimation de l'espace requis, d'où le choix de ne pas acheter en premier lieu l'un des modes de transport.

En général, la voiture reste le mode de transport le plus populaire pour les déplacements, notamment pour les voyages de loisirs. Le vélo et la marche occupent également une place importante, pour tous les motifs de déplacement. Les transports publics sont principalement empruntés pour les déplacements domicile-travail et, dans certains cas, pour les loisirs. L'utilisation d'une trottinette électrique est assez marginale. Toutefois, nous avons remarqué que les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques sont moins souvent titulaires d'un permis de conduire (28 % des utilisateurs de trottinettes électriques n'ont pas de permis, contre 12 % à 15 % pour les trottinettes électriques et les vélos classiques). Le taux plus faible de possession d'un permis de conduire peut s'expliquer en partie par le fait que les trottinettes électriques sont le plus souvent utilisées dans des zones urbaines, qu'elles sont plus faciles à entreposer et qu'elles sont utilisées par des personnes plus jeunes.

Les utilisateurs réguliers de vélos classiques, de vélos électriques et de trottinettes électriques prennent moins souvent la voiture que ceux qui n'utilisent pas régulièrement ces modes de transport. Inversement, la majeure partie de cette plus faible utilisation de la voiture est compensée par l'utilisation du vélo, du vélo électrique ou de la trottinette électrique. De plus, les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques et de vélos classiques empruntent plus souvent les transports publics que les utilisateurs non réguliers, alors que les vélos électriques sont un concurrent direct des transports publics. Pour la marche, nous n'avons observé aucune différence, la marche n'étant pas fortement influencée par l'un ou l'autre de ces modes de transport. En outre, l'utilisation d'une trottinette électrique n'a pas d'incidence sur l'utilisation du vélo, puisque les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques utilisent toujours aussi souvent le vélo que les autres utilisateurs non réguliers des différents modes de transport. Pour ces modes de transport, nous pouvons affirmer que lorsque l'un d'eux est ajouté au mix de mobilité (p.ex., la trottinette électrique), cela ne limite en rien les options de la personne, mais cela élargit simplement le 'portefeuille' de modes de transport. L'effet nul sur la marche tend également à contredire les résultats précédents. La prudence est de mise en ce qui concerne le cadre de ce questionnaire. Ici, ce sont les effets généraux et l'utilisation générale qui ont fait l'objet de questions, alors que d'autres recherches tendent à se concentrer davantage sur le remplacement de modes de transport spécifiques au niveau du voyage (p.ex., interroger les individus sur le mode de transport qu'ils auraient pris pour un voyage spécifique). Il est donc impossible d'établir des comparaisons directes avec ces études. Néanmoins, cette approche plus générale permet de réduire le risque de remplacement fortuit du mode de transport (p.ex., prendre la voiture parce que quelqu'un devait faire des courses), tout en tenant davantage compte des choix délibérés.

La longueur des trajets varie selon le mode de transport. La marche est assez populaire pour les déplacements du premier ou du dernier kilomètre ainsi que pour les déplacements jusqu'à 5 km (plus axés sur les loisirs), tandis que la voiture et les transports publics sont les plus susceptibles d'être utilisés pour les distances supérieures à 20 km. Les trottinettes électriques et les vélos classiques affichent une part égale dans les déplacements du premier et du dernier kilomètre, mais les trottinettes électriques sont également très populaires pour les distances comprises entre 5 et 10 km, alors que les vélos classiques sont plus souvent utilisés pour les déplacements compris entre 2 et 5 km. Les vélos électriques sont également les plus utilisés

sur des distances comprises entre 5 et 10 km, mais ils sont aussi très fréquemment utilisés pour des trajets plus longs et sont, par conséquent, un concurrent direct des transports publics. Chaque mode de transport est utilisé pour des trajets de longueur différente, mais une combinaison de différents modes de transport peut également influencer la répartition modale globale de l'utilisateur.

Ce questionnaire a mis en lumière l'impact de la pandémie de COVID, montrant que la marche et le vélo gagnaient en popularité, tandis que l'utilisation des transports publics diminuait considérablement. De même, les trottinettes électriques sont aujourd'hui utilisées un peu plus fréquemment que durant la période pré-covid.

Le choix d'une trottinette électrique, d'un vélo électrique et d'un vélo classique dépend de nombreux facteurs pour lesquels il a été tenu compte de la satisfaction des besoins. Pour les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques, les aspects utilitaires, la norme subjective et les attitudes d'ordre supérieur sont presque aussi importants. Cependant, ce que les autres croient ou pensent est plus important pour eux que pour les cyclistes. Le désir d'appartenance à la communauté semble donc jouer un rôle plus important pour les utilisateurs de trottinettes électriques que pour les cyclistes. Les considérations pratiques et les besoins d'ordre supérieur sont moins importants pour les utilisateurs réguliers de trottinettes électriques que pour les utilisateurs réguliers de vélos, probablement parce que la trottinette électrique est plus éloignée de ces aspects (c'est-à-dire que la trottinette électrique est moins pratique, par exemple pour le transport de marchandises). Cette différence avec les vélos classiques et les vélos électriques peut peut-être s'expliquer par le manque de connaissance et de maturité du marché des trottinettes électriques, qui a un impact sur l'attitude, ou par le fait que l'on considère ce mode de transport dans une perspective plus large qui ne répond pas seulement à un type de besoin spécifique.

En ce qui concerne le vélo (qu'il soit électrique ou classique), l'opinion des autres ne donne pas lieu à une utilisation spécifique du mode de transport. Néanmoins, les aspects utilitaires et les besoins d'ordre supérieur sont très importants. Pour les utilisateurs réguliers de vélos électriques, les aspects utilitaires sont encore plus importants que pour les utilisateurs réguliers de vélos classiques. L'accent est mis sur l'aspect pratique du vélo électrique (p.ex., aller au travail, faire les courses, rencontrer des amis, etc.), ainsi que sur l'intérêt général (p.ex., parce qu'il est bon pour l'environnement, parce qu'il améliore la situation dans les villes, parce qu'il procure une sensation agréable, etc.) Les utilisateurs réguliers de vélos classiques se concentrent essentiellement sur l'intérêt général, tout en accordant une importance moindre à l'aspect pratique. Cette différence avec un vélo électrique est probablement due à l'assistance motorisée du vélo électrique, qui en fait une meilleure alternative à la voiture d'un point de vue pratique.

De surcroît, différents facteurs sous-jacents peuvent inciter les individus à n'utiliser aucun de ces modes de transport. Ils s'abstiennent surtout de les utiliser pour des raisons liées à la motivation (à la fois automatique et réfléchie), ainsi que pour des raisons liées à l'opportunité physique, la capacité physique et la capacité psychologique. Par conséquent, ils n'utilisent pas souvent le vélo électrique, la trottinette électrique et le vélo classique car :

- ils n'aiment pas l'utiliser ;
- ils ne pensent pas automatiquement à ces options en guise d'alternative ;
- ils ne prennent pas le temps d'examiner si cela répond à leurs besoins ;
- ils ne disposent pas des moyens suffisants (c'est-à-dire du temps et de l'argent) pour l'utiliser ;
- ils n'en disposent pas physiquement (p. ex., pas de dispositifs privés ni de dispositifs partagés) ;
- ils n'ont pas d'installations à leur disposition (p.ex., douches, lieu d'entreposage, etc.) ;
- ils sont soumis à des contraintes physiques en ce qui concerne la force et l'endurance physique ;
- ils ne disposent pas des compétences requises pour l'utiliser ;
- ils ne font pas suffisamment confiance dans le mode de transport ;
- ils manquent de connaissances ;
- ils ont des contraintes psychologiques qui les empêchent de se concentrer pleinement.

L'opportunité sociale joue un rôle mineur (p.ex., davantage de soutien de la part des autres, être entouré de personnes qui le font aussi, etc.) et il en va de même pour les besoins (c'est-à-dire que la norme subjective joue un rôle moindre également).

Les personnes handicapées rencontrent plus de problèmes en ce qui concerne la capacité physique et psychologique (c'est-à-dire un effet direct du handicap), ainsi qu'en ce qui concerne l'opportunité physique et sociale (c'est-à-dire plus de contraintes en matière de temps, d'argent et d'accessibilité, tout en tenant davantage compte de ce que les autres peuvent penser d'elles). À cet égard, nous recommandons la réalisation d'études complémentaires.

Parmi les modes de transport, les vélos classiques semblent être davantage confrontés à des obstacles. Alors que pour certains facteurs, il n'y avait aucune différence entre les modes de transport, l'utilisation d'un vélo classique était davantage entravée en ce qui concerne la motivation automatique et la capacité physique. Ce dernier point n'est pas surprenant, en raison de l'absence d'assistance électrique, par rapport aux autres modes de transport. Puisque l'utilisation d'un vélo classique exige beaucoup plus d'efforts physiques qu'une trottinette électrique et, dans une certaine mesure que le vélo électrique (si l'on ne tient pas compte de la longueur du trajet), il est assez logique que ce facteur soit considéré comme limitant. La capacité physique est encore plus gênante que l'opportunité physique d'utiliser un vélo, qui était à l'origine davantage considéré comme un obstacle pour tous les modes de transport. En outre, une corrélation a été établie avec l'activité physique pratiquée par le répondant sur base hebdomadaire, montrant qu'une activité physique plus importante entraîne un impact moindre de cette capacité physique. Cependant, les mesures visant à accroître l'utilisation des modes de transport ne doivent pas être adaptées à un mode de transport spécifique, puisque tous les modes de transport peuvent bénéficier des mêmes actions. En général, une attention particulière peut être accordée à des interventions ciblant la motivation, la capacité et l'opportunité physique afin de préparer les individus à l'utilisation de ces modes de transport. Il n'est pas nécessaire de se concentrer sur l'opportunité sociale. Toutefois, pour promouvoir davantage le vélo, il convient de mettre davantage l'accent sur les aspects de la capacité physique et de la motivation automatique.

Par conséquent, alors que les besoins d'ordre supérieur et inférieur sont considérés comme les facteurs les plus importants lors du choix des modes de transport, ce sont en réalité la capacité et la motivation qui empêchent les utilisateurs non réguliers de les utiliser. Cela semble confirmer que, dans l'ensemble, les utilisateurs réguliers sont plus favorables que les utilisateurs non réguliers, principalement parce qu'ils ont essayé le mode de transport et en ont donc reconnu les aspects positifs. Néanmoins, il convient de tenir compte de l'opportunité physique. Cette opportunité physique peut être indépendante de la volonté de l'individu proprement dit (c'est-à-dire qu'une personne ne peut pas facilement trouver plus de temps, plus d'argent, avoir davantage de modes de transport à sa disposition, etc.) ou peut être le résultat d'une perception erronée (c'est-à-dire penser que le mode de transport est plus lent, plus cher, difficilement disponible, etc.). La norme subjective et l'opportunité sociale semblent avoir la plus faible influence.

La mise en corrélation de toutes ces informations sur le comportement avec les caractéristiques de la mobilité et les résultats mentionnés précédemment (p.ex., les possibilités d'entreposage, l'utilisation par les personnes handicapées, l'effet amplificateur du choix des transports publics plutôt que des vélos et des trottinettes électriques, le degré d'urbanisation, l'âge des utilisateurs, etc.) montre que les trottinettes électriques, les vélos électriques et les vélos classiques ont leur propre domaine d'utilisation spécifique et ne remplacent pas simplement un autre mode de transport. En outre, une personne qui utilise une trottinette électrique ne choisira pas le vélo si la trottinette électrique lui est retirée (ce que révèlent les chiffres de la non-utilisation qui montrent principalement une utilisation accrue de la voiture). Il en va de même pour les vélos classiques et les vélos électriques, en montrant les raisons spécifiques qui incitent à utiliser ce mode de transport particulier.

Toutefois, les trottinettes électriques, les vélos électriques et les vélos classiques peuvent éventuellement soient des rivaux les uns des autres pour des déplacements spécifiques (p.ex., une trottinette électrique est utilisée aussi souvent qu'un vélo pour les déplacements du premier au dernier kilomètre), mais il semble que l'effet bénéfique collectif concerne surtout le remplacement de la voiture pour ces déplacements. Par ailleurs, le choix du mode de transport est un concept difficile à appréhender, qui ne repose plus uniquement sur la demande dérivée, mais prend en compte bien d'autres aspects. C'est ce qu'ont montré clairement les modèles psychologiques et le simple fait qu'un ménage possède très fréquemment un vélo classique, et ce même les personnes considérées comme des utilisateurs non réguliers (c'est-à-dire ceux qui roulent moins souvent qu'une fois par semaine). Le fait qu'un individu ait accès à un mode de transport ne fait pas de lui un utilisateur régulier.

3 L'impact environnemental des trottinettes électriques

3.1 Méthodologie

Cette partie évalue la performance environnementale des trottinettes électriques en ce qui concerne les émissions de CO₂. L'évaluation suit les étapes présentées dans la norme ISO 14044 relative à l'analyse du cycle de vie (ACV). Cette partie de l'étude poursuit un objectif à multiples facettes. Le premier objectif est l'évaluation de l'impact environnemental des différentes étapes du cycle de vie des trottinettes électriques, en établissant une distinction entre les trottinettes électriques partagées et les trottinettes électriques privées. Deuxièmement, il s'agit de comprendre si et dans quelle mesure l'impact des trottinettes électriques est plus important que les modes de transport qu'elles remplacent. Le dernier objectif consiste à examiner les améliorations et à estimer l'évolution attendue.

La portée de l'étude peut se résumer dans le diagramme suivant des frontières du système (Figure 27). Pour les calculs de l'impact des matériaux et des composants sur l'environnement (équivalents CO₂), nous utilisons la totalité de la liste, dont nous discuterons plus loin. La section suivante traite uniquement des principaux composants.

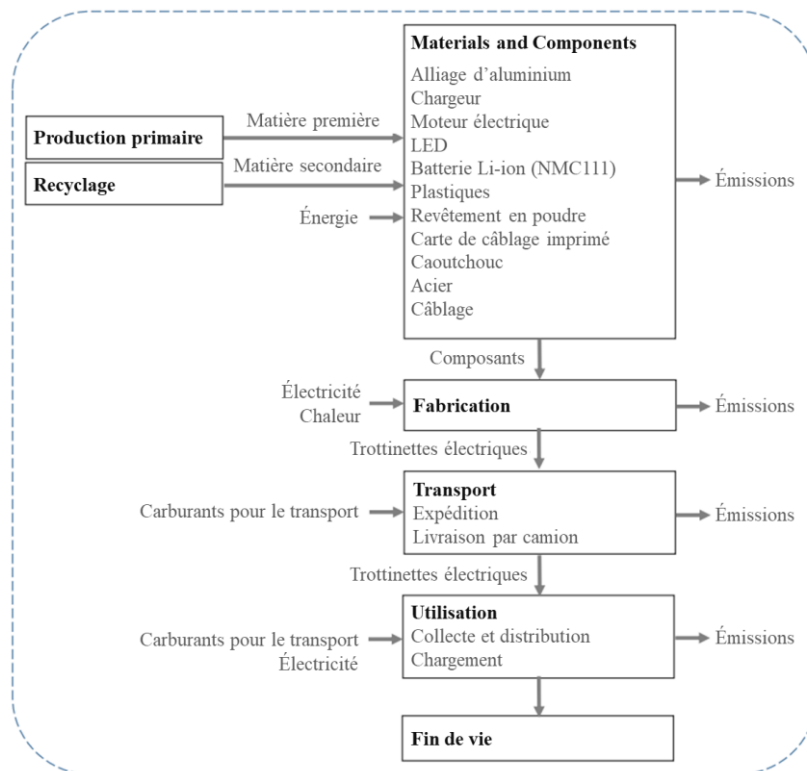


Figure 27: Diagramme des frontières du système. Source : (Hollingsworth et al., 2019).

Les principales informations utilisées pour cette étude reposent sur un rapport (Cazzola & Crist, 2020) du Forum international des Transports (FIT). En outre, un outil d'évaluation développé par le FIT, accessible au grand public, a également été utilisé afin de quantifier l'impact environnemental des différents modes de transport. L'outil a été **adapté à la situation belge**, certains chiffres ayant été mis à jour en fonction du transport en Belgique (il s'agissait à l'origine de données américaines), de même pour le mix électrique belge utilisé à la place de la moyenne mondiale. En procédant de la sorte, l'analyse est davantage à jour et applicable aux trottinettes électriques en Belgique car ces chiffres diffèrent considérablement des chiffres américains/internationaux.

Deuxièmement, une revue de la littérature approfondie a été menée pour identifier les ACV de trottinettes électriques existantes. La sélection d'articles a permis d'obtenir un large éventail d'estimations des émissions de gaz à effet de serre du cycle de vie des trottinettes électriques privées et partagées selon un certain nombre de scénarios différents.

Enfin, pour compléter les informations disponibles dans la littérature scientifique et la littérature grise et pour inclure les connaissances les plus récentes, des entretiens ont été organisés avec les opérateurs de trottinettes électriques partagées Bird, Lime, Voi, Dott et Tier, ainsi qu'avec un revendeur de trottinettes électriques privées. Sur la base de connaissances préalables issues de la revue de la littérature, ces entretiens ont abordé un certain nombre de sujets différents :

- La production des matériaux requis est la phase la plus polluante du cycle de vie
 - Quels sont les composants le plus souvent en panne et comment les opérateurs envisagent-ils de prolonger leur durée de vie ?
 - Quelle est l'évolution de la durée de vie d'une trottinette électrique
 - Comment la fin de vie d'une trottinette électrique est-elle déterminée et une norme d'entretien est-elle mise en place ?
 - Autres détails sur la fin de vie, comme ce qu'il advient de la batterie et de la trottinette électrique proprement dite lorsqu'elles arrivent à la fin de leur cycle de vie.
- Les services opérationnels constituent le deuxième aspect le plus polluant du cycle de vie
 - Le processus de distribution et de charge et l'impact des batteries interchangeables
- Les ambitions en matière de durabilité et le délai prévu pour les réaliser.

Désormais, nous ferons référence aux opérateurs de manière anonyme si ces informations ont été recueillies lors d'un entretien. Le cas échéant, les éléments mis en évidence lors de ces entretiens sont repris dans la discussion sur l'ACV. Les noms des opérateurs peuvent être mentionnés lorsque les informations sont accessibles au grand public.

3.2 Inventaire du cycle de vie

Dans cette partie, nous identifions tous les facteurs du cycle de vie d'une trottinette électrique susceptibles de contribuer aux émissions de gaz à effet de serre. Les facteurs peuvent être regroupés dans cinq grands composants qui sont présentés à la figure 28. Un certain nombre de scénarios sont examinés pour chaque facteur au sein d'un composant. Afin de savoir lesquels de ces scénarios théoriques sont d'application en Belgique, nous avons inclus des informations tirées des entretiens avec les opérateurs de trottinettes électriques partagées.

Par ailleurs, afin de concentrer nos efforts sur la situation actuelle en Belgique, nous donnons des détails concernant les services de trottinettes électriques partagées à Bruxelles, dans la mesure où ces données sont disponibles. Si ces données ne le sont pas, nous utilisons des données provenant d'autres régions du monde. Nous avons choisi Bruxelles en premier lieu car c'est la ville qui présente la plus forte concentration d'opérateurs et le plus grand nombre d'appareils disponibles, tout en étant la seule ville de référence de Belgique utilisée dans des comparaisons internationales. La prudence s'impose donc pour la transposition de la discussion et des conclusions à d'autres villes belges. Si le transport pour la livraison initiale, les services opérationnels et les infrastructures peuvent différer d'une ville à l'autre, les autres composants et les principes généraux restent les mêmes.

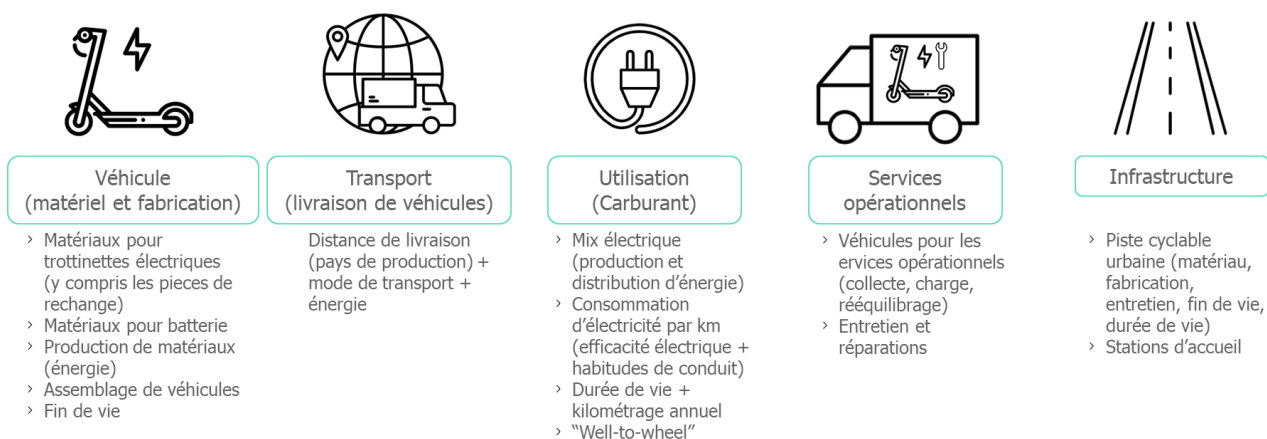


Figure 28: Les composants contribuant aux émissions de GES du cycle de vie d'une trottinette électrique partagée.

3.2.1 Véhicule

Le composant véhicule contribue aux émissions de gaz à effet de serre (GES) par la production et l'assemblage des matériaux requis. Par conséquent, il est indispensable d'identifier les principaux composants des véhicules de micromobilité ainsi que les facteurs qui définissent la durée de vie. Sur la base de la figure 29 nous pouvons établir une liste des principaux composants :

- Le cadre
- La batterie
- Le moteur électrique
- Le variateur
- Les pièces d'usure (pneus, freins, jantes, suspension)
- Les composants électroniques

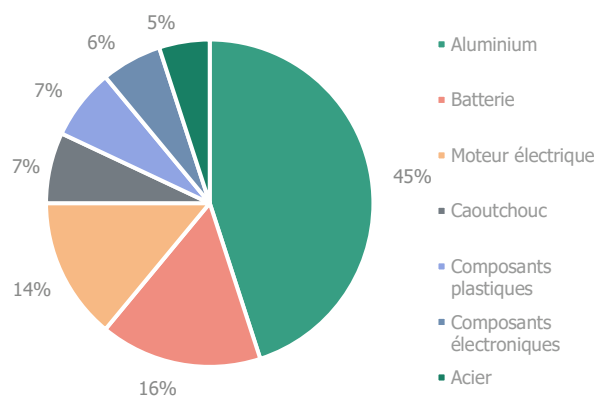


Figure 29: Part des matériaux d'une trottinette électrique. Source: (Severengiz et al., 2020)

D'autres aspects tels que la conception, la production et la fin de vie sont également abordés dans cette section car ils influencent les émissions lors du cycle de vie des trottinettes électriques et peuvent donc être considérés comme faisant partie du composant véhicule.

Veillez noter que le marché des trottinettes électriques privées peut présenter de grandes différences de qualité. Les trottinettes électriques de type « jouet », qui coûtent entre 100 et 200 euros, diffèrent largement des véhicules « de rue » dont le prix est généralement supérieur à 500 euros. Cette différence peut influencer considérablement le cycle de vie du véhicule et ses émissions. Cette étude n'a cependant pas permis d'approfondir cette différence.

3.2.1.1 Cadre

Selon une étude de marché, la plupart des cadres des trottinettes électriques partagées et privées sont actuellement fabriqués en alliage d'aluminium de qualité aérospatiale ou industrielle, en raison de leur légèreté, de leur rigidité et de leur résistance à la corrosion. C'est pourquoi ils sont adaptés à des conditions d'usage difficiles. Environ la moitié du poids total d'une trottinette électrique provient de l'aluminium utilisé pour le cadre qui est fabriqué en partie à partir d'aluminium recyclé. Le cadre de la dernière trottinette électrique de Bolt, l'opérateur qui détient la plus grande part de marché en Europe, est entièrement fabriqué en aluminium recyclé (Bolt Blog, 2020). Une modification importante a donc été apportée pour permettre d'utiliser de l'aluminium recyclé pour le cadre et rendre ainsi plus durables les dernières générations de trottinettes et de vélos électriques partagés. Les parties du cadre qui doivent être renforcées peuvent être fabriquées en acier, mais cela augmente le poids du véhicule. Les véhicules haut de gamme (principalement les véhicules privés) peuvent être équipés de pièces en fibre de carbone, plus légères et plus robustes que celles en aluminium. En revanche, ce matériau est plus coûteux et plus difficile à utiliser lors du processus de fabrication. Nous n'avons pas pu déterminer la part d'aluminium recyclé dans les trottinettes électriques privées et nous estimons donc qu'elle est faible.

3.2.1.2 Batterie

La batterie d'un véhicule de micromobilité stocke et fournit de l'énergie au moteur électrique pour faire avancer l'utilisateur. La capacité de la batterie, exprimée en Wh ou Ah, définit l'autonomie du véhicule. Après une brève consultation du marché privé, la majorité des batteries de trottinettes électriques déclarent une capacité comprise entre 4 Ah et environ 15,3 Ah, soit une autonomie comprise entre 12 km et 64 km.

Il existe différentes technologies de batteries rechargeables telles que Li-ion, Lead-acid, Ni-Cd, etc. D'après une étude de marché sur les trottinettes électriques privées et partagées les plus récentes, la batterie Li-ion est le type de batterie le plus utilisé en raison de ses propriétés intrinsèques (Clean Energy Institute, 2020):

- Efficacité énergétique et densité de puissance élevées
- Haute fiabilité et faible entretien
- Taux d'autodécharge raisonnable
- Une grande durée de vie avec un nombre élevé de cycles de charge

Pour garantir la sécurité de la batterie pendant son utilisation et son processus de charge, la batterie doit être de bonne qualité, isolée et dotée d'un système de gestion de la batterie (BMS) qui surveille son état de santé (SoH) (Bird Cities Blog, 2022). Le BMS préserve la durée de vie de la batterie en surveillant la température, la tension et le courant pendant son utilisation. Il détermine également le niveau de charge de la batterie, organise la recharge et empêche une surcharge ou une trop grande décharge de la batterie (Vezzini, 2014). En outre, le BMS permet de détecter les anomalies qui peuvent compromettre la durée de vie de la batterie. Il peut s'agir d'un court-circuit ou d'une infiltration d'eau qui entraîne la désactivation de la batterie, ou d'une augmentation de la température de la batterie, pour laquelle la tension et le courant seront ajustés afin de garantir les bonnes conditions de fonctionnement de la batterie (Jossen et al., 1999). Le BMS peut donc jouer un rôle important dans l'optimisation de la batterie, de sa durée de vie totale et du cycle de vie de l'appareil.

En pratique, deux principaux types de support de batterie sont utilisés dans les véhicules de micromobilité : les batteries intégrées au cadre et les batteries interchangeables. Chaque type de batterie a ses propres avantages et inconvénients. Si les opérateurs de véhicules partagés ont recours aux deux types de support sur leurs trottinettes électriques, les trottinettes électriques privées sont généralement équipées d'une batterie intégrée. Les batteries intégrées sont moins susceptibles d'être volées et endommagées car elles disposent de boîtiers renforcés, et présentent moins de risques d'être malmenées pendant la charge (Battery Solutions, 2022). L'inconvénient de cette technologie est que le processus de charge nécessite de brancher le véhicule en entier, ce qui rend l'opération plus difficile. D'un point de vue financier, l'utilisation de batteries interchangeables réduit les coûts de charge de 60 à 80 % ; elles sont par conséquent indispensables pour garantir la rentabilité des opérateurs de trottinettes électriques partagées (The Next Web, 2022).

Voilà pourquoi les batteries interchangeables semblent avoir convaincu les opérateurs, puisque les derniers modèles de Bird, Lime, Voi, Bolt, Dott et TIER en sont équipés. Les batteries interchangeables sont considérées comme une technologie permettant de résoudre le problème de l'impact environnemental et de la durabilité des véhicules de micromobilité partagée. Selon les ACV réalisées par des tiers pour certains opérateurs, elles pourraient réduire les émissions opérationnelles de CO₂ de 56 % à 81 %, et pourraient également présenter d'autres avantages (Dott Blog, 2021). Par exemple, une batterie interchangeable peut prolonger la durée de vie du véhicule en évitant l'usure due au transport ou à la charge dans une camionnette. Dans (Dott, 2022), Dott indique que 83 % de leurs trajets sont effectués avec des batteries interchangeables et que l'un de leurs objectifs est d'équiper tous leurs véhicules de batteries interchangeables d'ici 2025.

Des inconvénients peuvent néanmoins apparaître tant pour les véhicules privés que pour les véhicules partagés lors du remplacement des batteries. Premièrement, le risque de dommages est plus important car il y a davantage de pièces mobiles en jeu, la batterie peut tomber ou être mal installée. Il en résulte un risque pour la sécurité du personnel ou de l'utilisateur et pour la durée de vie de la batterie (Gauquelin, 2020). Deuxièmement, ce type de batterie est généralement plus lourd et plus encombrant et le cadre a besoin de renforcements, d'un cadenas et d'un connecteur. Ceci augmente le poids du véhicule mais cela peut également être considéré comme un avantage pour les appareils partagés (Lawrence, 2021). Enfin, il convient également de tenir compte du vandalisme qui joue un rôle majeur. Les batteries interchangeables doivent être équipées de boîtiers renforcés et des mesures doivent être prises pour éviter les vols faciles mais ces dispositifs peuvent également compliquer le remplacement de la batterie par l'opérateur.

3.2.1.3 Moteur électrique

Le moteur électrique détermine en grande partie les performances d'une trottinette électrique. Une étude du marché montre que le moteur peut se trouver au niveau de la roue avant ou arrière, le moteur électrique sans balais étant le type de moteur le plus utilisé. Voici les avantages de cette technologie sans balais (Horizon Micromobility, 2022):

- Efficacité élevée
- Taille réduite
- Longue durée de vie
- Silencieuse
- Pas d'usure des balais (moins d'entretien)

Un moteur de petite taille mais puissant, qui dure longtemps et nécessite peu d'entretien, est idéal du point de vue de la réduction des émissions liées à sa fabrication et à son entretien.

La principale caractéristique du moteur électrique est sa puissance exprimée en Watt, qui définit les capacités d'accélération, la capacité à transporter des charges lourdes et à monter une côte. Les fiches techniques des constructeurs présentent deux types de puissance, à savoir la puissance en crête et la puissance continue ou nominale. La première fait référence à la puissance maximale que le moteur électrique peut fournir sur une courte période, tandis que la seconde fait référence à la puissance que le moteur électrique peut fournir en continu. Il est donc plus approprié d'utiliser cette dernière lorsque l'on compare différentes technologies de moteurs, car elle est plus représentative de son utilisation réelle. D'après une étude de marché, la puissance continue des moteurs électriques dont sont équipées les trottinettes électriques homologuées varie entre 250 et 500 W.

3.2.1.4 Variateur

Le variateur établit le lien entre la batterie et le moteur électrique et reçoit des signaux de commande lorsque le conducteur utilise l'accélérateur ou les freins. Lors d'un entretien avec un vendeur privé de micromobilité, ce dernier a indiqué que ce composant est assez sensible et qu'il fait régulièrement l'objet de réparations sur les trottinettes électriques, surtout pour les modèles moins coûteux, mais que la réparation n'est pas coûteuse si un variateur est encore disponible sur le marché.

3.2.1.5 Pièces d'usure : pneus, freins et suspension

Il existe trois types de pneus, chacun avec ses avantages et ses inconvénients (Strobel, 2021):

Tableau 7: Différents types de pneus montés sur les trottinettes électriques.

Type	<u>Ordinaire</u>	<u>Plein</u>	<u>Alvéolé</u>
			
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> Bonne prise en main Bonne absorption des chocs Facile à trouver 	<ul style="list-style-type: none"> Résistant à la crevaison Peu d'entretien 	<ul style="list-style-type: none"> Résistant à la crevaison Plus souple qu'un pneu plein
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> Entretien (risque de crevaison) 	<ul style="list-style-type: none"> Plus lourd Trajet plus cahoteux Perte de traction 	<ul style="list-style-type: none"> Coûteux

D'après une étude de marché sur les trottinettes électriques, les pneus ordinaires et les pneus pleins sont les plus populaires, tant pour les trottinettes électriques privées que pour les trottinettes électriques partagées. Les pneus pleins et alvéolés sont utilisés sur certaines trottinettes électriques partagées en raison de leur résistance à la crevaison et de leur faible entretien, un avantage en cas d'utilisation intensive. Les pneus pleins, plus lourds, font donc augmenter le poids des trottinettes électriques partagées par rapport aux trottinettes électriques privées dotées de pneus ordinaires.

L'étude de marché montre en outre que les véhicules de micromobilité peuvent également être équipés d'une suspension qui permet d'amortir les vibrations lors de la conduite sur des routes accidentées. La plupart des trottinettes électriques bon marché n'ont pas de suspensions, tandis que les trottinettes électriques plus coûteuses ont des suspensions hydrauliques, en caoutchouc ou à ressort. Les derniers modèles de trottinettes électriques partagées sont équipés d'un système de suspension pour les pneus pleins ou alvéolés alors que les trottinettes électriques à pneus ordinaires n'ont pas de système de suspension.

Il existe différents types de freins qui peuvent être classés dans deux grandes catégories : les freins mécaniques composés de freins à tambour ou à disque, et les freins électroniques. Leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau 8 (Electric Scooter Guide, 2022a).

Tableau 8: Différents types de freins sur les trottinettes électriques

Type	Avantages	Inconvénients
<p><u>Disque</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Excellent contrôle et puissance de freinage • Bonne performance par temps humide 	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien • Peut endommager le rotor de la roue
<p><u>Tambour</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible entretien • Performances constantes par temps humide 	<ul style="list-style-type: none"> • Réparation compliquée • Plus lourd • Moins bonne performance que le disque
<p><u>Régénérateur</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'entretien supplémentaire • Récupération d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaises performances de freinage
<p><u>Électronique</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'entretien supplémentaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaises performances de freinage
<p><u>Frein à pied</u></p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Aucun entretien • Conception simple 	<ul style="list-style-type: none"> • Mauvaise performance (surtout par temps humide)

Une étude de marché montre que les trottinettes électriques partagées sont plus souvent équipées de freins à tambour, probablement pour leur faible entretien, tandis que les trottinettes privées sont essentiellement équipées de freins à disques. Les freins à tambour, plus lourds, contribuent donc davantage à la masse et à l'impact du cycle de vie des trottinettes électriques partagées par rapport aux trottinettes privées.

Le freinage régénératif n'est pas intéressant pour les trottinettes électriques en termes de récupération d'énergie en comparaison avec les voitures électriques. Puisque le freinage est assez rapide et que la vitesse et la masse du véhicule sont faibles, peu d'énergie cinétique est récupérée. Nous supposons que, dans certaines conditions, la récupération d'énergie due au freinage régénératif pourrait augmenter l'autonomie de la batterie de seulement 2 % et n'est donc pas intéressante dans le cadre d'une ACV (Electric Scooter Guide, 2022b).

3.2.1.6 Composants électroniques

Les composants électroniques sont essentiels pour une utilisation sûre et adaptée des véhicules de micromobilité. Les logiciels et les matériaux développés pour les dernières générations de véhicules offrent des fonctionnalités plus avancées. Grâce aux capteurs high-tech, aux produits IoT (Internet of Things) et à la connectivité en temps réel, il est possible de répondre aux problèmes de sécurité, d'augmenter la durée de vie des véhicules et d'améliorer la fidélité des utilisateurs.

Par exemple, les trottinettes électriques peuvent être équipées de capteurs IoT qui permettent à l'opérateur de diagnostiquer à distance les niveaux de batterie, les dommages et l'état général de la trottinette électrique (Ericsson, 2021). Il est ainsi possible de mettre en place une maintenance prédictive grâce à laquelle un opérateur répare ou remplace un composant avant la panne. Ces innovations permettent d'améliorer l'efficacité des services opérationnels en évitant de perdre du temps et des ressources à aller chercher des trottinettes électriques qui ne doivent pas encore être rechargées ou entretenues. Parmi les autres types de capteurs qui améliorent l'expérience de l'utilisateur, nous pouvons citer un capteur de géolocalisation, utilisé pour fournir l'emplacement exact des trottinettes électriques, et un capteur de communication en champ proche (NFC – Near Field Communication) qui permet les paiements en ligne et le déverrouillage sans contact de la trottinette électrique.

Par conséquent, les investissements initiaux dans les matériaux des composants électriques en valent la peine dans le but d'obtenir un cycle de vie plus long et un entretien plus efficace du véhicule.

3.2.1.7 Fabrication, assemblage et traitement en fin de vie du véhicule et de la batterie

La consommation d'énergie liée à la fabrication, à l'assemblage et à le traitement en fin de vie de la trottinette électrique partagée et de la batterie est résumée dans les figures ci-dessous. Les chiffres sont tirés de l'outil d'évaluation utilisé pour l'ACV dans (Cazzola & Crist, 2020).

Figure 30 montre que la majeure partie de la consommation d'énergie provient de la fabrication des matériaux requis et souligne l'importance de processus moins énergivores. L'utilisation d'une méthode alternative à faible teneur en carbone pour fondre l'aluminium réduit la consommation d'énergie de la fabrication de respectivement 27 % et 25 % pour la première et la nouvelle génération de trottinettes électriques. La fabrication des trottinettes électriques de nouvelle génération nécessite plus d'énergie que celle des trottinettes électriques de première génération en raison de leur poids plus élevé (25 kg contre 11 kg) et de leur batterie plus grande (0,55 kWh contre 0,33 kWh). Nous pouvons formuler des observations similaires en ce qui concerne la fabrication, l'assemblage et le traitement en fin de vie de la batterie, comme le montre la figure 31. Dans le cadre de la production de cette batterie, l'utilisation d'une méthode de fonte d'aluminium à faible teneur en carbone a moins d'impact car seul le boîtier des batteries lithium-ion est en aluminium, contrairement à de grandes parties de la trottinette électrique elle-même.

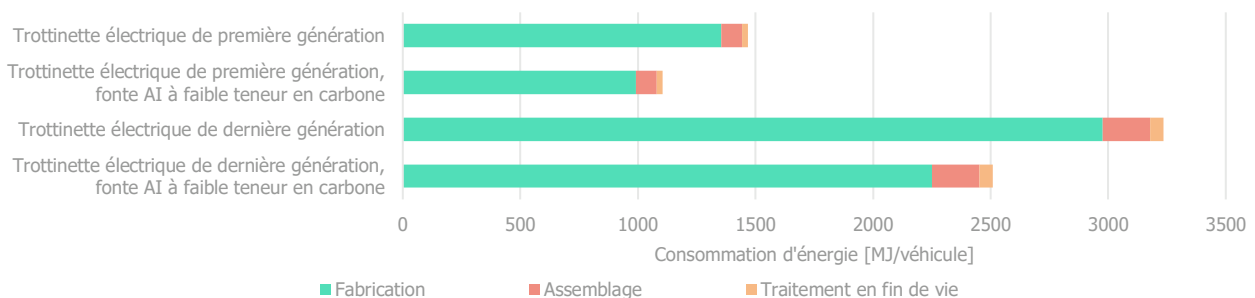


Figure 30: Consommation d'énergie pour la fabrication, le montage et le traitement en fin de vie de véhicules

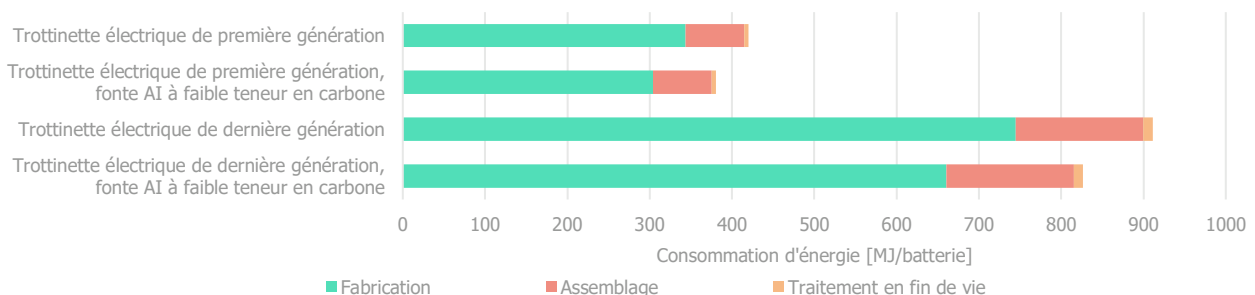


Figure 31: Consommation d'énergie pour la fabrication, l'assemblage et le traitement en fin de vie des batteries

3.2.1.8 Conception du véhicule

La conception des véhicules de micromobilité a évolué au cours des dernières années. Les trottinettes électriques partagées en particulier ont connu une grande évolution visant à augmenter la durée de vie des véhicules. Les premières générations de trottinettes électriques partagées étaient des modèles destinés initialement à un usage privé et provenant d'entreprises privées, telles que Xiaomi et Segway-Ninebot, et n'étaient donc pas conçues pour une utilisation fréquente, des mauvais traitements ou des conditions climatiques difficiles (The Verge, 2019). Par conséquent, les premières générations de trottinettes électriques partagées avaient une durée de vie limitée, de l'ordre de 3 à 4 mois, et les impacts environnementaux liés à la production de la trottinette électrique étaient donc peu amortis (Schuller & Aboukrat, 2019). Les dernières générations de trottinettes électriques partagées montrent une évolution prometteuse dans leur conception, qui est de plus en plus adaptée à un usage partagé et intensif (nous examinerons ce point en détail dans la section 3.3).

Un changement majeur souligné par les opérateurs et les fabricants est la conception de plus en plus circulaire de leur dernière génération de trottinettes électriques, et notamment modulaire, qui permet d'étendre la durée de vie des véhicules (Lime, 2019). Une conception modulaire signifie que le véhicule est conçu dans l'idée d'échanger/remplacer facilement ses composants afin de l'utiliser plus longtemps avant de le jeter ou de le recycler. Sur la base du feedback de leur expérience passée, qui a été mis en évidence lors des entretiens avec les opérateurs de mobilité partagée, les opérateurs sont en mesure d'identifier les pièces du véhicule les plus susceptibles de se casser, et de modifier la conception de la pièce en conséquence pour la remplacer plus facilement sur le véhicule. Nous retrouvons également cette modularité dans le matériel de la dernière génération de véhicules Voi, qui prévoit intentionnellement des emplacements supplémentaires pour des capteurs pour permettre l'ajout d'une nouvelle fonctionnalité sans devoir produire un tout nouveau véhicule (Voi Blog, 2021). Ces innovations permettent d'atténuer l'impact initial de la fabrication de véhicules.

3.2.1.9 Fin de vie

Le marché n'est pas encore suffisamment mature pour évaluer pleinement la fin de vie des trottinettes électriques. L'un des principaux facteurs déterminant la fin de vie d'une trottinette électrique est assurément l'état de la batterie. Une trottinette électrique dont la batterie est arrivée en fin de vie ne peut plus stocker une charge suffisante que pour avoir une longue autonomie et l'appareil est, dès lors, tout à fait inutile. En cas de fin de vie de la batterie, il convient de choisir entre l'achat d'une nouvelle batterie ou d'une nouvelle trottinette électrique entière. Un revendeur de trottinettes électriques privées indique que ce dernier choix est plus populaire pour les trottinettes électriques privées, étant donné l'intérêt des clients pour les nouvelles fonctionnalités des trottinettes électriques plus récentes. Il est donc essentiel d'augmenter la durée de vie de la batterie. Cependant, une trottinette électrique dont on se débarrasse peut être recyclée. Les pièces d'usure fonctionnelles susceptibles de tomber en panne, comme les pneus, les freins et le variateur, peuvent être réutilisées. Ceci permet d'éviter les émissions de GES générées par la fabrication d'un nouvel ensemble de composants, tout en prolongeant la durée de vie des composants existants.

Sinon, il est également possible de remplacer la batterie et de donner une seconde vie à la batterie éliminée en l'adaptant à un autre véhicule, par exemple pour alimenter un fauteuil roulant, comme l'ont indiqué les entretiens avec des opérateurs de trottinettes électriques partagées. Récemment, des batteries de trottinettes électriques déclassées ont été utilisées comme source d'énergie pour des journalistes sur le terrain en Ukraine (Klimt, 2022). En Belgique, Bebat collecte et recycle également les batteries.

Dans son premier rapport de durabilité, (Dott, 2022) l'opérateur de trottinettes électriques partagées Dott indique que, chaque mois, 1,4 % de ses véhicules sont irréparables. En outre, 95 % des dommages sont réparés et 90 % des pièces des véhicules inutilisables sont réutilisées. La même entreprise exporte des trottinettes électriques nécessitant un entretien plus fréquent vers la Pologne (Romain, 2022), où le coût de la main-d'œuvre est moins élevé. De cette façon, la durée de vie de ces trottinettes électriques est prolongée lorsque ces appareils sont réutilisés dans les villes de Pologne.

3.2.2 Transport

Le transport concerne la livraison initiale du véhicule, du lieu de fabrication au client. Différentes études, ainsi que les entretiens avec des opérateurs et fournisseurs de micromobilité, confirment que la plupart des trottinettes électriques les plus connues (p.ex. Xiaomi, Segway-Ninebot) sont produites en Asie, notamment à Shenzhen, en Chine.

Généralement, c'est une combinaison de transport par bateau et par camion qui permet la livraison des trottinettes électriques en Europe. Les caractéristiques du transport, issus d'une étude sur les trottinettes électriques partagées à Bruxelles (Moreau et al., 2020) sont résumées dans le tableau ci-dessous. Il s'agit d'un transport de fret de Shenzhen, en Chine, à Rotterdam, aux Pays-Bas, suivi d'un trajet en camion jusqu'à Bruxelles, en Belgique. La plus grande partie du trajet est effectuée par le mode de transport le moins énergivore, ce qui permet de minimiser les émissions de GES correspondantes. Le transport maritime peut également être remplacé par un voyage de 11 000 km en train de marchandises, qui consomme une quantité d'énergie similaire par véhicule.

	Distance de livraison [km]	Consommation d'énergie (MJ/véhicule)
Navire	20642	29.7
Camion	152	3.3

3.2.3 Utilisation

La composante utilisation concerne les émissions de GES issues de la partie de la chaîne énergétique communément appelée « Well-to-Wheel ». Cette partie peut être subdivisée en « Well-to-Tank » et « Tank-to-Wheel ». Les émissions de GES de la phase Well-to-Tank dépendent du mix électrique et des émissions de CO₂ associées à la production et à la distribution de chaque source d'électricité.

Il existe différents scénarios concernant le mix électrique, allant de l'utilisation exclusive de sources d'énergie durables à l'utilisation exclusive du charbon. La part de chaque source d'énergie dans les mix électriques mondial et belge de 2020 est présentée dans le tableau 9. Ces chiffres sont plus récents que ceux utilisés dans (Cazzola & Crist, 2020).

Tableau 9: Les mix électriques mondial et belge en 2020. Sources : (World Energy Data, 2022) et (IEA, 2022).

	Part dans le mix électrique mondial	Part dans le mix électrique belge
Pétrole	2,8%	0,1%
Gaz naturel	23,4%	29,8%
Charbon	35,1%	2,1%
Énergie nucléaire	10,1%	38,7%
Biomasse et autres	3,5%	7,7%
Énergies renouvelables	25,1%	21,6%

Les trottinettes électriques ne sont pas dotées de tuyaux d'échappement. Il n'y a donc pas d'émissions de CO₂ provenant du transfert de l'énergie du réservoir ou de la batterie aux roues. La phase Tank-to-Wheel n'est donc influencée que par le kilométrage total et l'efficacité de la trottinette électrique, c'est-à-dire la quantité d'électricité utilisée par km parcouru.

Lors de nos entretiens avec les opérateurs et les fabricants de trottinettes électriques, il est apparu que le marché n'est pas encore assez mature pour estimer la durée de vie exacte des trottinettes électriques. Les opérateurs ont augmenté la durée de vie de leurs trottinettes électriques de génération en génération. Les estimations vont de 6 mois pour les premières générations à 5 ans pour les derniers modèles de trottinettes électriques partagées. Un opérateur a indiqué qu'environ la moitié de ses trottinettes électriques de première génération sont encore opérationnelles après 36 mois, alors que la durée de vie était initialement estimée à seulement 18 mois. La durée de vie d'une trottinette électrique privée est fortement tributaire de l'utilisation personnelle et nous ne disposons guère d'informations à ce sujet. Cette grande incertitude sera l'un des facteurs à l'origine de la grande variance des estimations de l'impact du cycle de vie du véhicule.

Le principal déterminant de la fin de vie des trottinettes électriques est la fin de vie de la batterie, plutôt que des influences secondaires telles que le vandalisme. Les opérateurs ont indiqué que les actes graves de vandalisme sont rares. Par conséquent, le nombre total de kilomètres parcourus et le nombre de cycles de la batterie reflètent plus fidèlement la durée de vie du véhicule que les années de détention. Le kilométrage du véhicule est donc un autre facteur important pour déterminer l'impact du cycle de vie.

Les durées de vie et les kilométrages des trottinettes électriques privées et partagées examinés dans ce rapport sont résumés dans le tableau 10. Les estimations concernant la trottinette électrique privée et la trottinette électrique partagée de première génération reposent sur le rapport du FIT, mais ne sont pas entièrement identiques à celles de ce dernier, qui s'est lui-même appuyé sur la littérature scientifique et ses communications personnelles avec les opérateurs. Le kilométrage total choisi pour la première génération de trottinettes électriques, soit 18 mois, diffère de l'estimation de 10 mois du rapport du FIT. Les premières estimations de la littérature scientifique se sont révélées plutôt pessimistes. Sur la base de nos entretiens avec des opérateurs de trottinettes électriques partagées, de la littérature scientifique et du rapport de durabilité (Dott, 2022), nous sommes arrivés à une durée de vie estimée de 18 mois pour la première génération de trottinettes électriques et à l'estimation de 36 mois pour la dernière génération de trottinettes électriques, comme le montre le Tableau 10.

Malgré tous nos efforts, nous n'avons pas pu obtenir des estimations précises de la durée de vie des trottinettes électriques et du kilométrage total par le biais de communications personnelles avec les opérateurs de trottinettes électriques partagées. Puisque plusieurs opérateurs ont affirmé que la durée de vie prévue de leurs trottinettes électriques de première génération était de 18 mois et qu'elles étaient toujours opérationnelles après 36 mois, peut-être ont-ils été trop confiants quant à leur estimation de la durée de vie de 60 mois de leur dernière génération. Par conséquent, avec l'amélioration de la technologie, une durée de vie de 36 mois nous semble raisonnable. Le nombre d'utilisateurs et la taille de la flotte étant en constante augmentation avec une hausse de respectivement 76 % et 15 %, au deuxième trimestre de 2022 par rapport à 2021, et une augmentation de 177 % du nombre de voyages sur un an (POLIS Network, 2022) un kilométrage quotidien de 10 km semble être une estimation raisonnable et prudente.

Tableau 10: Estimation de la durée de vie et du kilométrage total des trottinettes électriques.

	Durée de vie du véhicule [mois]	Kilométrage annuel [km/an]
Trottinette électrique privée	36	2200
Trottinette électrique partagée (première génération)	18	2900
Trottinette électrique partagée (dernière génération)	36	3650

3.2.4 Services opérationnels

La composante « services opérationnels » concerne les émissions de GES associées à la collecte et à la redistribution des trottinettes électriques partagées pour la recharge et l'entretien. Cette composante ne s'applique donc pas aux trottinettes électriques privées. L'impact environnemental de la maintenance d'une flotte opérationnelle de trottinettes électriques partagées est principalement influencé par le mode de transport utilisé pour la collecte des batteries interchangeables ou des trottinettes électriques complètes, et par les distances à parcourir. Nous pouvons envisager un certain nombre de scénarios pour chaque facteur.

La camionnette roulant avec un moteur à combustion pourrait être remplacée par une camionnette électrique pour la collecte des trottinettes électriques ou de leurs batteries. Dans le scénario des batteries interchangeables, les opérateurs de trottinettes électriques envisagent la possibilité d'utiliser des véhicules de service moins polluants en fabriquant des vélos cargos électriques dédiés qui peuvent transporter des batteries. Le dernier lancement d'une flotte de 2000 trottinettes électriques partagées par TIER Mobility à Bruxelles met ces alternatives en application (Intelligent Transport, 2022). Dott utilise des camionnettes électriques ainsi que des vélos cargos pour mener à bien ses opérations sur le terrain à Bruxelles. 55 % de leur flotte opérationnelle mondiale se compose de camionnettes et de vélos cargos électriques, l'objectif étant d'atteindre 100 % d'ici 2025, comme l'indique (Dott, 2022).

Certains des opérateurs ont recours à l'externalisation pour les activités sur le terrain. Dans certains cas, leurs contrats prévoient un supplément pour assurer l'énergie verte ou une compensation équivalente. Il n'est toutefois pas possible d'estimer la mesure dans laquelle les contractants respectent l'accord et la façon dont les opérations sont exécutées. Dans le passé, de nombreuses preuves attestaient d'une mauvaise performance environnementale (Carpenter, 2019; Conti, 2019; Hendrickx, 2019; Tire meets road, 2018). Le maintien des opérations en interne nécessite une flotte suffisamment importante et une structure d'entreprise permettant de mener à bien les opérations sur le terrain conformément aux normes prônées par les opérateurs. Par ailleurs, des contractants externes pourraient être sollicités pour collecter les batteries/trottinettes de

différentes marques, ce qui pourrait - du moins en théorie - être plus efficace qu'un système où chaque opérateur de trottinette électrique doit couvrir toute la ville dans laquelle plusieurs opérateurs sont présents. Les opérateurs pourraient également solliciter l'aide de leurs clients en leur offrant des récompenses, comme une course gratuite, lorsqu'ils retirent une trottinette électrique d'une rue encombrée.

Des changements dans la politique de service peuvent également améliorer l'efficacité du service, en particulier si les trottinettes électriques ont des batteries interchangeables. Par exemple, collecter exclusivement des batteries et non pas de l'ensemble de la trottinette électrique permet à un seul véhicule de service d'entretenir un plus grand nombre de trottinettes électriques. La collecte et le remplacement des batteries vides sur place permettent de réduire le ratio entre les kilomètres parcourus par le véhicule de service et les kilomètres parcourus par la trottinette électrique.

Enfin, il est également possible de réduire les distances roulées par le véhicule de service en augmentant la densité des zones de stationnement désignées ou en utilisant des stations d'accueil, notamment dans les zones les plus denses des grandes villes. Les véhicules de service ne doivent ainsi parcourir de moins grandes distances et peuvent emprunter des itinéraires plus efficaces (pour les stations d'accueil, voir la section 3.2.5). Grâce à une politique qui oblige les utilisateurs à stationner les trottinettes électriques dans ces zones désignées, les opérateurs doivent également faire moins d'arrêt. Les études de marché révèlent que la plupart des opérateurs ont mis en place une telle politique. Certaines politiques exigent que les utilisateurs prennent une photo de la trottinette électrique stationnée, afin de s'assurer qu'elle ne gêne pas les piétons, qu'elle n'obstrue pas le passage des véhicules d'urgence et ne dérange pas les autres usagers de la route.

3.2.5 Infrastructure

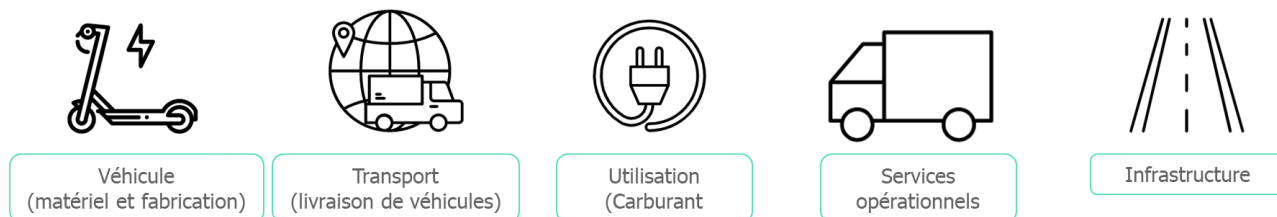
La composante infrastructure concerne les émissions de GES associées à la construction, à l'entretien et à la gestion en fin de vie des infrastructures spécifiques nécessaires à l'exploitation des véhicules. Cette composante s'applique aux trottinettes électriques privées et partagées, les trottinettes électriques partagées pouvant nécessiter des stations d'accueil, bien qu'elles soient généralement en free-floating. Comme le montre la figure 32, il existe également des stations d'accueil avec recharge, souvent sans fil, pour les trottinettes électriques. Celles-ci ont également été introduites en Belgique (p.ex., Corda Campus Hasselt, Terhills à Maasmechelen et Dilsen-Stokkem). L'ajout de ces stations de recharge pourrait éliminer une partie des services opérationnels, puisqu'il ne serait plus nécessaire d'aller chercher les trottinettes électriques ou leurs batteries pour les recharger. Les exigences en matière d'infrastructure, communes aux trottinettes électriques privées et partagées, couvrent les routes urbaines et les pistes cyclables. L'infrastructure est censée durer 30 ans, soit beaucoup plus longtemps que la durée de vie des trottinettes électriques, et son état n'est pas affecté par l'intensité de l'utilisation. Par conséquent, la composante « infrastructure » donne lieu à une contribution fixe, sans facteurs d'influence ni scénarios différents à prendre en compte et c'est pourquoi elle est souvent exclue des ACV. En outre, les infrastructures routières existantes peuvent être utilisées par les futures trottinettes électriques sans autre investissement (p.ex., les trottinettes électriques peuvent utiliser les pistes cyclables existantes).



Figure 32: Une aire de stationnement désignée à Anvers et une station de recharge à Atlanta, en Géorgie. Source : Google Images.

3.3 Évaluation des incidences sur l'environnement

Pour évaluer l'impact environnemental de chaque composant de la section précédente, nous examinons le potentiel réchauffement de la planète par le biais des émissions de gaz à effet de serre. Au lieu de considérer chaque gaz à effet de serre séparément, nous évaluons les impacts en grammes d'équivalents CO₂ par véhicule. Après avoir divisé par le kilométrage total, nous obtenons une expression en grammes d'équivalents CO₂ par véhicule-km, notée g d'éq. CO₂ / vkm, qui est l'unité de mesure de notre étude.



3.3.1 Véhicule

Les émissions de CO₂ liées à la fabrication, à l'assemblage et à le traitement en fin de vie des trottinettes électriques partagées sont résumées dans cette section. Cette composante comprend les émissions de CO₂ provenant de l'extraction et de la production des matériaux. Les chiffres sont tirés de (ITF assessment tool, 2020).

3.3.1.1 Fabrication, assemblage et traitement en fin de vie du véhicule et de la batterie

Nous supposons un kilométrage total de respectivement 6600 et 2417 km pour la première génération de trottinettes électriques privées et partagées et de 5703 km pour la dernière génération de trottinettes électriques partagées. Les émissions totales de CO₂ liées à la fabrication, à l'assemblage et au traitement en fin de vie des véhicules et des batteries dans différents scénarios sont résumées à la figure 33 ci-dessous.

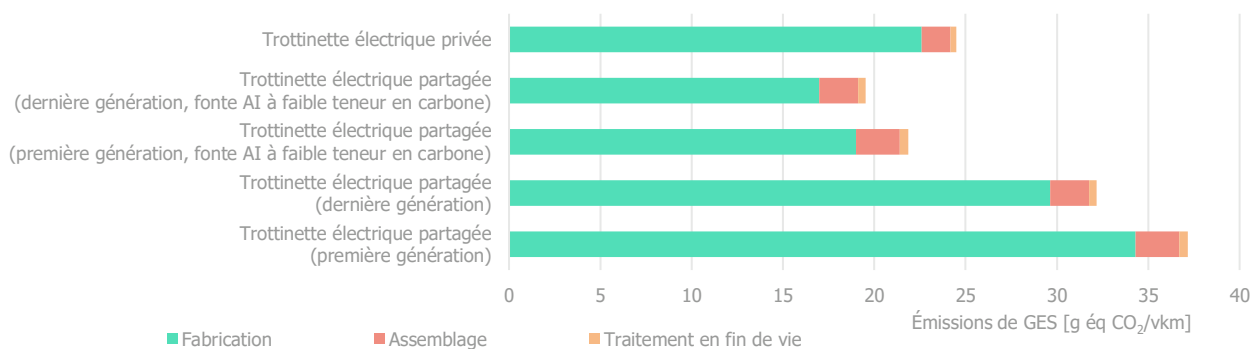


Figure 33: Émissions de GES liées à la fabrication, à l'assemblage et à le traitement en fin de vie des véhicules et des batteries [g éq. CO₂/vkm].

La nouvelle génération de trottinettes électriques partagées produit moins d'émissions par véhicule-km que la première génération, bien qu'elle soit plus lourde et que sa fabrication nécessite plus d'énergie par véhicule. Cette diminution des émissions par véhicule-km est due à l'allongement de la durée de vie et du kilométrage total.

3.3.2 Transport

Les émissions de CO₂ pour la livraison d'un seul véhicule sont résumées dans le tableau ci-dessous. Le tableau montre comment l'utilisation d'un mode de transport plus durable, tel qu'un camion électrique au lieu d'un camion à moteur à combustion, peut réduire de 33 % les émissions de CO₂ pour cette partie de la livraison. Toutefois, comme le transport par camion ne représente qu'une infime partie du trajet total, la différence est insignifiante. Lorsque de grandes parties du trajet doivent être effectuées par camion - par exemple pour le transport vers des pays qui n'ont pas directement accès à des ports - les bénéfices environnementaux des camions électriques par rapport aux camions à moteur thermique sont plus prononcés.

Les émissions totales de CO₂ pour la livraison sont relativement faibles par rapport aux émissions de CO₂ des autres sections.

	Distance de livraison [km]	Émissions de GES pour la livraison [g d'éq. CO ₂ /vkm].
Navire	20642	2763
Camion	152	298
Camion électrique	152	199

Si l'on divise ce chiffre par le kilométrage total de respectivement 6 600 et 4 350 km pour les trottinettes électriques privées et partagées, nous obtenons les émissions suivantes par véhicule-km.

	Émissions de GES pour la livraison [g d'éq. CO ₂ /vkm].
Trottinette électrique privée	0.464
Trottinette électrique partagée	0.704

3.3.3 Utilisation

Les émissions de GES pendant la phase d'utilisation de la trottinette électrique pour un kilométrage donné sont présentées à la figure 34 ci-dessous. Étant donné que les émissions augmentent de façon linéaire avec le kilométrage total, nous établissons uniquement la comparaison entre les différents mix électriques. Les scénarios « électricité belge » et « électricité moyenne » utilisent respectivement le mix électrique moyen belge et mondial. Le tableau 9 de la section précédente présente les composantes de ces mix électriques. Le scénario « Électricité à forte teneur en carbone » suppose que le mix électrique se compose exclusivement d'électricité obtenue par la combustion de charbon. À l'inverse, dans le scénario « Électricité verte », toute l'électricité est obtenue à partir de ressources renouvelables.

La production d'électricité à forte teneur en carbone génère deux fois plus d'émissions de GES par kilomètre que la production du mix électrique mondial moyen. À mesure que la part des énergies renouvelables dans le mix électrique mondial augmentera - actuellement jusqu'à 29 % contre 20 % en 2010 - nous observerons une nouvelle diminution de ces émissions. Les émissions de GES associées à la production d'électricité en Belgique sont beaucoup plus faibles, principalement en raison de la part plus importante de l'énergie nucléaire et de la part plus faible de l'énergie obtenue par le charbon par rapport au mix électrique mondial. Comme le montre la figure, des améliorations sont encore possibles en s'orientant vers une énergie exclusivement renouvelable.

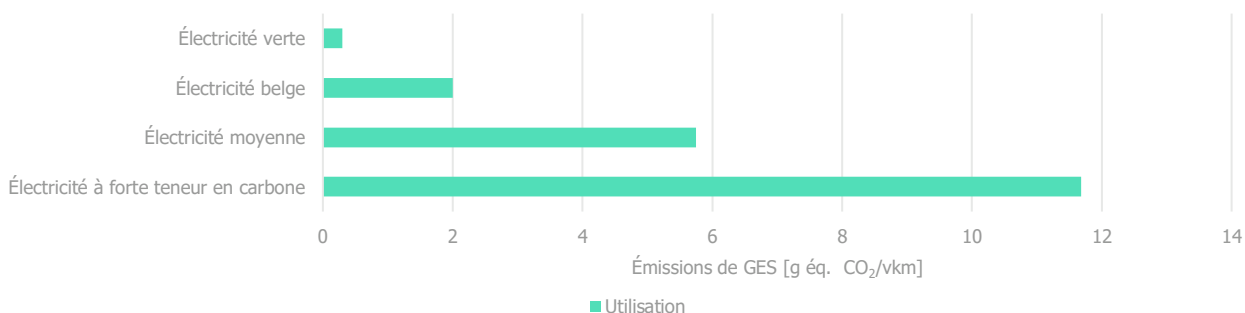


Figure 34: Émissions de GES dues à l'utilisation des véhicules.

3.3.4 Services opérationnels

Pour l'entretien et la redistribution des trottinettes électriques partagées, nous utilisons les chiffres du rapport du FIT. Les auteurs ont obtenu ces estimations en communiquant directement avec des opérateurs de trottinettes électriques partagées. Les trottinettes électriques sont récupérées pour être rechargées une fois tous les quatre jours. Le véhicule de service effectue chaque jour un trajet aller-retour de 45 km. Notez que 45 km est une estimation pour les villes des États-Unis et peut donc être un peu élevée pour les villes belges. Cependant, nous avons décidé de rester prudents et nous avons conservé cette estimation. En divisant la longueur du trajet par quatre, nous obtenons un trajet quotidien de 11,25 km par trottinette électrique. En outre, nous supposons que la capacité est de 10 trottinettes électriques par camionnette. Les émissions de GES pour les services opérationnels dans les différents scénarios sont présentées à la figure 35 ci-dessous. Dans le meilleur des cas, des véhicules électriques (EV) sont utilisés pour la collecte et la distribution des trottinettes électriques et les émissions de GES sont réduites de 85 %. Le scénario dans lequel les EV

fonctionnent exclusivement à l'électricité verte n'est pas illustré. Dans ce cas, la conduite des EV n'entraîne aucune émission de GES. Toutefois, s'il est vrai que le passage aux EV pour les services opérationnels est la meilleure solution, l'idéal pour minimiser les émissions est de combiner toutes les améliorations.

La figure montre également l'importance des deux améliorations les plus simples : la réduction de la distance de service, par l'installation d'un plus grand nombre de stations d'accueil, et l'augmentation du nombre de véhicules par trajet de service. Ce dernier objectif peut être atteint en utilisant des batteries interchangeables, car celles-ci prennent moins de place dans le véhicule de service. Il est également possible de décentraliser les installations de recharge mais cette option est probablement moins facilement réalisable de par les réglementations anti-incendie à respecter.

Par ailleurs, si la distance quotidienne parcourue par les trottinettes électriques est plus élevée, les émissions de GES nécessaires aux services opérationnels sont moins importantes par véhicule-km, puisque les véhicules-km de service restent les mêmes que dans le scénario de base, mais ceux-ci sont divisés par un plus grand nombre de kilomètres des trottinettes électriques. En d'autres termes, comme notre unité fonctionnelle est le g d'équivalents CO₂ par véhicule-km, une trottinette utilisée davantage est moins polluante.

En outre, dans (Hollingsworth et al., 2019) une diminution de 7 % des émissions de GES est observée lorsque la collecte des trottinettes électriques se limite à celles dont l'état de charge de la batterie est faible. Dans (Kazmaier et al., 2020) l'on constate une diminution de 12 % du réchauffement planétaire induit lorsque des vélos cargos électriques sont utilisés pour échanger les batteries. Cette réduction est beaucoup plus faible que celle de 56 à 81% invoquée par Dott dans (Dott Blog, 2021). Cette différence peut s'expliquer par le fait que Kazmaier et al. envisagent un scénario dans lequel les vélos cargos électriques peuvent transporter 15 batteries sur 20 km contre un van à moteur à combustion qui en transporte 35 batteries sur 50 km, tandis que Dott affirme avoir trouvé un moyen de réduire de moitié le nombre de trajets entre l'entrepôt et la ville.

En conclusion, s'il est vrai que le passage aux EV pour les services opérationnels est la meilleure solution, l'idéal pour minimiser les émissions est de combiner toutes les améliorations.

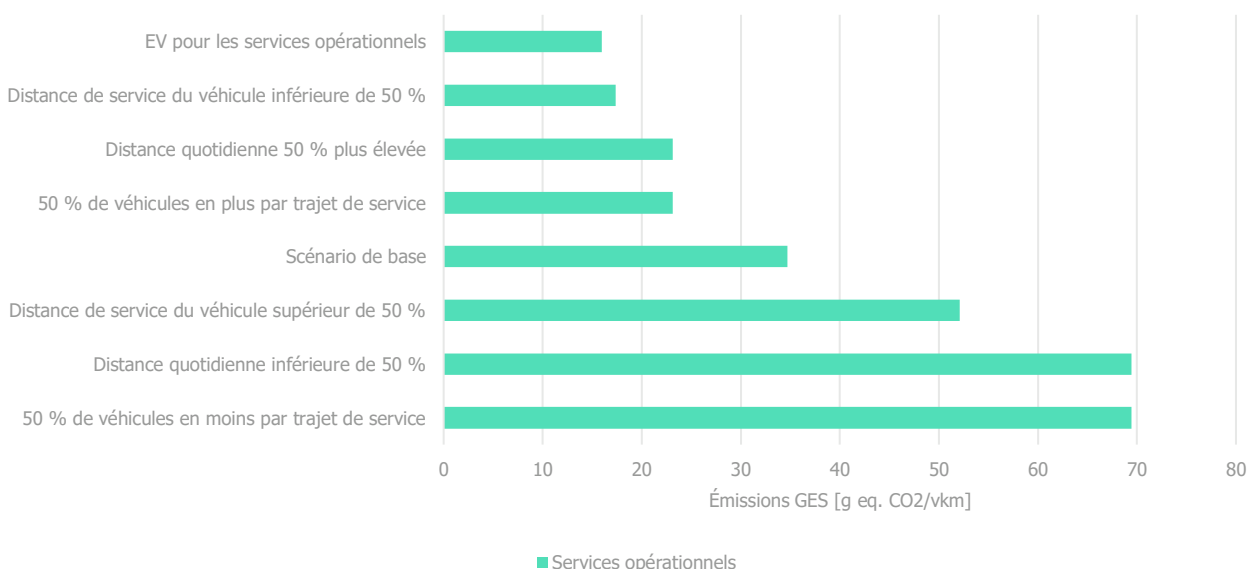


Figure 35: Émissions de GES nécessaires pour les services opérationnels [g d'éq. CO₂ /vkm].

Dans (EY, 2020), Ernst & Young a réalisé une ACV indépendante de la trottinette électrique partagée de troisième génération de Voi. Dans le meilleur des cas, ils ont constaté que les services opérationnels ne contribuent qu'à 3,5 % des émissions totales du cycle de vie, contre 43 % dans la toute première évaluation du cycle de vie des trottinettes électriques partagées réalisée par (Hollingsworth et al., 2019). Cette réduction est due à la combinaison des améliorations mentionnées ci-dessus : l'utilisation exclusive d'énergie renouvelable pour recharger les trottinettes électriques et la flotte de véhicules de service entièrement électrifiés, l'optimisation de l'itinéraire de collecte pour réduire de 30 % la distance de service quotidienne et l'utilisation de batteries interchangeables qui permettent également d'effectuer plus de trajets avec la même taille de flotte grâce à un temps d'arrêt plus court.

3.3.5 Infrastructure

Les émissions de GES de la composante infrastructure dépendent du type de route empruntée par les trottinettes électriques. En supposant que les conducteurs passent 20 % de leur temps sur les pistes cyclables et 80 % sur les routes urbaines, comme dans le cadre d'analyse proposé dans (Cazzola & Crist, 2020), nous obtenons des émissions de GES de 9 g d'éq. CO₂ /vkm. Ces émissions sont dues à l'entretien et à la construction des routes. Même si les trottinettes électriques utilisent les infrastructures existantes, ces routes ont dû être construites à un moment donné. Une partie des émissions doit donc être attribuée à tous les utilisateurs de l'infrastructure. En outre, les petites dégradations des routes ont un impact plus important sur les trottinettes électriques que sur les autres modes de transport, en raison de leurs roues plus petites. L'entretien des routes est donc d'autant plus important.

Les impacts des émissions de GES liés à la construction des stations d'accueil sont exclus des frontières du système. L'ajout de stations d'accueil peut avoir un impact sur les émissions de GES similaire à celui de la fabrication de trottinettes électriques proprement dites, car il nécessite une quantité comparable de matériaux et plus d'une station d'accueil par trottinette électrique (source : allégations pour les vélos électriques dans le rapport du FIT). Les émissions de GES dues à la construction des bornes de recharge peuvent vraisemblablement être compensées par la réduction des émissions associées aux services opérationnels, mais cette évaluation particulière dépasse le cadre de cette étude.

3.4 Interprétation

Pour interpréter les résultats, la section suivante examine l'empreinte carbone totale des trottinettes électriques et l'importance relative de chaque contribution. Une analyse de sensibilité est réalisée pour identifier la façon dont les contributions changent en cas de variation de certains paramètres. L'analyse de sensibilité est suivie d'un examen des ACV tirées de la littérature scientifique. Enfin, nous envisageons un scénario qui tient compte des **évolutions récentes**.

Deuxièmement, une comparaison est établie entre les émissions de GES du cycle de vie des trottinettes électriques et des autres modes de transport. Sur la base de l'enquête menée dans le cadre de ce projet et d'une enquête existante menée par Bruxelles Mobilité, nous pouvons comparer l'impact environnemental des trottinettes électriques à l'impact environnemental du mode de transport moyen qu'elles remplacent.

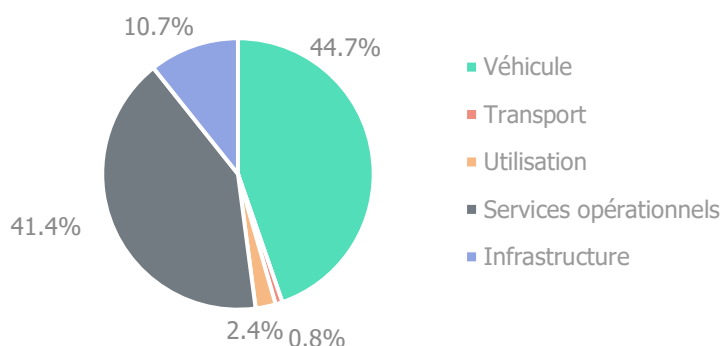
3.4.1 Empreinte carbone totale des trottinettes électriques

3.4.1.1 Première génération

L'empreinte carbone totale peut être considérée comme la somme de toutes les contributions des sections précédentes. Le scénario « Première génération » comporte toutes les hypothèses de base, à savoir une trottinette électrique partagée de première génération qui :

- a une durée de vie de 18 mois,
- est conduite 2900 km par an,
- est transportée de Shenzhen, en Chine, à Bruxelles par voie maritime et par camion,
- utilise le mix électrique belge moyen,
- est entretenue une fois tous les quatre jours par une camionnette roulant avec un moteur à combustion interne dont le trajet aller-retour est de 45 km (comme indiqué au point 3.3.4),
- et exige la construction de routes urbaines et de pistes cyclables.

Trottinette électrique partagée de première génération



Trottinette électrique privée

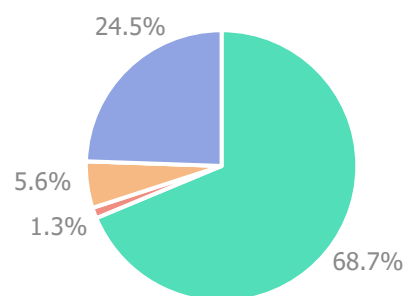


Figure 36: Part relative des composants dans les émissions de GES du cycle de vie d'une trottinette électrique partagée de première génération et d'une trottinette électrique privée.

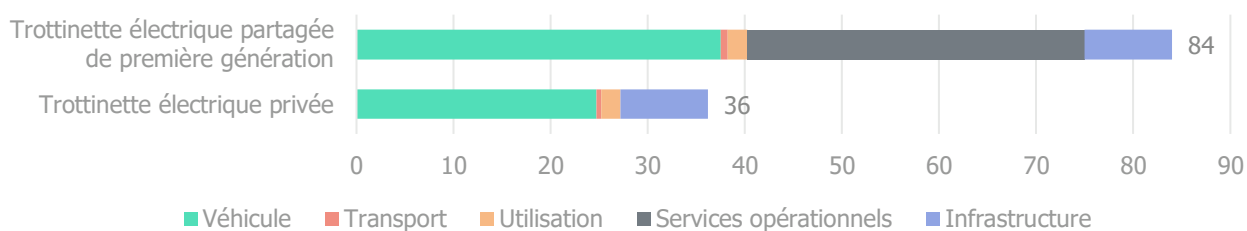


Figure 37: Les émissions de GES du cycle de vie d'une trottinette électrique partagée et d'une trottinette électrique privée en g de CO₂ par véhicule-km.

Ce scénario est une approximation réaliste de l'entretien d'une trottinette électrique partagée, basé sur la littérature scientifique et les entretiens avec des opérateurs de trottinettes électriques partagées. Plus loin dans cette section, vous trouverez les paramètres mis à jour en considérant des trottinettes électriques plus modernes. La somme des émissions de GES dans la « Première génération » s'élève à 84 g d'éq. CO₂/vkm. Les principales contributions sont dues à la fabrication, à l'assemblage et à le traitement en fin de vie du véhicule, d'une part, et aux services opérationnels et à l'entretien, d'autre part, avec des parts respectivement de 44 % et de 41 % de l'impact environnemental total. Dans le cas des trottinettes électriques privées, le coût d'exploitation n'entre pas en ligne de compte, ce qui signifie que le composant véhicule occupe une place encore plus importante dans les émissions totales du cycle de vie, comme le montre la figure 36. Par conséquent, en ce qui concerne les trottinettes électriques privées, les bénéfices environnementaux les plus importants peuvent être obtenus grâce à des processus de fabrication à plus faibles émissions de carbone. Les valeurs absolues des émissions du cycle de vie (36 g d'éq. CO₂/vkm) sont beaucoup plus faibles pour les trottinettes électriques privées que pour les trottinettes électriques partagées, comme le montre la figure 37, en raison de la durée de vie plus longue de 3 ans, du kilométrage total plus important de 6600 km et de l'absence de services opérationnels.

Dans les deux cas, la livraison initiale et l'utilisation de la trottinette électrique ne représentent qu'une infime partie des émissions du cycle de vie, pour autant que plusieurs unités puissent être expédiées en même temps. Enfin, la fabrication des matériaux et la construction de l'infrastructure contribuent respectivement à près de 11 % et 24 % de l'impact total pour les trottinettes électriques partagées et privées, mais cet impact peut être ignoré une fois que l'infrastructure est déjà en place, et cela dépendra en grande partie de l'infrastructure disponible et des recommandations politiques spécifiquement destinées aux trottinettes électriques (p.ex., l'exigence de stations d'accueil augmente la composante infrastructure).

3.4.1.2 Dernière génération

Nous allons à présent examiner le scénario « Nouvelle génération » afin de tenir compte des récentes évolutions. En résumé, nous supposons que la dernière génération de trottinettes électriques partagées :

- a une durée de vie de **36 mois**,
- parcourt **3650 km** par an,
- est transportée de Shenzhen, en Chine, à Bruxelles par voie maritime et par camion,
- utilise le mix électrique belge moyen,
- est entretenue une fois tous les quatre jours par une **camionnette électrique** dont le trajet aller-retour est de 45 km (comme indiqué au point 3.3.4),
- et exige la construction de routes et de pistes cyclables par souci d'exhaustivité.

Ces hypothèses sont une approximation réaliste de l'entretien d'une trottinette électrique partagée aujourd'hui, sur la base des interviews avec les opérateurs de trottinettes électriques partagées et du rapport de durabilité (Dott, 2022). La distance moyenne des déplacements est de 2 km et avec environ 5 déplacements quotidiens, nous obtenons une estimation de 10 km pour le kilométrage quotidien. L'utilisation de camionnettes électriques pour les services opérationnels est certainement l'ambition de nombreux opérateurs de trottinettes électriques partagées. Ce scénario évalue l'impact de ce changement.

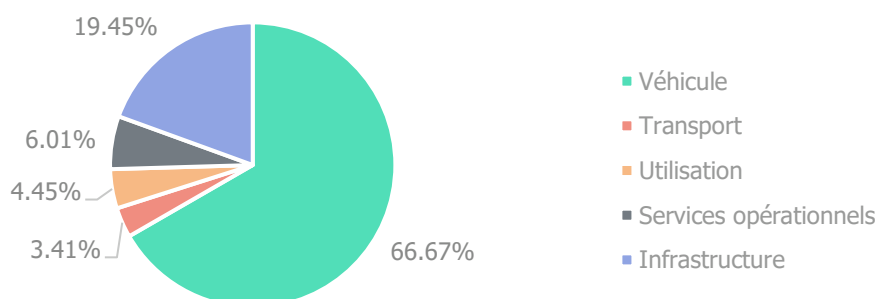


Figure 38: La part relative des différents composants dans les émissions de GES du cycle de vie de la nouvelle génération de trottinettes électriques partagées.

Dans ces conditions, la dernière génération de trottinettes électriques partagées présente des émissions de GES du cycle de vie de 49 g d'éq. CO₂/vkm, contre 84 g d'éq. CO₂/vkm pour la première génération, comme le montre la figure 39 ci-dessous. Cette forte diminution est principalement due à une durée de vie nettement plus longue (36 mois contre 18 mois), à un kilométrage quotidien plus important (10 km contre 8 km) et à l'utilisation de camionnettes électriques au lieu de camionnettes à combustion pour les services opérationnels. La part relative de la composante véhicule redevient donc dominante, comme pour les trottinettes électriques privées. Par conséquent, une fois que les services opérationnels ont été optimisés d'un point de vue environnemental, les autres améliorations se concentrent sur des processus de fabrication à plus faibles émissions de carbone.

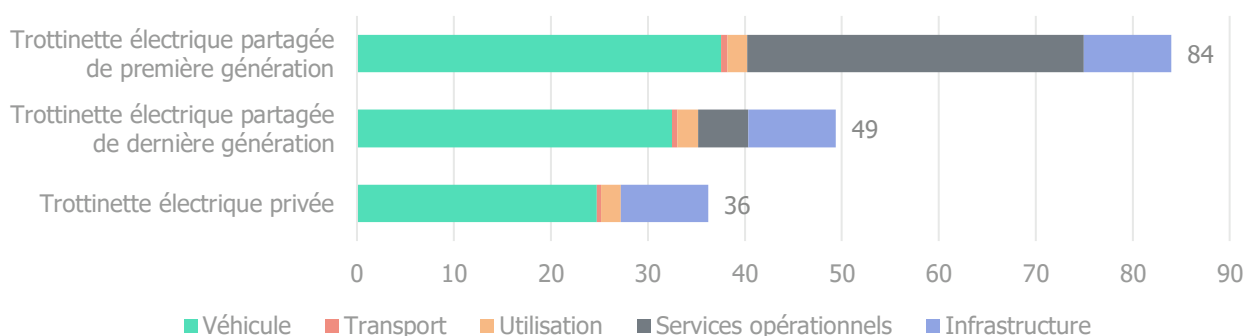


Figure 39: Les émissions de GES du cycle de vie d'une trottinette électrique partagée de première génération, d'une trottinette électrique partagée de dernière génération et d'une trottinette électrique privée en g de CO₂ par véhicule-km.

3.4.1.3 Analyse de sensibilité

Différents scénarios sont présentés à la figure 40 ci-dessous, qui décrit l'importance relative de chaque contribution et la sensibilité aux variations. Chaque scénario alternatif consiste en une modification par rapport au scénario de base, les autres paramètres restant les mêmes. Rappelons que le scénario de base se compose d'une trottinette électrique partagée de première génération **[dernière génération]** qui :

- a une durée de vie de 18 **[36]** mois,
- parcourt 2900 **[3650]** km par an,
- est transportée de Shenzhen, en Chine, à Bruxelles par voie maritime et par camion,
- utilise le mix électrique belge moyen,
- est entretenue une fois tous les quatre jours par une camionnette à moteur à combustion interne dont le trajet aller-retour est de 45 km (comme indiqué au point 3.3.4),
- et exige la construction de routes urbaines et de pistes cyclables.

Une analyse de sensibilité n'a pas été réalisée séparément pour les trottinettes électriques privées, car les composants sont en grande partie les mêmes que ceux des trottinettes électriques partagées, à l'exception des services opérationnels. Les changements observés pour les trottinettes électriques partagées, à l'exclusion des services opérationnels, peuvent donc servir d'indication pour les trottinettes électriques privées également.

Ces scénarios permettent de dégager les conclusions suivantes :

- Les émissions de GES du cycle de vie par véhicule-km sont très sensibles aux variations de la distance quotidienne moyenne parcourue par les trottinettes électriques. En effet, les composants véhicule et les services opérationnels sont beaucoup plus importants que le composant utilisation et varient donc fortement par vkm. En d'autres termes, les avantages de l'utilisation de la trottinette électrique l'emportent sur l'impact direct de la consommation d'énergie plus élevée.
- De même, les améliorations de la durée de vie moyenne des trottinettes électriques ont des répercussions importantes sur les émissions de GES. Une durée de vie plus longue correspond généralement à un kilométrage plus important et à des émissions plus faibles par vkm.
- L'impact du composant services opérationnels peut être réduit en diminuant les distances de service et en augmentant le nombre de trottinettes électriques traités par trajet du véhicule de service. En résumé, ces deux améliorations permettent de réduire le nombre de kilomètres parcourus par le véhicule de service jusqu'à la trottinette électrique, améliorant ainsi l'efficacité des déplacements de service.
- Le passage à des véhicules de service électriques est un autre moyen efficace de réduire les émissions de GES associées au maintien d'une flotte opérationnelle de trottinettes électriques partagées. De même, les vélos cargos dédiés peuvent être tout aussi efficaces, à condition que leur taux d'utilisation soit suffisamment élevé pour compenser les émissions initiales dues à leur fabrication et à leur assemblage (Cazzola & Crist, 2020).
- Les progrès technologiques, tels que la fonte d'aluminium à faible teneur en carbone, peuvent avoir des répercussions importantes sur les émissions de GES par vkm. La contribution dominante du composant véhicule peut ainsi être réduite.
- Une augmentation du poids du véhicule a un impact négatif en raison des matériaux supplémentaires requis. Inversement, l'allègement du véhicule peut permettre de réduire considérablement les émissions du cycle de vie. Cependant, un véhicule plus léger peut être moins durable qu'un véhicule plus lourd et plus robuste, notamment dans le cas de véhicules partagés. Étant donné l'importance d'une durée de vie élevée, les émissions initiales plus élevées d'un véhicule plus lourd pourraient bien en valoir la peine à long terme.
- Le composant infrastructure est relativement faible et ne contribue que peu aux émissions de GES du cycle de vie, principalement parce que peu d'infrastructures supplémentaires sont nécessaires et que les infrastructures existantes ont une longue durée de vie.
- La contribution du composant transport aux émissions de GES du cycle de vie est négligeable. Ceci est dû au transport efficace par bateau de la Chine vers la Belgique en grandes quantités. Si une plus grande partie du trajet avait été effectuée en camion, les émissions de GES par km auraient augmenté. Cependant, en considérant le nombre d'articles expédiés, il reste relativement faible. En particulier, le faible impact du transport implique que la fabrication des trottinettes électriques en Europe ou même en Belgique n'aurait pas un impact majeur sur les émissions totales. Nous savons que des usines de production (de batteries) pour les véhicules électriques sont en cours de construction en Europe ; à terme, des trottinettes électriques pourraient également y être produites. Des réglementations plus

strictes en matière d'émissions de production en Europe par rapport à la Chine peuvent potentiellement offrir des réductions importantes.

- Enfin, l'utilisation d'électricité verte pour charger les trottinettes électriques ne présente qu'un faible avantage (en Belgique). Les émissions de GES du cycle de vie dues à la recharge sont déjà faibles par rapport aux contributions des autres composants, en raison du mix électrique belge relativement faible en carbone comparé à la moyenne mondiale.

Par exemple, dans le pire des cas qui implique une trottinette électrique de première génération a une durée de vie réduite de 50 %, un kilométrage annuel réduit de 50 % et est 25 % plus lourde, nous obtenons des émissions de 271 g d'équivalent CO₂ par véhicule-km. Si nous comparons ce chiffre aux émissions de gaz à effet de serre d'une voiture particulière à moteur à combustion interne, qui s'élèvent à 162 g d'équivalent CO₂ par passager-km, nous constatons qu'une trottinette électrique est particulièrement polluante lorsqu'elle est moins souvent utilisée. À l'inverse, dans le meilleur des cas, où la fonte d'aluminium à faible teneur en carbone est utilisée pour la fabrication d'une trottinette électrique de première génération dont la durée de vie est augmentée de 50 % et le kilométrage annuel de 50 %, les émissions de gaz à effet de serre sont ramenées à 14,8 g d'équivalent CO₂/vkm. Ces observations démontrent la sensibilité du composant véhicule à la durée de vie et au kilométrage du véhicule.

Ces informations indiquent quels améliorations de conception d'ordre supérieur que peuvent apporter les fabricants de trottinettes électriques. Ceux-ci devraient s'efforcer de construire des véhicules légers, mais solides et durables, au moyen de procédés de fabrication à faibles émissions de carbone. Lors des entretiens organisés avec des opérateurs de trottinettes électriques partagées, ces derniers ont précisément mentionné ces ambitions. En outre, à mesure que le temps passe et que nous disposons de plus en plus de données sur les composants le plus souvent sujets aux pannes, les fabricants peuvent tout mettre en œuvre pour améliorer la robustesse de ceux-ci.

L'analyse de sensibilité étant axée sur les changements relatifs, les résultats de la dernière génération sont très similaires à ceux de la première génération de trottinettes électriques partagées. La principale différence réside dans le fait que le scénario de base présente désormais des émissions de GES du cycle de vie plus faibles, soit 64 g d'éq. CO₂/vkm contre 84 g d'éq. CO₂/vkm. Les hypothèses du scénario de base sont identiques, à l'exception d'une durée de vie du véhicule plus élevée (36 mois) et d'un kilométrage annuel plus important (3650 km), contre respectivement 18 mois et 2900 km. Si les changements relatifs dus à la variation des paramètres sont similaires pour les deux générations, les différences absolues sont plus faibles pour la dernière génération. Une fois de plus, cette observation confirme que la durée de vie du véhicule et le kilométrage sont les paramètres les plus significatifs.

Nous observons quelques légères différences concernant l'impact entre les différents scénarios. L'utilisation d'une électricité décarbonée pour la dernière génération réduit les émissions de GES du cycle de vie de 4 %, tandis que l'utilisation d'une électricité à forte teneur en carbone augmente les émissions de 16 %, contre respectivement 3 % et 11 % pour la première génération. L'importance accrue de l'utilisation d'une électricité décarbonée peut s'expliquer par la durée de vie et le kilométrage supposés plus élevés du véhicule, augmentant ainsi l'importance du composant utilisation.

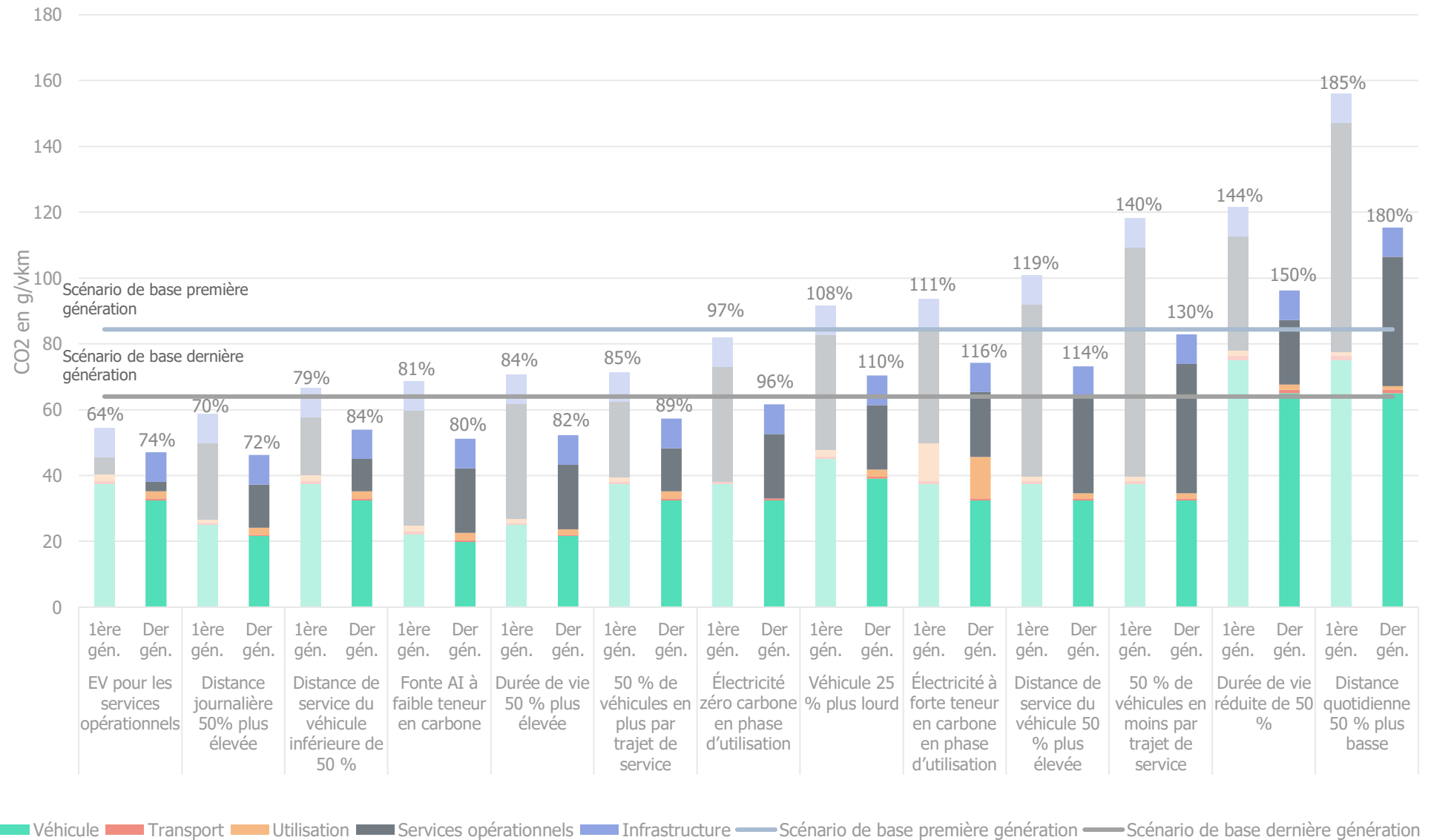


Figure 40: Sensibilité des émissions de GES du cycle de vie des trottinettes électriques partagées de première et de dernière génération aux modifications de paramètres. Source : chiffres adaptés de (Cazzola & Crist, 2020)

Une série d'évaluations des émissions de GES du cycle de vie de trottinettes électriques partagées, provenant de différents articles scientifiques évalués par des pairs, est résumée dans le tableau 11 ci-dessous, avec leurs conclusions et hypothèses les plus importantes. Comme nous le verrons plus loin, l'impact des différents paramètres étudiés à la figure 40 peut être observé en pratique.

(Hollingsworth et al., 2019) a constaté des émissions de GES du cycle de vie presque identiques à celle du rapport du FIT, soit 125 g CO₂/vkm. Dans leur ACV, la composante « services opérationnels » contribue pour 43 % aux effets de réchauffement planétaire induits. Cette contribution plus importante que d'habitude est due à une distance de collecte supérieure à la moyenne et à l'utilisation de véhicules de service à forte intensité en carbone.

(Kazmaier et al., 2020) a observé des émissions de GES du cycle de vie de 165 g CO₂/vkm, soit 35 % de plus que le scénario central de première génération du rapport du FIT, en raison d'un véhicule plus lourd et d'une plus grosse batterie. Ils en ont conclu que les trottinettes électriques ne contribuent pas actuellement à une mobilité écologique et propre - ce qui diffère de nos conclusions, comme nous le verrons dans la section suivante - puisqu'elles produisent davantage de CO₂/vkm que les modes de transport qu'elles n'en remplacent, réaffirmant ainsi les conclusions précédentes de (Hollingsworth et al., 2019). Nous pouvons donc émettre l'hypothèse que si les trottinettes électriques étaient davantage utilisées et remplaçaient des modes de transport à plus forte intensité en carbone, elles pourraient avoir un effet bénéfique. Toutefois, Kazmaier et al ont également constaté que les trottinettes électriques n'intéressent pas ceux qui ne les ont pas encore utilisées comme mode de transport, et qu'il conviendrait de mettre en place une certaine forme d'incitation afin d'attirer de nouveaux utilisateurs.

(Severengiz et al., 2020) a constaté des émissions de GES du cycle de vie similaires à celles de (Hollingsworth et al., 2019), seulement 17 % plus basse en raison d'une distance de service plus courte. Dans le meilleur des cas, les trottinettes électriques ont un potentiel de réchauffement planétaire de 64 g de CO₂ par passager-km, contre respectivement 8 g, 40 g et 58 g pour les vélos, les vélos électriques et les tramways.

(Moreau et al., 2020) a observé des émissions de GES du cycle de vie de 131 g CO₂/vkm, ce qui est supérieur aux émissions moyennes de GES par passager-km des modes de transport remplacés (110 g CO₂/pkm). Les auteurs concluent que les trottinettes électriques partagées deviennent une solution de mobilité verte dès lors qu'elles ont une durée de vie d'au moins 9,5 mois. Les trottinettes électriques privées, quant à elles, présentent des émissions de GES du cycle de vie beaucoup plus faibles, avec seulement 67 g de CO₂/vkm, grâce à un cadre plus léger et au fait qu'elles ne nécessitent pas de services opérationnels pour la recharge.

Les articles les plus récents de (de Bortoli, 2021) et (Licata, 2021) ont observé des émissions de GES du cycle de vie de respectivement 61 et 36 g de CO₂/vkm en raison de durées de vie et de kilométrages supposés et observés plus élevés. Nous pouvons raisonnablement supposer que la durée de vie des trottinettes électriques augmentera progressivement suite aux progrès technologiques. De même, un kilométrage quotidien de 10 à 20 km est une hypothèse raisonnable, comme l'a souligné un opérateur de trottinettes électriques partagées à Licata en 2021. Toutefois, une moyenne quotidienne de seulement 4,6 km a été observée à Bruxelles sur une période de 510 jours, marquée par deux confinements. La prudence est donc de mise lors du traitement de données obtenues dans des circonstances exceptionnelles. Le scénario optimiste de Licata (2021), dans lequel chaque trottinette électrique parcourt 50 km par jour, présente un effet sur le réchauffement planétaire considérablement réduit, mais repose sur une hypothèse quelque peu déraisonnable. Néanmoins, si les services de trottinettes électriques partagées gagnent en popularité, il sera possible d'atteindre des kilométrages quotidiens plus élevés et, par conséquent, une diminution des émissions de GES par véhicule-km.

Dans l'ensemble, les émissions de GES du cycle de vie provenant de la littérature scientifique sont nettement plus élevées que les émissions du meilleur scénario rapportées par des opérateurs de trottinettes électriques partagées. Les estimations d'émissions du cycle de vie plus importantes dans la littérature scientifique sont principalement dues à des durées de vie et des kilométrages supposés plus courts. Dans (EY, 2020) les émissions de GES du cycle de vie de la trottinette électrique Voi 3 sont estimées à 35 g de CO₂/vkm, en supposant une durée de vie de 24 mois, une utilisation élevée de la trottinette, une énergie 100 % renouvelable et le recours à des vélos cargos pour échanger les batteries. De même, Dott fait état du meilleur scénario actuel de 40 g de CO₂/vkm pour ses véhicules à Lyon, en supposant une durée de vie de 36 mois, mais sans déduire les émissions dues au recyclage du véhicule, contrairement à EY. De façon plus conventionnelle et plus conforme à la littérature scientifique, une moyenne mondiale de 100 g de CO₂/vkm est mentionnée dans (Dott, 2022). Cette moyenne mondiale représente plus du double des émissions dans le meilleur des cas, car tous les véhicules du service opérationnel ne sont pas entièrement électriques et car les services opérationnels

et les distances de transport varient selon les régions du monde. Néanmoins, Dott a l'intention de réduire encore les émissions de gaz à effet de serre dans le meilleur des cas à 20 g de CO₂/vkm d'ici 2025, notamment en augmentant la durée de vie des trottinettes électriques à 5 ans, en réduisant le taux de perte à 0,5 % et en assemblant les véhicules en Europe pour réduire les émissions liées au transport. Toutefois, ces chiffres n'ont pas pu être vérifiés par rapport à des performances réelles.

Les principaux chiffres de notre analyse - respectivement 84 g de CO₂/vkm et 64 g de CO₂/vkm pour la première et la dernière génération de trottinettes électriques partagées et 36 g de CO₂/vkm pour les trottinettes électriques privées - se situent entre les estimations plutôt prudentes de la littérature scientifique et les meilleurs scénarios optimistes rapportés par les opérateurs de trottinettes électriques partagées. Il s'agit d'une conséquence de nos hypothèses ; les durées de vie des véhicules et les kilométrages utilisés se situent également entre les estimations prudentes et précoces de la littérature scientifique et les estimations optimistes et plus récentes des opérateurs de trottinettes électriques partagées.

Tableau 11: Évaluation des émissions de GES du cycle de vie des trottinettes électriques privées et partagées issues de la littérature scientifique.

Source	Pays	Privées / partagées	g d'éq. CO ₂ /vkm	Composant véhicule	Commentaires / Conclusions
(Hollingsworth et al., 2019)	USA	Partagées	125	50%	<ul style="list-style-type: none"> • La collecte quotidienne pour la recharge et la redistribution représente 43 %. • Principales améliorations : véhicules économes en carburant, collecte uniquement de trottinettes dont la batterie est faible et réduction de la distance de collecte.
(Kazmaier et al., 2020)	Allemagne	Partagées	165	73%	<ul style="list-style-type: none"> • Hypothèse d'une trottinette électrique robuste dotée d'une plus grosse batterie ; principal impact venant du cadre en aluminium et de la production de la batterie. • Meilleur scénario = 46 g d'éq. CO₂ /vkm pour une durée de vie de 15 mois. • Les principaux facteurs de l'ACV sont la durée de vie, les batteries interchangeable et le mix électrique provenant de sources renouvelables.
(Severengiz et al., 2020)	Allemagne (Berlin)	Partagées	77	63%	<ul style="list-style-type: none"> • En supposant une durée de vie de 2 ans. • Une durée de vie de 6 mois donne 237 g de CO₂/vkm. • Le meilleur scénario reste pire que les vélos, les vélos électriques et les trams.
(Moreau et al., 2020)	Belgique (Bruxelles)	Partagées, privées	131 (partagées) 67 (privées)	73%	<ul style="list-style-type: none"> • En supposant une durée de vie de 7,5 mois. • Une durée de vie de 9,5 mois est nécessaire pour être une solution de mobilité verte. • Pour une durée de vie de 3,4 ans, le composant services opérationnels devient dominant.

(de Bortoli, 2021)	France (Paris)	Partagées, privées	61 (partagées) 42 (privées)	79%	<ul style="list-style-type: none"> En supposant une durée de vie de 24 mois. Kilométrage quotidien de 10 km
(Licata, 2021)	Belgique	Partagées	36	47%	<ul style="list-style-type: none"> En supposant une durée de vie de 24 mois. Les kilométrages quotidiens de 20 et 50 km donnent lieu respectivement à 80 et 36 g de CO₂/vkm.

3.4.2 Comparaison avec d'autres modes de transport

Pour avoir une idée de l'impact environnemental des trottinettes électriques privées et partagées dans le contexte plus large de la mobilité, la figure 41 fait la comparaison avec les émissions de GES du cycle de vie des autres modes de transport. Comme le soulignait la section précédente, le transport nécessaire à la livraison initiale des véhicules est négligeable et n'est donc pas pris en compte dans la discussion. Les émissions sont calculées par passager-km (pkm), car certains modes de transport peuvent transporter plusieurs passagers à la fois. L'abréviation MCI signifie moteur à combustion interne. Les durées de vie, les kilométrages et le nombre moyen de passagers de chaque mode de transport sont résumés dans le tableau 12 ci-dessous.

Les calculs pour un véhicule électrique ont été effectués sur la base des données de (Cazzola & Crist, 2020) et mis à jour avec le mix électrique belge (dont l'intensité en carbone est généralement moindre par rapport à des pays comme les États-Unis) et la flotte de véhicules électriques belge.

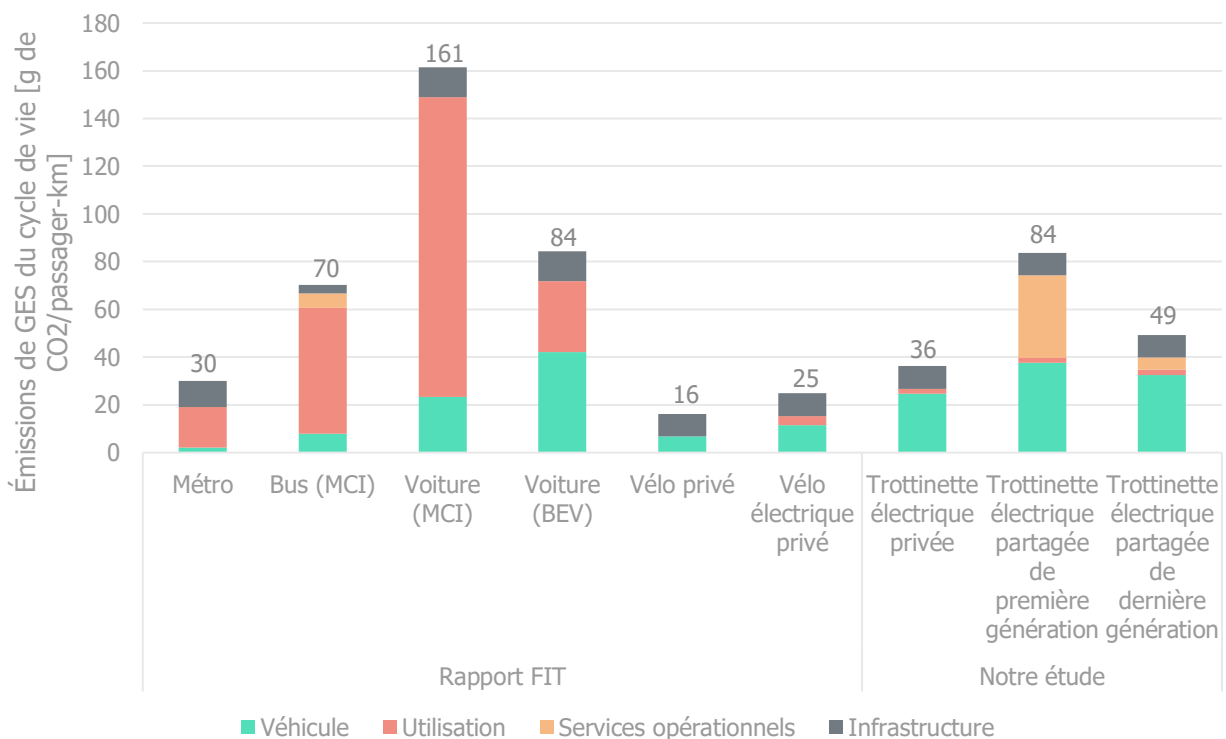


Figure 41: Émissions de GES du cycle de vie de différents modes de transport par passager-km. Chiffres basés sur (Cazzola & Crist, 2020) et nos propres calculs.

Tableau 12: Durée de vie, kilométrage annuel et nombre moyen de passagers des différents modes de transport. Chiffres basés sur (Cazzola & Crist, 2020) et entretiens avec des opérateurs de trottinettes électriques partagées.

	Durée de vie du véhicule (années)	Kilométrage annuel [km/an]	Nombre moyen de passagers
Métro	40	66000	190
Bus	9	44000	17
Voiture (EV et MCI)	15	12100	1.5
Vélo privé	6	2400	1
Vélo électrique privé	6	2400	1
Trottinette électrique privée	3	2200	1
Trottinette électrique partagée de première génération	0,8	2900	1
Trottinette électrique partagée de dernière génération	3	3650	1

Dans (Moreau et al., 2020), les auteurs ont analysé une enquête menée par Bruxelles Mobilité sur l'utilisation des trottinettes électriques pour connaître la part relative des modes de transport remplacés. Ils ont trouvé ces parts en analysant les réponses à la question « Avant l'arrivée des trottinettes électriques, quel mode de transport auriez-vous utilisé pour le même type de déplacements ? ». Cependant, les utilisateurs peuvent utiliser leurs trottinettes électriques pour de nombreux types de déplacements pour lesquels ils utilisaient peut-être d'autres modes de transport avant l'arrivée des trottinettes électriques. Cette seule question n'englobe donc pas l'ensemble de la situation et il convient d'en tenir compte lors de l'analyse des résultats. De même, la répartition modale peut être très différente d'un endroit à l'autre et la prudence est donc de mise si l'on tente de généraliser les résultats.

Cependant, dans notre étude sur la mobilité, nous avons constaté que les trottinettes électriques ont principalement un impact sur les déplacements en voiture, mais pas sur les déplacements en vélo ou en transports publics. Cette constatation n'a pas été déterminée spécifiquement en fonction des trajets, mais sur la base du choix global du mode de transport, permettant d'obtenir des résultats plus solides en ce qui concerne le choix du mode de transport sur une plus longue période (si elle est déterminée en fonction d'un trajet spécifique, il est possible que l'évaluation de la répartition modale soit biaisée. En effet, ce n'est pas parce qu'une personne se déplace actuellement en voiture pour un trajet bien précis, que cette personne fait toujours ce même trajet en voiture). Ce résultat est important, car les trottinettes électriques produisent globalement plus d'émissions de GES que les vélos et la marche, mais comme c'est l'utilisation de la voiture qui est principalement remplacée par la trottinette électrique, les avantages peuvent être plus élevés que dans les estimations d'autres études.

Les résultats de l'étude de (Moreau et al., 2020) pour les trottinettes électriques partagées et privées sont résumées au Tableau 13. Les « voyages supplémentaires » correspondent aux utilisateurs qui n'auraient pas fait le voyage autrement. L'analyse montre que les personnes utilisent le plus souvent une trottinette électrique privée pour remplacer les trajets en voiture alors que les trottinettes électriques partagées remplacent plus souvent la marche. Comme le soulignent les auteurs, ces différences pourraient s'expliquer par le fait que les utilisateurs de trottinette privée ont tendance à utiliser leur trottinette électrique pour se rendre sur leur lieu de travail alors que les trottinettes électriques partagées sont parfois utilisées à des fins de loisirs. D'un point de vue environnemental, l'idéal serait que les trottinettes électriques remplacent largement les modes de transport à forte intensité carbone, tels que les voitures, plutôt que les transports publics, le vélo et la marche, qui sont plus écologiques. Cette tendance s'observe aux États-Unis, où la part modale est très différente.

Tableau 13: Mode de transport remplacé par l'utilisation de trottinettes électriques partagées et privées. Source : (Moreau et al., 2020).

Mode de transport remplacé	Utilisateurs partagés	Utilisateurs privés
Transports publics	29,2%	30,2%
Voiture	26,7%	28,4%
Marche	26,1%	21,1%
Vélo	14,2%	15,5%
Vélo électrique	1,5%	1,6%
Voyages supplémentaires	1,8%	1,5%
Autre	0,1%	1,1%
Moto	0,4%	0,6%

La part modale moyenne remplacée par l'utilisation de trottinettes électriques présente des émissions de GES du cycle de vie de 60 g de CO₂/pkm, soit 29 % de moins que la première génération de trottinettes électriques partagées et 22 % de plus que la dernière génération de trottinettes électriques partagées (dans laquelle l'effet peut potentiellement être plus élevé, si l'on tenait compte du remplacement plus important de la voiture). La part modale moyenne présente des émissions bien inférieures à celles de la première génération de trottinettes électriques partagées, en raison de la part importante de la marche et du vélo, dont les émissions sont respectivement nulles et très faibles. La dernière génération de trottinettes électriques partagées obtient de meilleurs résultats que la part modale moyenne, étant donné qu'elle a une durée de vie d'au moins 36 mois, qu'elle parcourt au moins 10 km par jour et qu'elle est entretenue par une camionnette ou un vélo électrique. Les trottinettes électriques restent plus polluantes que la marche et le vélo, mais constituent des alternatives plus respectueuses de l'environnement que les voitures.

4 Sécurité et comportement de conduite

Comme le mentionnait l'introduction de cette étude, une meilleure compréhension des comportements de conduite et des conflits impliquant des trottinettes électriques, des vélos et des vélos électriques dans les espaces partagés est nécessaire. Voilà pourquoi une étude d'observation des comportements et des conflits a été réalisée.

L'objectif de cette étude n'est pas de déterminer uniquement les responsabilités dans un conflit. Le principe de l'étude d'observation des comportements et des conflits serait de mieux comprendre les comportements et les conflits afin d'améliorer activement la sécurité dans les espaces partagés. En outre, elle permettra de déterminer avec précision si les préjugés sont fondés ou non. Sur la base de ces observations, des recommandations peuvent être formulées pour améliorer activement la sécurité des usagers de la route dans les espaces partagés.

4.1 Méthodologie

4.1.1 Choix du site

Pour cette étude, nous avons sélectionné quatre sites à Bruxelles sur la base d'une visite des lieux et de mentions antérieures d'une présence considérable de trottinettes électriques. Nous avons mis l'accent sur la ville de Bruxelles puisqu'elle peut être considérée comme une pionnière en matière de trottinettes électriques. Parmi les autres raisons, nous pouvons citer le nombre élevé d'utilisateurs dans la capitale (confirmé par notre questionnaire), les nombreux espaces partagés avec présence de trottinettes électriques, et la possibilité d'appliquer les meilleures pratiques de Bruxelles dans d'autres villes régionales belges.

Les quatre sites sélectionnés pour cette recherche ont été répartis entre zones piétonnes et espaces publics partagés non classés comme zones piétonnes. Les quatre sites suivants ont ainsi été retenus :

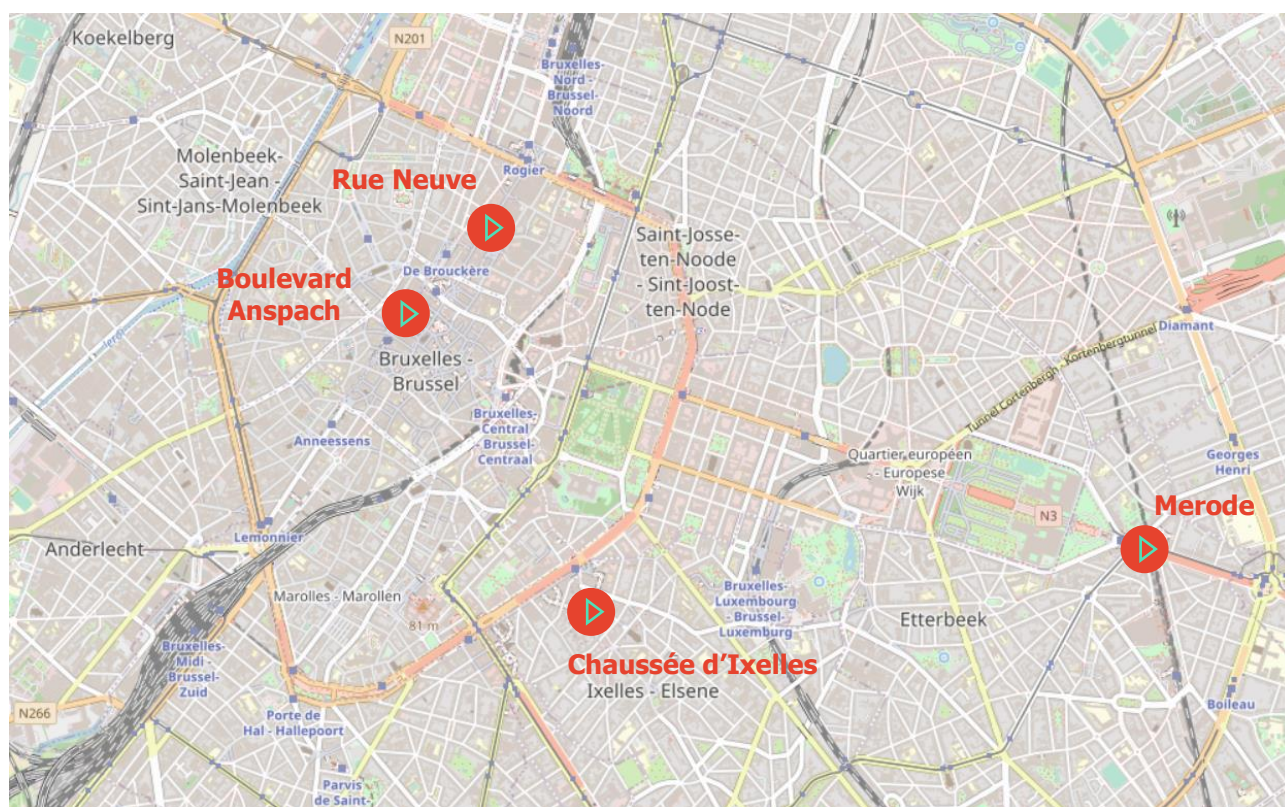



Figure 42: Lieux d'observation des comportements et des conflits (source : OpenStreetMap)

Espaces partagés réguliers	
<u>Ixelles</u> près de l'intersection Chaussée d'Ixelles x Rue Francart	<u>Merode</u> près de l'intersection Avenue de Tervueren x Avenue des Celtes
	
Zones piétonnes	
<u>Rue Neuve</u> près de l'intersection Rue Neuve x Rue aux Choux	<u>Boulevard Anspach</u> près de l'intersection Boulevard Anspach x Rue du Marché aux Poulets
	

4.1.2 Collecte de données

Pour pouvoir effectuer les observations des comportements et des conflits, des images vidéo ont été collectées grâce à un système de caméra temporaire. Cette caméra est un système mobile et autonome doté d'une perche télescopique d'une hauteur maximale de 6 mètres et d'une faible résolution qui empêche la reconnaissance des visages et des plaques d'immatriculation. Au total, 67 heures de matériel vidéo ont été collectées pour chaque site. Les vidéos ont été enregistrées simultanément sur tous les sites à des heures d'intérêt prédéterminées à différents jours de la semaine :

– Mercredi 22/06/2022	– de 7h00 à 20h00 (13 heures)
– Jeudi 23/06/2022	– de 7h00 à 20h00 (13 heures)
– Vendredi 24/06/2022	– De 7h00 à 23h59 (17 heures)
– Samedi 25/06/2022	– De minuit à 3h00 (3 heures)
	– de 9h00 à 20h00 (11 heures)
– Dimanche 26/06/2022	– de 10h00 à 20h00 (10 heures)



En raison du grand nombre d'heures de vidéo collectées, deux stratégies différentes de traitement des données ont été mises en place. D'une part, un codage manuel des images a été effectué sur 10 heures de séquences vidéo de chaque lieu, réparties sur différentes périodes et différents jours, afin de pouvoir déterminer le nombre d'utilisateurs de trottinette électrique. D'autre part, un logiciel a été utilisé (le progiciel d'observation de comportements et de conflits TrafXSAFE Plus de Transoft Solutions) pour extraire les vitesses, le nombre d'usagers et les informations sur les conflits de manière automatisée.

Afin de déterminer avec précision les conflits et les comportements, un balayage laser 3D a été réalisé à chaque endroit et mis en correspondance avec les images captées par la caméra (= calibrage). Le scanner laser 3D effectue une série de mesures des distances réelles sur place pour compenser la déformation présentes sur les images vidéo. À cet effet, des points de calibrage ont été ajoutés au sol à l'aide de ruban adhésif. Ceux-ci pouvaient ensuite être facilement retirés pour éviter tout impact sur les comportements. De cette façon, différents points captés par la caméra ont pu être mis en correspondance avec les mêmes points tels que captés par le scanner laser 3D. Par conséquent, les distances, la vitesse, l'accélération, la décélération, etc. peuvent être mesurées, afin de déterminer des indicateurs de conflit.



Alors que l'observation des comportements donne un meilleur aperçu de la conformité avec une utilisation correcte de la trottinette électrique, du vélo et du vélo électrique dans les espaces partagés à Bruxelles, l'observation des conflits se concentre spécifiquement sur les conflits entre les différents usagers de la route dans l'espace partagé. Ci-dessous, vous trouverez un aperçu des informations qui ont été extraites et codées avec des livres de code basés sur les différentes méthodes de traitement des données.

- Observation des comportements (codage manuel du nombre d'utilisateurs de trottinette électrique) :
 - Date et heure
 - Site d'observation
 - Type de trottinette électrique (électrique partagée, électrique privée, non motorisée, inconnue)
 - Nombre de personnes sur la même trottinette électrique (1 personne, 2 personnes, plus de 2 personnes, inconnu)
- Observation des comportements (avec le logiciel TrafXSAFE) :
 - Date et heure
 - Site d'observation
 - Type d'usager de la route (piéton, cycliste, trottinette électrique, autres véhicules motorisés)
 - Vitesse médiane
- Détermination du conflit (avec le logiciel TrafXSAFE)
 - Type d'indicateur de sécurité (Time To Collision 'TTC' ou Post-Encroachment Time 'PET')
 - Valeur de l'indicateur de sécurité (Temps en secondes pour TTC ou PET)
 - Nombre total d'usagers de la route détectés
- Observation des conflits (conflits graves avec le logiciel TrafXSAFE)
 - Date et heure
 - Limitation de vitesse (8 km/h pour les zones piétonnes et 25 km/h en dehors des zones piétonnes)
 - Type d'usagers de la route (piéton, cycliste, trottinette électrique)
 - Vitesse médiane et vitesse de conflit
 - Type et valeur de l'indicateur de sécurité (Time To Collision 'TTC' ou Post-Encroachment Time 'PET').



Ces variables brutes codées ont permis d'extraire les informations suivantes sur les comportements et les conflits afin de réaliser une analyse détaillée pour chacun des quatre sites :

Observation des comportements	Observation des conflits
<ul style="list-style-type: none"> - Type d'usagers de la route et leur part - Vitesses pratiquées - Respect de la vitesse en fonction du type d'espace partagé (zones piétonnes ou non) - Le nombre de personnes présentes sur une trottinette électrique 	<ul style="list-style-type: none"> - Le nombre d'interactions observées - La proportion de conflits par rapport au nombre d'usagers de la route et aux interactions - Le type d'usagers de la route impliqués dans ces conflits - Respect de la vitesse dans les conflits

Comme l'indique Martensen et al. (2021) dans une revue de la littérature, les observations de conflits ont une tradition relativement longue dans la recherche sur la sécurité routière. L'application de cette méthode d'étude sur les usagers vulnérables de la route a augmenté ces dernières années. L'observation des conflits se base sur les interactions entre les usagers de la route. Nous pouvons décrire une interaction comme 'une situation dans laquelle deux usagers de la route arrivent à un endroit avec une telle proximité dans le temps et l'espace que la présence d'un usager de la route peut avoir une influence sur le comportement de l'autre' (De Ceunynck, 2017). Ces interactions peuvent déboucher sur un conflit, lorsque les deux usagers de la route sont en contact très étroit. Deux différents indicateurs de substitution servant à mesurer la sécurité sont souvent utilisés pour déterminer la présence d'un conflit et son degré. Ces indicateurs sont appelés : 'Time To Collision (TTC)' et 'Post-Encroachment Time (PET)' et sont calculés en fonction de la vitesse des usagers de la route et de leurs distances les uns des autres.

Le Time To Collision est défini comme 'le temps qu'il restait avant qu'une collision entre les véhicules se produise s'ils avaient continué sur leur trajectoire actuelle à leur vitesse actuelle' (Hayward, 1972). Le TTC se réduit tant que deux usagers de la route restent sur une trajectoire de collision, et augmente en taille lorsqu'ils adaptent leur trajectoire. La valeur n'existe plus lorsque les (l'un des) deux usagers de la route modifie sa trajectoire de sorte qu'il n'y a plus de risque de collision. La valeur minimum de cet indicateur est également décrit comme TTC_{min} .

Le Post-Encroachment Time est défini comme 'le temps entre le moment où le premier usager de la route quitte la trajectoire du second et le moment où le second rejoint la trajectoire du premier' (Johnsson et al., 2018). Avec ce PET, les usagers de la route ne sont pas sur une trajectoire de collision, mais se touchent presque. En fait, le PET indique dans quelle mesure les deux usagers de la route ont manqué de se heurter. Plus la valeur PET est petite, plus les deux usagers de la route se sont rapprochés l'un de l'autre. Une seule valeur existe pour cet indicateur.

Compte tenu du grand nombre d'heures de vidéo collectées et d'interactions possibles dans ces espaces publics partagés, le codage manuel des séquences vidéo pour encoder ces indicateurs n'était pas réalisable pour cette étude. La solution retenue est le logiciel de traitement automatique des vidéos de 'Transoft Solutions TrafSAFE Plus', qui est censé offrir une solution efficace et fiable pour l'analyse de grands ensembles de données. En outre, le logiciel est capable d'identifier facilement les différents types d'usagers de la route présents sur les sites.

Martensen et ses collègues ont récemment réalisé une étude d'observation des conflits dans des zones piétonnes en Belgique au moyen de ce logiciel qui permet le traitement automatisé des images. Ils ont indiqué que, bien que la précision de la classification des usagers de la route par le logiciel TrafSAFE et les indicateurs de conflit choisis par ce même logiciel n'atteignent pas 100 %, la précision est suffisamment élevée que pour traiter de grandes quantités de données vidéo, ce qui constituerait une tâche longue et ardue. Ils ont également conclu que le TTC n'est pas nécessairement l'indicateur de substitution de sécurité la plus appropriée pour l'observation des conflits avec les usagers de la route vulnérables.

Toutefois, Johnsson et al. (2018) ont constaté par le biais d'une étude de validation qu'il est difficile de comparer et de discuter de la validité de différents indicateurs de sécurité de substitution pour les usagers vulnérables de la route. Ils soulignent qu'une réflexion approfondie s'impose lorsqu'il s'agit de sélectionner un indicateur approprié. Étant donné qu'aucun indicateur de substitution de sécurité spécifique n'a été mis en avant, et que chacun des indicateurs présente des limites, cette étude a choisi de s'en tenir au TTC et au PET pour cette observation du conflit par le biais d'un logiciel de traitement automatique des vidéos. En outre, s'il existe un risque de manquer des conflits par cette méthode, le traitement manuel des vidéos présente un danger similaire.

Pour parler des véritables interactions, un TTC ou PET maximal de 4,5 secondes a été utilisé conformément à la méthodologie de (Martensen et al., 2021). Des valeurs plus élevées que ce seuil ont été exclues car l'influence de la trajectoire des usagers de la route est censée être faible à telles valeurs. Afin de classer un conflit dans la catégorie 'grave', les seuils de $TTC_{min} < 1,5$ s et de $PET < 1,0$ s sont souvent utilisés dans les études d'observation des conflits (Brown, 1994; Pulvirenti et al., 2021; Van der Horst, 1990). Par conséquent, ces seuils ont également été utilisés dans cette étude.

4.2 Analyses comportementales

4.2.1 Nombre d'usagers vulnérables de la route

Lors de l'observation des comportements, un grand nombre d'usagers vulnérables de la route ont été recensés dans les espaces partagés. Nous pouvons observer des différences entre les quatre sites, comme le montre la figure 43.

Pour les quatre sites, nous observons une grande proportion de piétons. Ces comptages de piétons peuvent être considérés comme le déterminant exact de la catégorisation des quatre espaces partagés. Dans le boulevard Anspach et la Rue Neuve, la part des piétons parmi les usagers vulnérables de la route est la plus élevée (entre 92,5 % et 97,7 %). Par ailleurs, les piétons sont aussi largement présents à Merode et sur la Chaussée d'Ixelles, même si c'est dans une moindre mesure (entre 59,2 % et 75,5 %). Voilà pourquoi, en général, nous pouvons observer une division entre les deux zones piétonnes avec une part très élevée de piétons (c'est-à-dire Boulevard Anspach et Rue Neuve) et les deux autres espaces partagés réguliers (c'est-à-dire Chaussée d'Ixelles et Merode).

La part des cyclistes parmi l'ensemble des usagers de la route comptabilisés est la deuxième plus élevée, allant de 19,6 % et 36,7 % dans les espaces partagés réguliers, à 1,6 % et 5,5 % dans les zones piétonnes. La part des utilisateurs de trottinettes électriques est la plus faible dans les quatre zones, allant de 4,1 % à 5 % sur les espaces partagés réguliers et de 0,7 % à 2 % dans les zones piétonnes. En chiffres absolus, l'espace partagé régulier de la Chaussée d'Ixelles compte plus de cyclistes et d'utilisateurs de trottinettes électriques que les autres sites. De même, au Boulevard Anspach (zone piétonne), nous avons observé un nombre élevé de cyclistes et d'utilisateurs de trottinettes électriques, tandis que Merode et la Rue Neuve présentent des nombres plus faibles. Vous trouverez un aperçu complet de ces nombres d'usagers de la route observés à la figure ci-dessous. Seuls les usagers de la route vulnérables ont été pris en compte, les véhicules motorisés ont été exclus des observations.

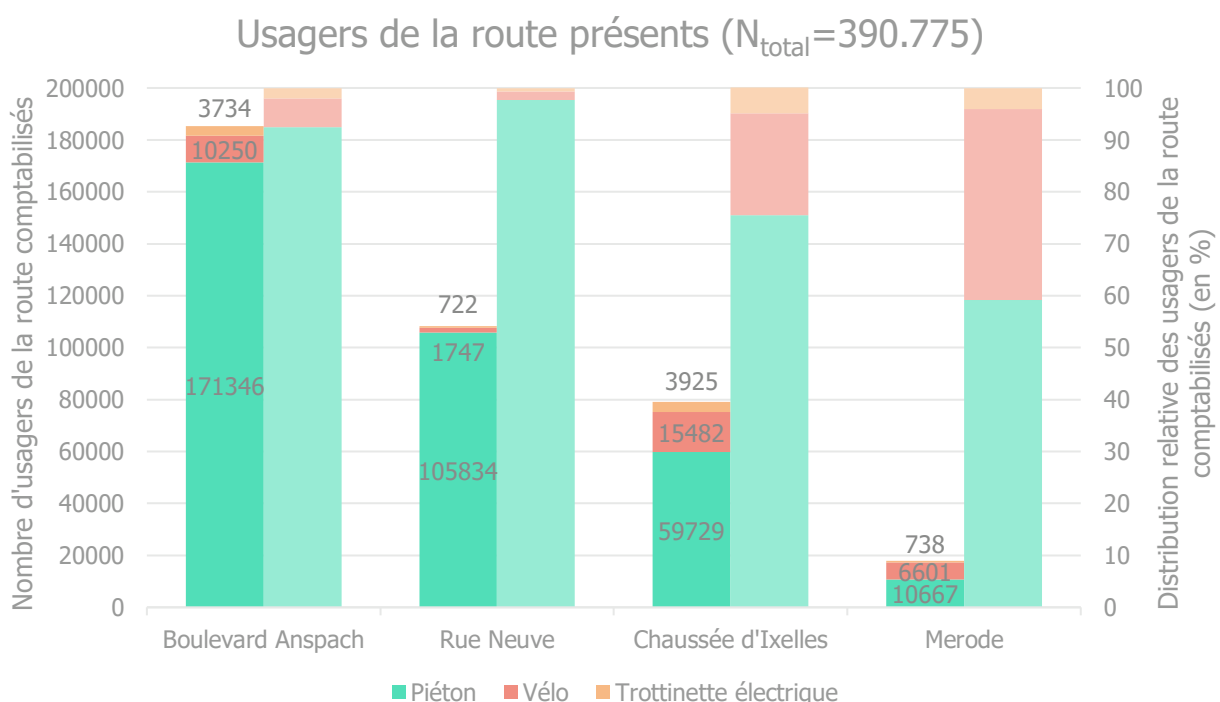


Figure 43: Nombre et proportion d'usagers vulnérables de la route observés sur les quatre sites d'essai

Une distribution horaire de la présence de cyclistes et d'utilisateurs de trottinettes électriques est présentée aux figures 44 et 45. Étant donné que la période d'observation des caméras est plus courte les jours de semaine ordinaires (c.-à-d. de 7 h à 20 h), la distribution utilisée pour ces figures portait sur un vendredi. Le vendredi 24/06, l'observation par caméra a duré de 7 heures à minuit.

En général, des pics plus élevés d'utilisateurs de vélos et de trottinettes électriques ont été observés le matin entre 8 et 10 heures et le soir entre 17 et 19 heures, ce qui correspond aux heures de pointe du trafic. Toutefois, le nombre d'utilisateurs commence déjà à augmenter à partir de 14 heures. Nous pouvons également observer des différences entre les quatre sites, comme le montrent les figures suivantes.

Distribution de cyclistes et d'utilisateurs de trottinettes électriques tout au long de la journée

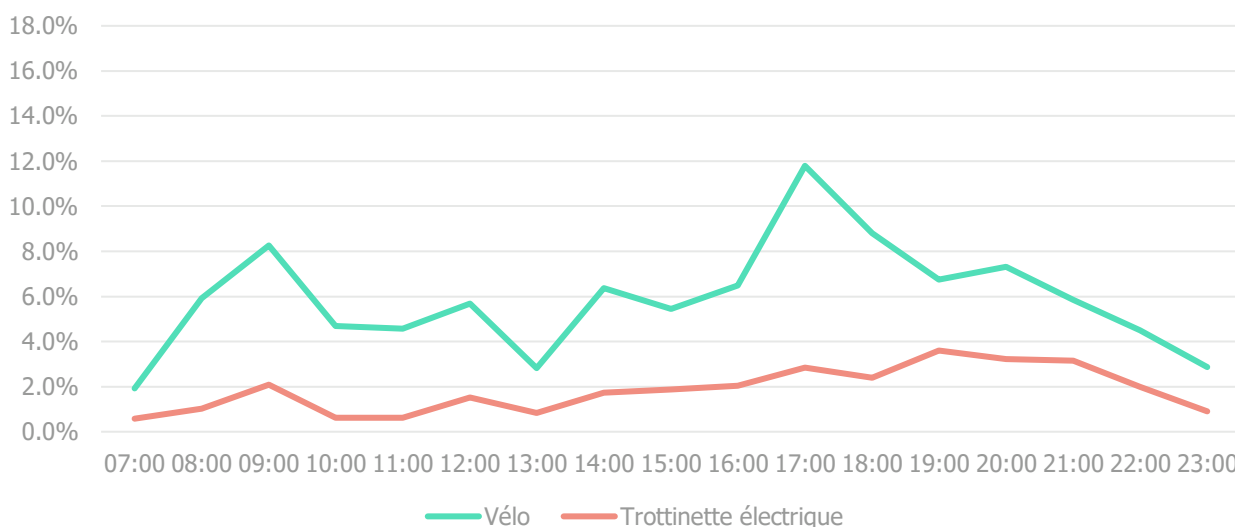


Figure 44: Distribution des cyclistes et des utilisateurs de trottinettes électriques tout au long de la journée sur l'ensemble des quatre sites d'essai.

Alors qu'un pic d'utilisateurs de vélos et de trottinettes électriques est présent entre 8h et 10h pour les quatre sites, nous observons un schéma différent pour le soir. Dans les espaces partagés réguliers, le pic de présence des cyclistes et des utilisateurs de trottinettes électriques se situe entre 17 et 19 heures. En revanche, dans les zones piétonnes, les pics de fréquentation de ces usagers sont observés plus tard dans la soirée, entre 18h et 20h, voire un peu plus tard encore. Il est possible que cette différence soit liée à une forte présence de piétons dans ces zones piétonnes aux heures de pointe qui incite les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques à éviter ces zones lorsque beaucoup de piétons sont présents (notamment dans la Rue Neuve). Cependant, il est possible que cette distribution ne soit pas entièrement représentative des jours de semaine ordinaires, puisqu'un vendredi a été utilisé pour calculer ces distributions.

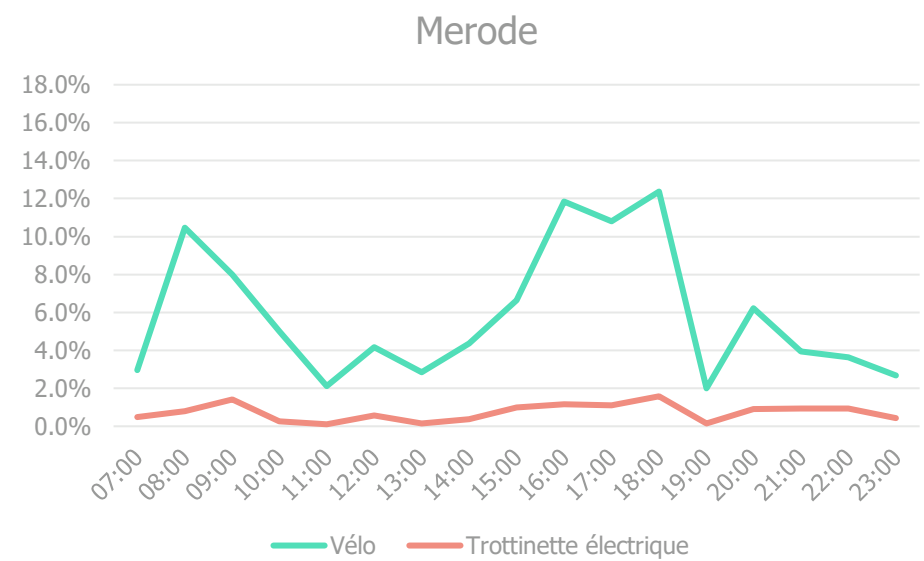
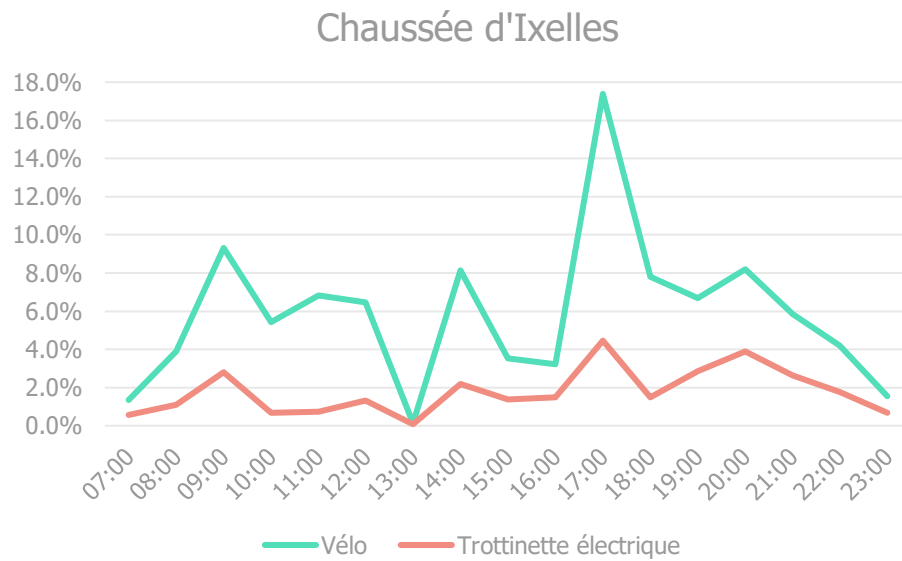
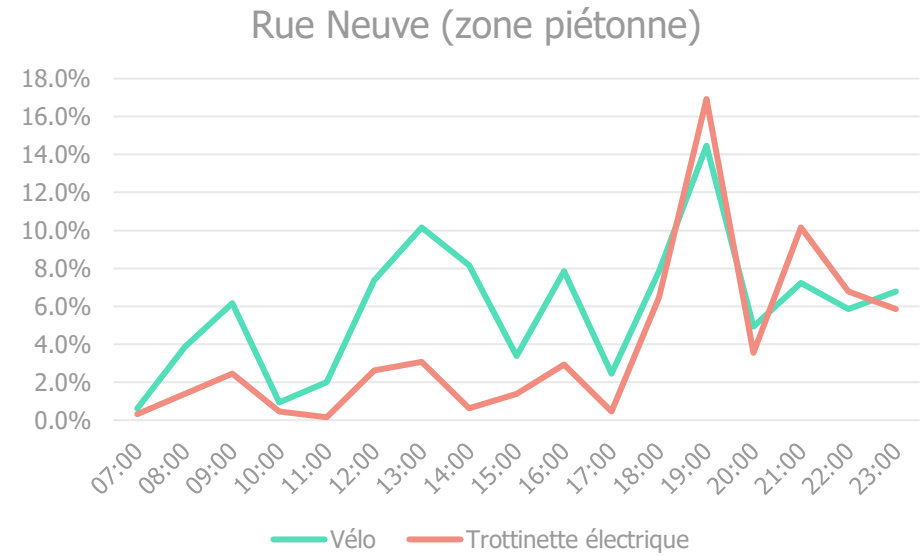
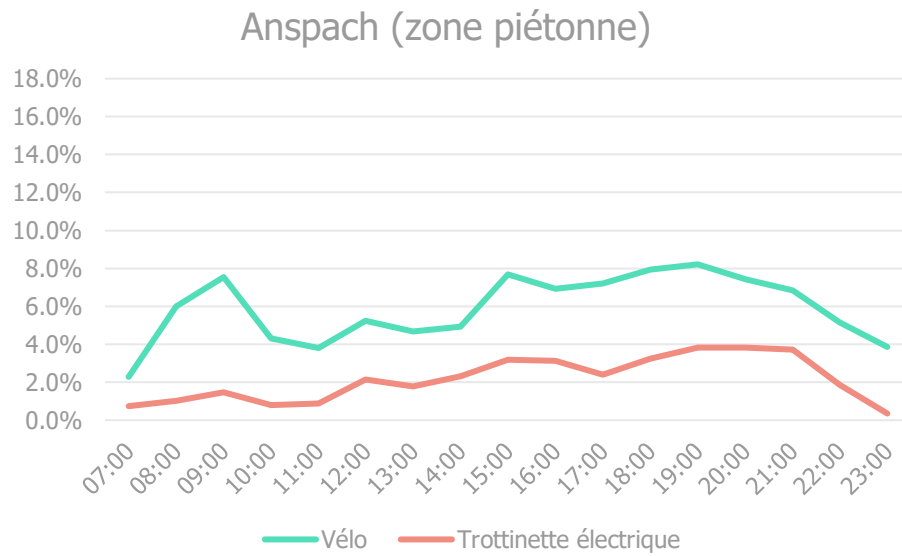


Figure 45: Distribution des cyclistes et des utilisateurs de trottinettes électriques tout au long de la journée sur chacun des quatre sites d'essai

Ensuite, nous avons étudié plus en détail les utilisateurs de trottinettes électriques. Nous avons déterminé le rapport entre les trottinettes électriques motorisées partagées et privées, ainsi que la proportion de trottinettes non motorisées. À cet effet, nous avons prélevé un échantillon de 10 heures de vidéo sur chaque site, réparti entre différentes heures et différents jours de la semaine afin de conserver une distribution représentative tout au long de la période d'observation.

Nous avons également déterminé la part des trottinettes électriques partagées pour chacun des quatre sites d'essai. Nous nous sommes appuyés sur des observations manuelles des images de la caméra, où une trottinette électrique a été classée dans la catégorie des trottinettes électriques partagées sur la base des caractéristiques colorées et de la géométrie. La figure 46 montre que, sur les 2 339 utilisateurs de trottinettes électriques observés, la majorité utilise une trottinette électrique partagée (entre 77 % et 85,3 %), suivie des trottinettes électriques privées (entre 11 % et 20,9 %). Les trottinettes classiques non motorisées n'étaient que très peu présentes. Cela semble contredire les résultats du questionnaire, qui constatait que la part des trottinettes électriques privées était élevée. Cependant, étant donné le contexte spécifique de cette observation (c'est-à-dire des espaces partagés bondés dans des environnements urbains où les trottinettes partagées sont facilement disponibles), et l'absence d'influence du contexte suburbain et rural, nous suspectons une part plus importante de dispositifs partagés, puisque nous nous attendons à observer une part plus importante de trottinettes électriques privées dans des environnements moins denses.

Type de trottinette électrique conduite autour des sites d'observation

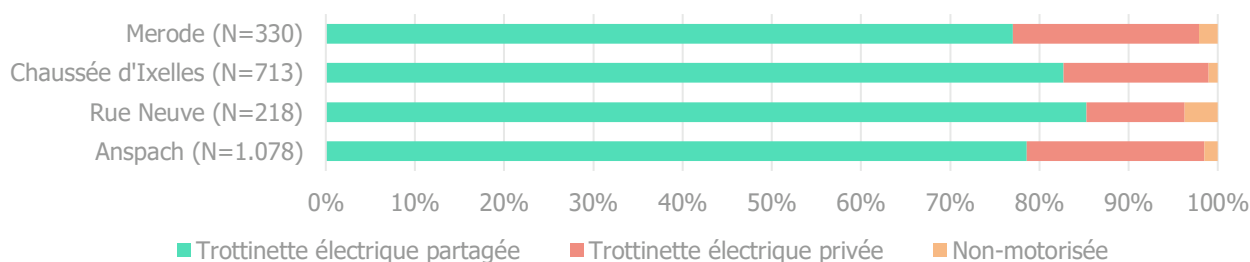


Figure 46: Proportion de trottinettes électriques partagées et privées sur chaque site d'essai

4.2.2 Vitesses pratiquées et excès de vitesse

Une grande partie de l'observation comportementale est axée sur la vitesse et les excès de vitesse. Ceci vise à mieux comprendre, non seulement les vitesses pratiquées ou les infractions pour excès de vitesse (supérieur à la limite de 25 km/h), mais surtout le respect de la vitesse dans les zones piétonnes où des vitesses inférieures sont imposées (à la vitesse du pas) ou demandées en fonction des conditions locales (p.ex., choisir d'adapter la vitesse aux heures de grande affluence.). Afin d'obtenir un aperçu plus précis des vitesses pratiquées et des infractions pour excès de vitesse, nous avons étudié les différents lieux séparément.

Dans les zones piétonnes du Boulevard Anspach et de la Rue Neuve, une limite de vitesse de 8km/h pour les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques a été fixée en raison des difficultés du logiciel dans la détermination de la vitesse à des vitesses très lentes. Par conséquent, nous avons considéré une petite marge par rapport au rythme de marche, qui est environ 5-6km/h, pour tenir compte des légères imprécisions dans la détermination de la vitesse sur la base des images de la caméra, ainsi que de la difficulté d'interpréter la vitesse pouvant être considérée comme un rythme de marche. Les résultats sont présentés à la figure 47.

Nous pouvons observer que sur le Boulevard Anspach, les vitesses pratiquées par les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques sont à peu près les mêmes, la plupart des utilisateurs respectant les limitations de vitesse. Cependant, un certain nombre d'utilisateurs n'ont pas respecté la limite de vitesse, au point même d'atteindre 21 km/h.

Toutefois, pour la Rue Neuve, nous observons une distribution différente. Alors qu'un grand nombre de cyclistes respectent la limite de vitesse légale équivalente à la marche, les utilisateurs de trottinettes électriques semblent moins souvent respecter cette limitation de vitesse, montrant une distribution plus égale sur toutes les vitesses jusqu'à 20 km/h. Certains cyclistes ont également tendance à ne pas respecter les limitations de vitesse, mais dans une moindre mesure. Ici, les différences entre les utilisateurs de trottinettes électriques et les cyclistes sont plus prononcées qu'au Boulevard Anspach, même s'il s'agit de deux zones piétonnes.

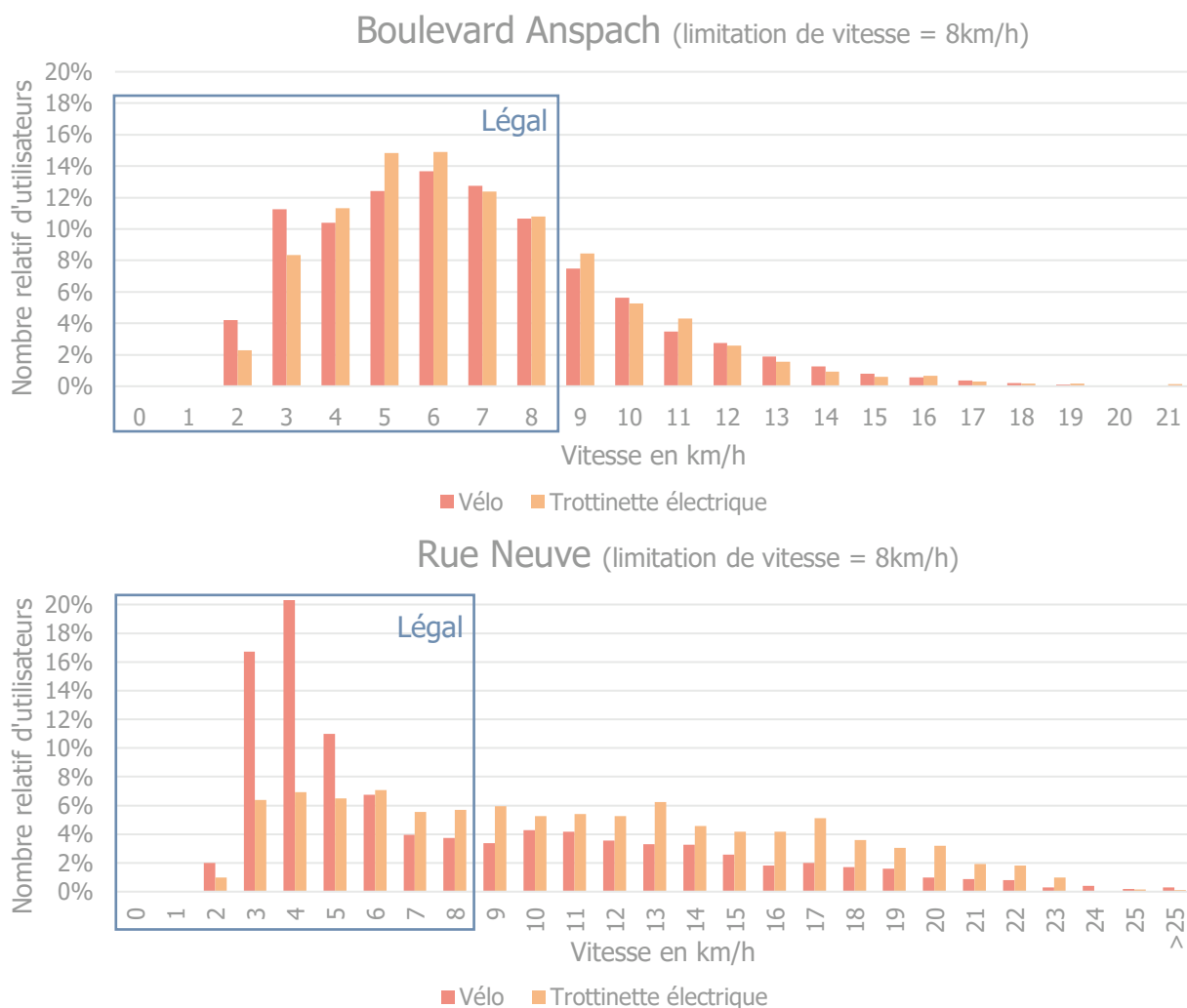


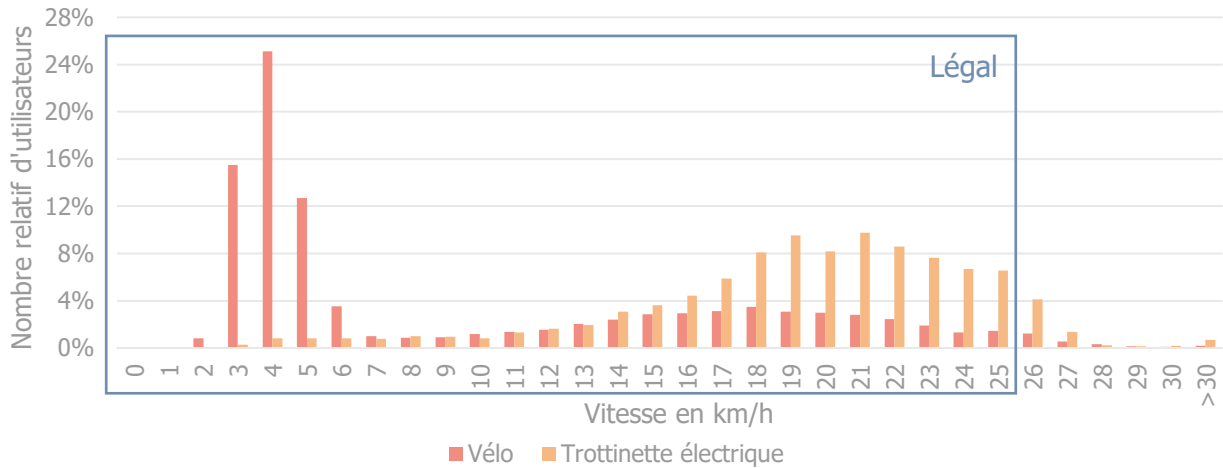
Figure 47: Vitesses pratiquées par les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques dans les zones piétonnes du Boulevard Anspach et de la Rue neuve

Dans les autres espaces partagés, une limite de vitesse légale de 25km/h est d'application. Étant donné que les trottinettes électriques et les vélos électriques conformes à la législation doivent circuler à une vitesse maximale de 25 km/h et qu'il est physiquement difficile de rouler à plus de 25 km/h avec un vélo classique, il est à prévoir que cette limite de 25 km/h ne soit pas dépassée aussi souvent que la limite de 8km/h dans les zones piétonnes. Ici, aucune anomalie de détermination de la vitesse n'a été prise en compte en raison de la plus grande fiabilité des mesures de vitesse par le logiciel lorsque celles-ci sont plus élevées. Les résultats sont présentés à la figure 48.

En effet, nous constatons que la limite de vitesse légale n'est pas très souvent dépassée. Bien que certains utilisateurs aient été surpris à rouler à une vitesse supérieure à 25 km/h, il faut préciser qu'il s'agit d'une minorité, qui peut même se retrouver dans la limite de vitesse légale en raison d'éventuelles anomalies de la caméra. Dans quelques cas seulement, des vitesses supérieures à 28 km/h ont pu être observées, peut-être par des trottinettes non réglementaires ou des cyclistes sportifs.

Alors que les vitesses pratiquées par les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques semblent être plus ou moins égales à Merode, nous observons une différence plus marquante entre les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques à la Chaussée d'Ixelles. Les utilisateurs de trottinettes électriques choisissent plus souvent de s'en tenir à la vitesse maximale de leur trottinette, tandis que les cyclistes ont tendance à pédaler beaucoup plus lentement et présentent une distribution plus homogène sur toutes les vitesses. Les utilisateurs de trottinettes électriques choisissent de rouler à des vitesses plus élevées, simplement parce qu'ils peuvent le faire 'facilement' (c'est-à-dire parce qu'ils doivent fournir moins d'efforts physiques) par rapport aux cyclistes. En effet, ce n'est pas parce qu'une trottinette électrique peut atteindre une vitesse de 25km/h qu'elle doit être utilisée en permanence à cette vitesse. Les utilisateurs de trottinettes électriques ont moins souvent tendance à rouler à une vitesse adaptée à la situation.

Chaussée d'Ixelles (limitation de vitesse = 25km/h)



Merode (limitation de vitesse= 25km/h)

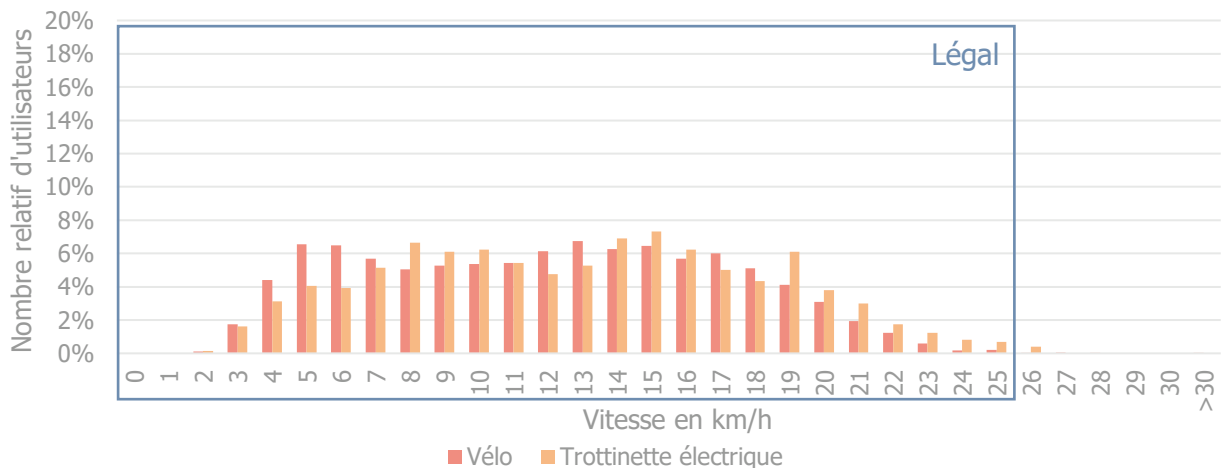


Figure 48: Vitesses pratiquées par les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques dans les espaces partagés de la Chaussée d'Ixelles et de Merode.

Si nous tenons strictement compte du respect de la vitesse, nous pouvons affirmer qu'en moyenne 14,3 % des usagers de la route étaient en excès de vitesse au moment de ces enregistrements caméra. Cependant, de grandes différences peuvent être observées entre les zones piétonnes et les espaces partagés réguliers, comme le montre la figure 49. Dans les zones piétonnes du boulevard Anspach et de la Rue Neuve, respectivement 29,8% et 45% des cyclistes et utilisateurs de trottinettes électriques étaient en excès de vitesse. Dans les espaces partagés de Merode et de la Chaussée d'Ixelles, cela ne concernait respectivement que 0,3 % et 4,6 %. Cela montre donc l'importance d'interpréter l'excès de vitesse en fonction du lieu.

Cas d'excès de vitesse

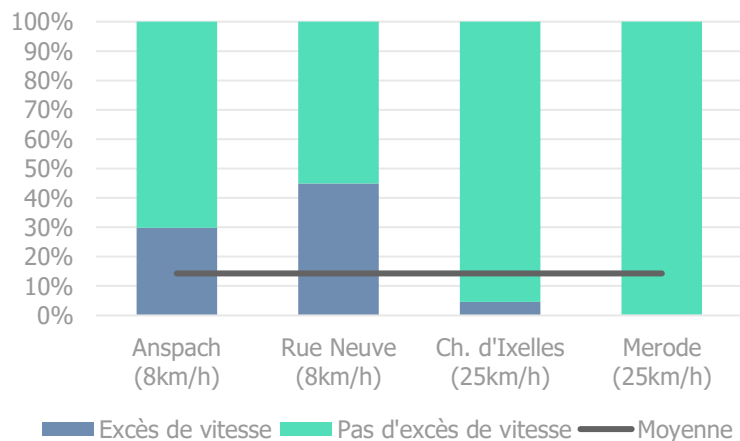


Figure 49: Infractions pour excès de vitesse par espace partagé pour tous les utilisateurs

Pour mieux distinguer les différences éventuelles en matière d'excès de vitesse, la figure 50 présente une distribution des infractions pour excès de vitesse entre les différents lieux, ainsi qu'entre les usagers de la route.

Les données sur les infractions pour excès de vitesse prouvent que les utilisateurs de trottinettes électriques respectent moins souvent la limitation de vitesse que les cyclistes. C'est particulièrement vrai dans la zone piétonne de la Rue Neuve où 63,6 % des utilisateurs de trottinettes électriques étaient en infraction pour excès de vitesse contre 37,3 % des cyclistes (significatif avec un intervalle de confiance de 95 %). Sur le Boulevard Anspach, nous n'avons pu observer aucune différence significative entre les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques.

Une différence statistiquement significative a également été observée sur la Chaussée d'Ixelles, où les utilisateurs de trottinettes électriques ont enfreint la limite de vitesse de 25 km/h plus souvent que les cyclistes (9,8 % contre 3,3 %). Il est possible que ce chiffre relativement élevé, compte tenu du fait que les trottinettes électriques doivent être limitées à une vitesse de 25 km/h, soit dû à une incohérence des caméras. Toutefois, il est frappant de constater que cette situation n'existe pas pour les cyclistes. À Merode, nous n'avons pu observer aucune différence.

Étant donné que la différence entre les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques en matière d'infractions pour excès de vitesse est principalement présente à un seul endroit, à savoir la Rue Neuve, ces résultats doivent être interprétés avec prudence et ne peuvent pas être généralisés. Cependant, comme la distribution des vitesses pratiquées a déjà montré que les utilisateurs de trottinettes électriques roulent plus souvent en excès de vitesse et moins souvent à une vitesse adaptée à la situation, le respect de la vitesse semble être davantage un problème chez les utilisateurs de trottinettes électriques que chez les cyclistes.

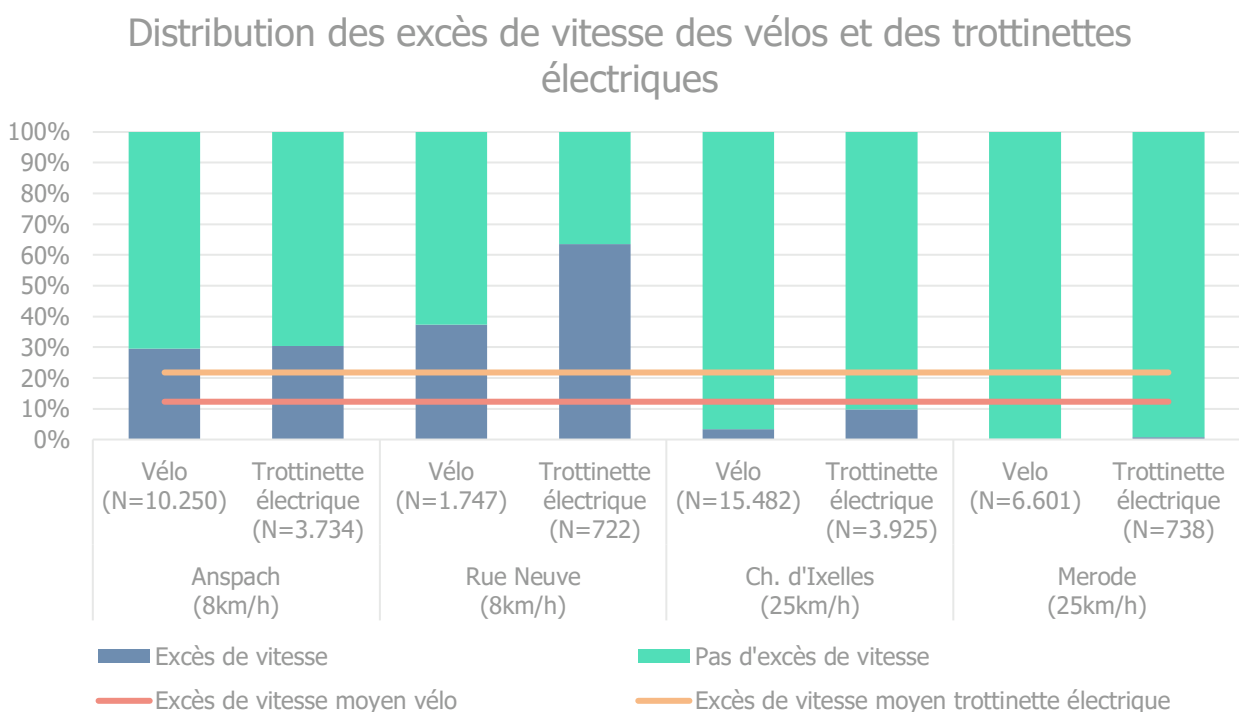


Figure 50: Distribution des infractions pour excès de vitesse par usager de la route et par lieu de test

Lorsque ces infractions pour excès de vitesse sont distribuées en fonction de la date et de l'heure, nous n'avons pu observer aucune variation par rapport au jour de la semaine. Cependant, nous en avons constaté par rapport au moment de la journée. La figure 51 montre que la plupart des infractions semblent avoir lieu la nuit et le matin. À midi et le soir, nous observons des taux d'infraction plus faibles, qui peuvent s'expliquer par la moindre densité du trafic la nuit et tôt le matin. (les taux d'infraction étaient plus élevés tôt le matin, de 6h à 7h59, que plus tard, de 8h à 11h59). Pendant ces moments de la journée, en général plus calmes, il peut sembler absurde de s'en tenir à une limitation de vitesse au pas alors qu'il n'y a presque pas de piétons. Proportionnellement, le nombre de trottinettes électriques ne diffère pas du nombre de cyclistes à ces moments.

Par ailleurs, pendant la nuit, nous n'avons pu observer aucune différence entre les utilisateurs de trottinettes électriques et les cyclistes, alors que pour les autres moments de la journée, il y avait une différence statistiquement significative, montrant des taux d'infraction plus élevés pour les utilisateurs de trottinettes électriques.

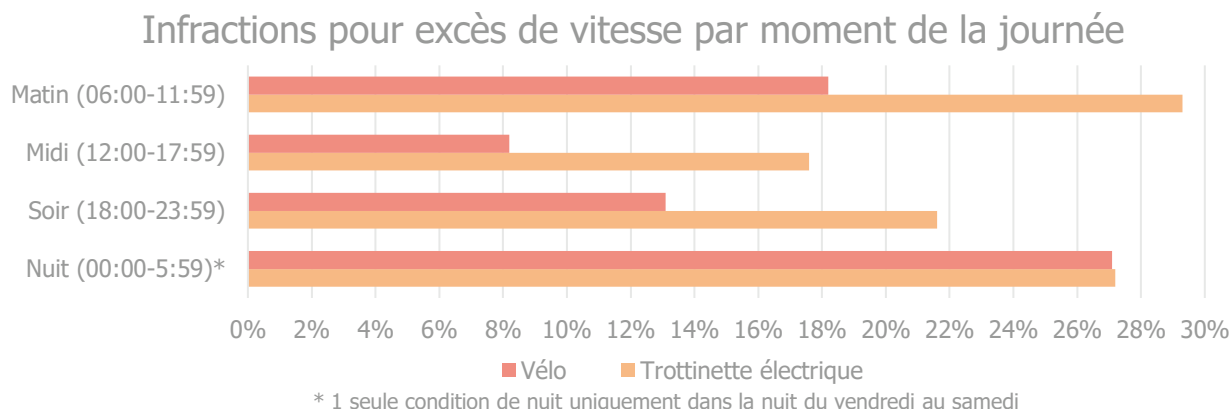


Figure 51: Infractions pour excès de vitesse par moment de la journée et par type d'utilisateur de la route

4.2.3 Rouler avec un passager

Enfin, nous avons accordé une attention particulière à l'observation du comportement de conduite avec un passager⁷. Ce comportement a été évalué uniquement pour les utilisateurs de trottinettes électriques, au moyen d'un codage manuel d'un échantillon de 10 heures de vidéo sur chaque site. Ces heures de vidéo ont été réparties entre différentes heures et différents jours de la semaine afin de conserver une distribution représentative tout au long de la période d'observation. Les résultats sont présentés à la figure 52.

La présence d'un passager a été constatée dans 8,5 % des cas en moyenne, avec certaines différences entre les lieux. Dans un nombre très limité de cas, plus de 2 personnes étaient présentes sur la même trottinette électrique. D'un point de vue statistique, la présence d'un passager sur une trottinette électrique différait significativement entre les utilisateurs de trottinettes électriques partagées et trottinettes électriques privées. Le transport d'un passager concernait presque exclusivement les trottinettes électriques partagées, alors que ce comportement était pratiquement absent sur les trottinettes électriques privées.

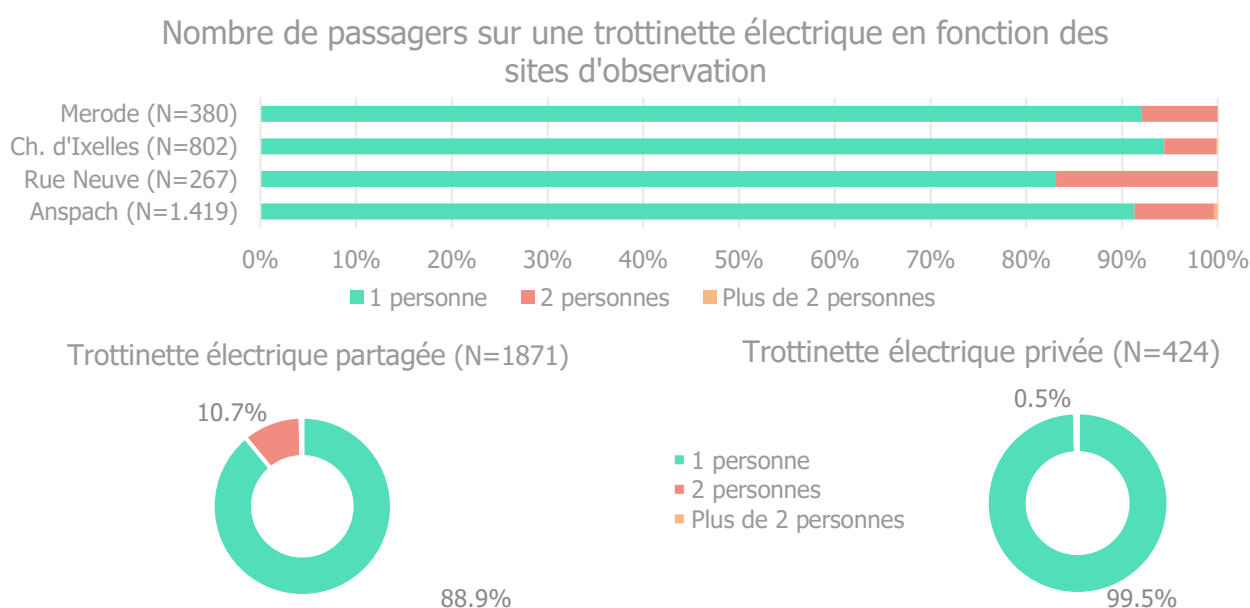


Figure 52: Proportion de trottinettes avec un passager par type de trottinette électrique pour l'ensemble des lieux.

⁷ Au moment de la mesure, la conduite avec un passager était encore légalement autorisée. Le gouvernement belge a décidé d'interdire ce comportement à partir du 1^{er} juillet 2022.



Figure 53: Utilisation d'une trottinette électrique partagée avec un passager en tenant la main d'un piéton



Figure 54: Utilisation d'une trottinette électrique partagée avec 2 passagers (trois utilisateurs sur une trottinette électrique)

4.3 Analyses des conflits

4.3.1 Aperçu des interactions et des conflits

En ce qui concerne l'observation des conflits, nous avons à nouveau examiné les quatre sites différents. Le tableau 14 donne d'abord un aperçu du nombre total d'usagers de la route, d'interactions et de conflits observés avec les spécifications suivantes :

- Usagers de la route (y compris les piétons) : tous les usagers vulnérables de la route recensés (c'est-à-dire les piétons, les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques).
- Interactions avec des cyclistes ou des utilisateurs de trottinettes électriques : le nombre d'interactions dans lesquelles au moins un cycliste ou un utilisateur de trottinette électrique était impliqué. Ceci repose sur un Indicateur de Performance de Sécurité (IPS) inférieur à 4,5 secondes déterminé par un logiciel repérant automatiquement les conflits (nous supposons que les usagers de la route ne se sont pas influencés mutuellement si une valeur supérieure à 4,5 secondes est observée).
- Conflits : Conflits déterminés par le logiciel sur la base de $TTC < 1,5$ seconde et $PET < 1$ seconde

Tableau 14: Aperçu du nombre d'usagers de la route vulnérables, des interactions et des conflits sur les sites testés

Site	Usagers de la route (y compris les piétons)	Interactions avec un vélo ou une trottinette électrique	Conflits
Anspach (8 km/h)	185,330	22.685	2.173
Rue Neuve (8 km/h)	108,303	2.252	180
Chaussée d'Ixelles (25 km/h)	79,136	2.470	233
Merode (25 km/h)	18,006	625	52
Total	390,775	28.032	2.638

4.3.2 Nombre d'interactions

Lorsque le nombre d'interactions (déterminé uniquement sur la base de la valeur IPS de 4,5 secondes) est pris en compte, la distribution de ces interactions sur les différents sites est illustrée à la figure 55. Les données montrent que la plupart des interactions ont eu lieu au Boulevard Anspach, soit 81% de toutes les interactions observées, suivi respectivement par la Chaussée d'Ixelles (9 %), la Rue Neuve (8 %) et Merode (2 %). Par conséquent, 88,5 % des interactions ont été observées dans une zone piétonne, tandis que seulement 11,5 % des interactions ont eu lieu dans un espace partagé ordinaire. Ce n'est pas surprenant, étant donné le nombre plus élevé de piétons présents dans ces zones piétonnes. La majorité des interactions ont eu lieu avec des cyclistes, ce qui est logique, étant donné le nombre plus élevé de cyclistes présents sur chaque site.

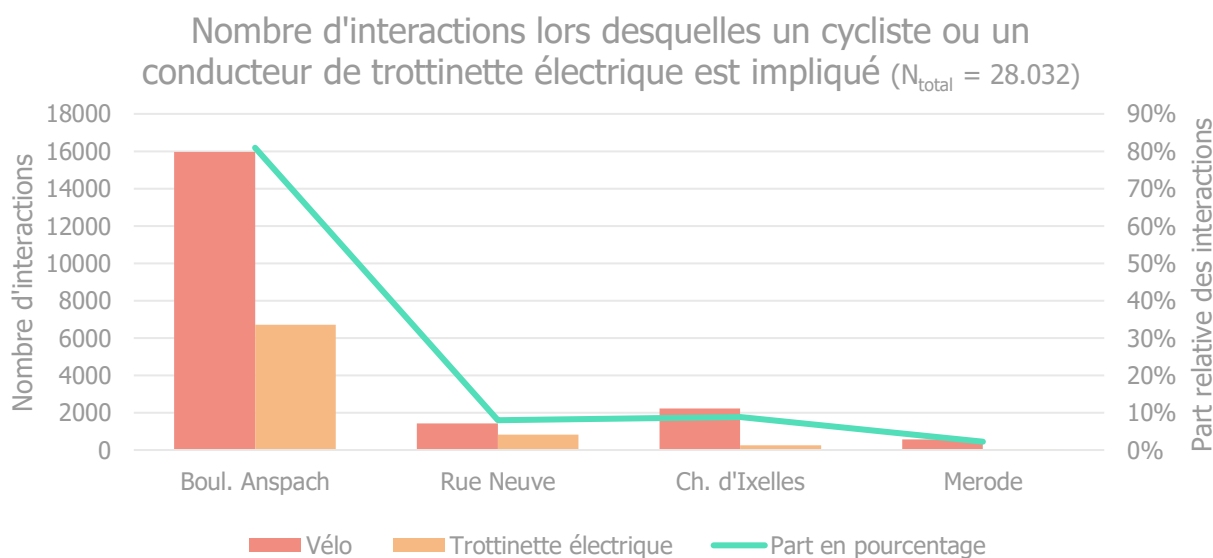


Figure 55: Nombre d'interactions observées par lieu d'essai lors desquelles un cycliste ou un conducteur de trottinette électrique était impliqué

Lorsque le nombre d'interactions impliquant un cycliste ou un utilisateur de trottinette électrique est comparé au nombre de cyclistes et d'utilisateurs de trottinettes électriques (les piétons étant donc exclus), nous observons une différence entre les zones piétonnes et les espaces partagés ordinaires (figure 56). Dans les zones piétonnes, il y a autant, voire plus d'interactions que de cyclistes ou de trottinettes électriques, alors que c'est l'inverse dans les autres espaces partagés. Ce chiffre peut s'expliquer par le nombre élevé de piétons présents, un cycliste ou un utilisateur de trottinette électrique peut donc avoir plusieurs interactions. À Merode et sur la chaussée d'Ixelles, nous avons observé davantage de situations de trafic parfaitement fluide (situation dans laquelle les usagers de la route ne s'influencent pas mutuellement).

Nombre d'usagers de la route et d'interactions dans lesquelles un cycliste ou un conducteur de trottinette électrique est impliqué par site d'essai

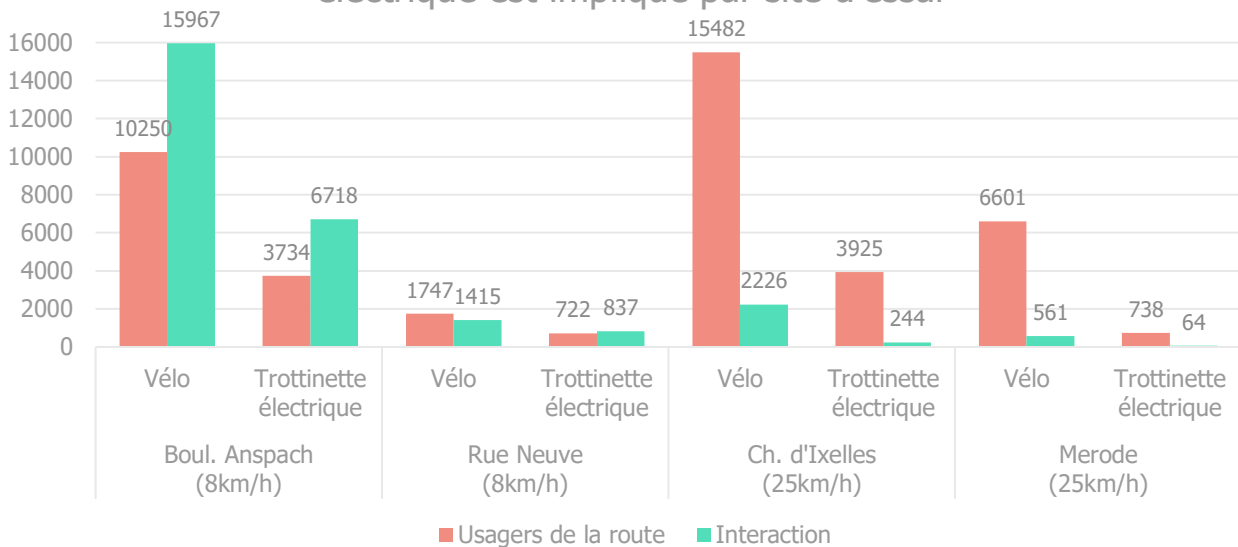


Figure 56: Nombre d'usagers de la route et d'interactions observés par site d'observation

4.3.3 Nombre de conflits

Ensuite, nous avons étudié le nombre de conflits et déterminé le taux de conflit. Sur la base des données relatives aux conflits, 93,0 conflits pour 1 000 interactions ont pu être observés avec des cyclistes, et 96,9 conflits pour 1 000 interactions impliquant un utilisateur de trottinette. Il s'avère que le risque de conflit basé sur le nombre d'interactions n'était pas très différent entre les deux véhicules ($p = 0,315607$). Les utilisateurs de vélos et de trottinettes électriques sont aussi souvent impliqués dans un conflit par rapport au nombre d'interactions.

Toutefois, lorsque le risque de conflit était déterminé en fonction du nombre de cyclistes et de trottinettes électriques, nous pouvions observer 55,0 conflits pour 1 000 cyclistes et 83,6 conflits pour 1 000 utilisateurs de trottinettes électriques. Cette différence s'est avérée significative d'un point de vue statistique ($p < 0,00001$). Les utilisateurs de trottinettes électriques sont plus souvent impliqués dans un conflit, par rapport aux cyclistes, si le calcul repose sur le nombre d'usagers. Cet effet est visible sur la figure 57.

Pourcentage de conflits entre usagers de la route et interactions

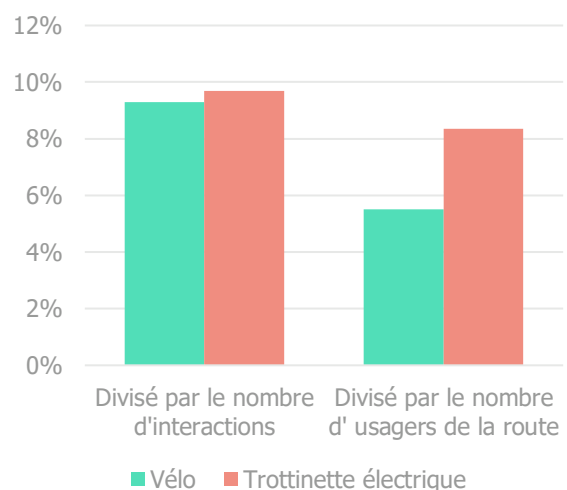


Figure 57 : Taux de conflit pour les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques

La figure 58 présente également un aperçu par lieu d'observation.

Par conséquent, si un cycliste ou une trottinette électrique interagit avec un autre usager de la route vulnérable, il est tout aussi probable qu'un conflit se produise. Toutefois, en général, un conducteur de trottinette électrique a en moyenne plus d'interactions et donc plus de conflits qu'un cycliste.

Proportion de conflits par usagers de la route et interactions par site d'observation

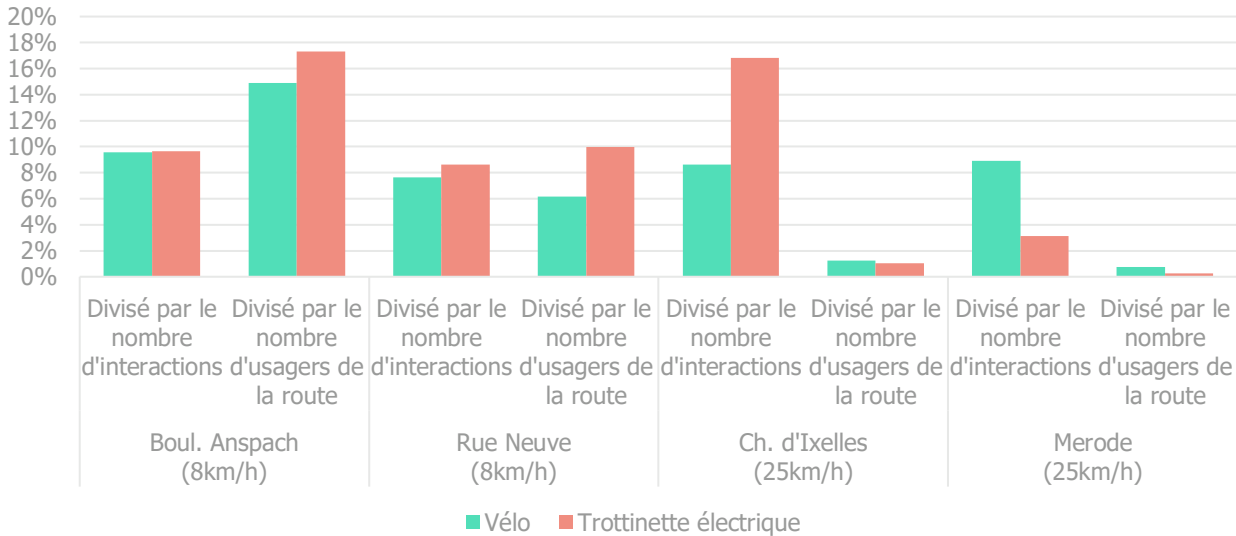


Figure 58: Taux de conflit des cyclistes et des utilisateurs de trottinettes électriques par lieu

Les utilisateurs de trottinettes électriques présentent un risque de conflit plus élevé que les cyclistes, si l'on se base sur le nombre d'utilisateurs mais pas sur le nombre d'interactions. Cependant, nous avons pu observer de grandes différences entre les sites d'observation.

4.3.4 Aperçu des conflits

4.3.4.1 Aperçus basés sur le nombre total de conflits

Les conflits se produisent entre plusieurs usagers de la route. Les études portant sur les espaces partagés se sont concentrées principalement sur les usagers vulnérables de la route. La figure 59 présente un aperçu des usagers de la route impliqués dans les conflits. Il en ressort que les conflits impliquant un vélo ou une trottinette électrique se produisent essentiellement avec des piétons ; les conflits avec d'autres vélos ou trottinettes électriques sont plutôt rares. En raison de la grande différence entre le nombre de conflits impliquant un cycliste et le nombre de conflits impliquant une trottinette électrique, nous avons réalisé un test statistique. Celui-ci ne montre pas de différence significative entre les trottinettes électriques et les vélos qui sont tout aussi souvent impliqués dans un conflit l'un que l'autre. La part plus élevée de conflits avec un piéton et un cycliste peut donc s'expliquer en grande partie par l'effet d'exposition (c'est-à-dire la présence d'un plus grand nombre de cyclistes).

Usagers de la route impliqués dans un conflit (N=2638)



Figure 59: Usagers de la route entre lesquels le conflit s'est produit

L'étude portait également sur le respect de la vitesse au moment du conflit. La figure 60 montre que dans 1 conflit sur 4, le conflit était précédé d'un excès de vitesse (c'est-à-dire une vitesse >8km/h dans les zones piétonnes et >25km/h dans les espaces partagés réguliers). Bien que cela n'explique pas la cause du conflit, nous pouvons affirmer que la vitesse a pu jouer un rôle dans l'apparition de ces conflits. Ce problème de vitesse est plus souvent présent dans les zones piétonnes comme nous l'avons constaté auparavant. En outre, aucune différence statistique n'a pu être observée entre les cyclistes et les utilisateurs de trottinettes électriques (p=0,583). Dans ce cas, il n'était pas possible de vérifier si la vitesse était inadaptée à la situation (p.ex., rouler à 20 km/h dans une zone de 25 km/h, alors qu'une vitesse de 15 km/h serait plus adaptée à un environnement plus animé).

Dépassement de la vitesse autorisée avant le conflit

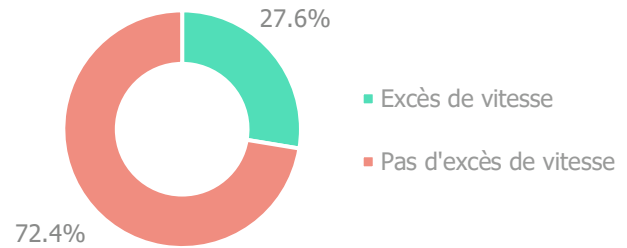


Figure 60: Respect de la vitesse au moment d'un conflit

4.3.4.2 Aperçus basés sur une petite sélection manuelle de conflits

Nous avons pu générer d'autres résultats à partir d'un petit échantillon de conflits sélectionnés manuellement, pour lesquels les vidéos ont été à nouveau visionnées. De multiples variables ont été codées et analysées. Les facteurs suivants ont été codés : le type d'usager de la route impliqué dans le conflit, l'usager de la route supposé être à l'origine du conflit, la cause générale du conflit basée sur une interprétation personnelle, le type de conflit (sens de déplacement des usagers de la route), et certaines variables démographiques. Les lieux d'observation ne sont pas distingués en raison du faible nombre de conflits sur certains d'entre eux. En outre, aucune distinction n'a été établie entre la proportion de trottinettes électriques partagées ou privées, étant donné le nombre relativement faible de conflits et la part élevée d'utilisateurs de trottinettes électriques partagées observés sur les lieux (peut-être surreprésentés en termes d'exposition).

Tout d'abord, nous pouvons observer, à la figure 61, que la grande majorité des conflits sélectionnés manuellement se produisent avec un piéton. Un piéton était impliqué dans 84 % des conflits (40 % des conflits se sont produits entre un utilisateur de trottinette électrique et un piéton et 44 % se sont produits entre un cycliste et un piéton), tandis que pour 16 % des conflits, une interaction a eu lieu entre deux cyclistes, un cycliste et un utilisateur de trottinette électrique, ou avec un usager de la route non vulnérable. Il n'y a rien de surprenant vu la grande proportion de piétons présents dans ces espaces partagés. Cette constatation confirme également la constatation précédente du point 4.3.4.1. qui indiquait que la majorité des conflits se produisait avec des piétons.

Usagers de la route impliqués dans les conflits sélectionnés manuellement

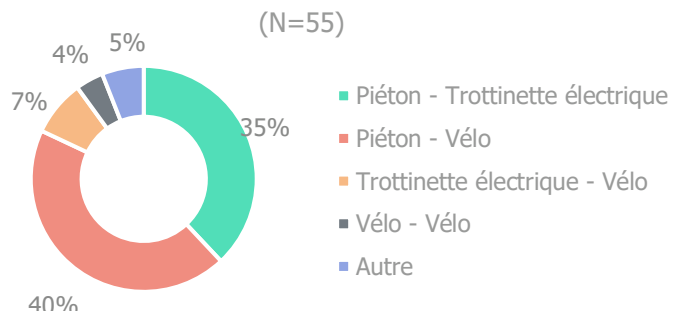


Figure 61: Usagers de la route impliqués dans les conflits vérifiés

Deuxièmement, nous avons examiné, sur la base de notre propre interprétation des vidéos du conflit, qui pouvait être considéré comme le principal responsable du conflit (figure 62). Dans 40 % des cas, l'utilisateur de la trottinette électrique était le principal responsable du conflit ; de même, dans 40 % des cas, le cycliste était le responsable. Toutefois, un piéton était également à l'origine du conflit dans 15 % des cas. Dans 6 % des cas seulement, les deux parties étaient à l'origine du conflit.

« Responsable » du conflit

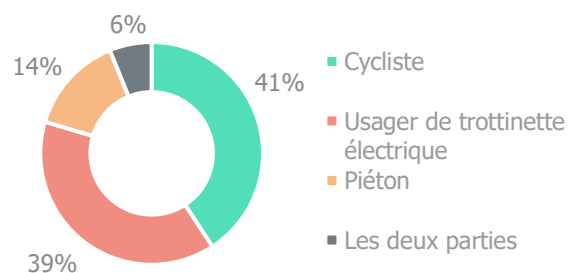


Figure 62: Principale partie « à l'origine » du conflit

Les principales causes de ces conflits, comme le montre la figure 63, sont une vitesse inadaptée, le non-respect des règles de priorité, une mauvaise communication, une distraction ou d'autres causes. Les différences entre les vélos et les trottinettes électriques n'étaient pas significatives d'un point de vue statistique.

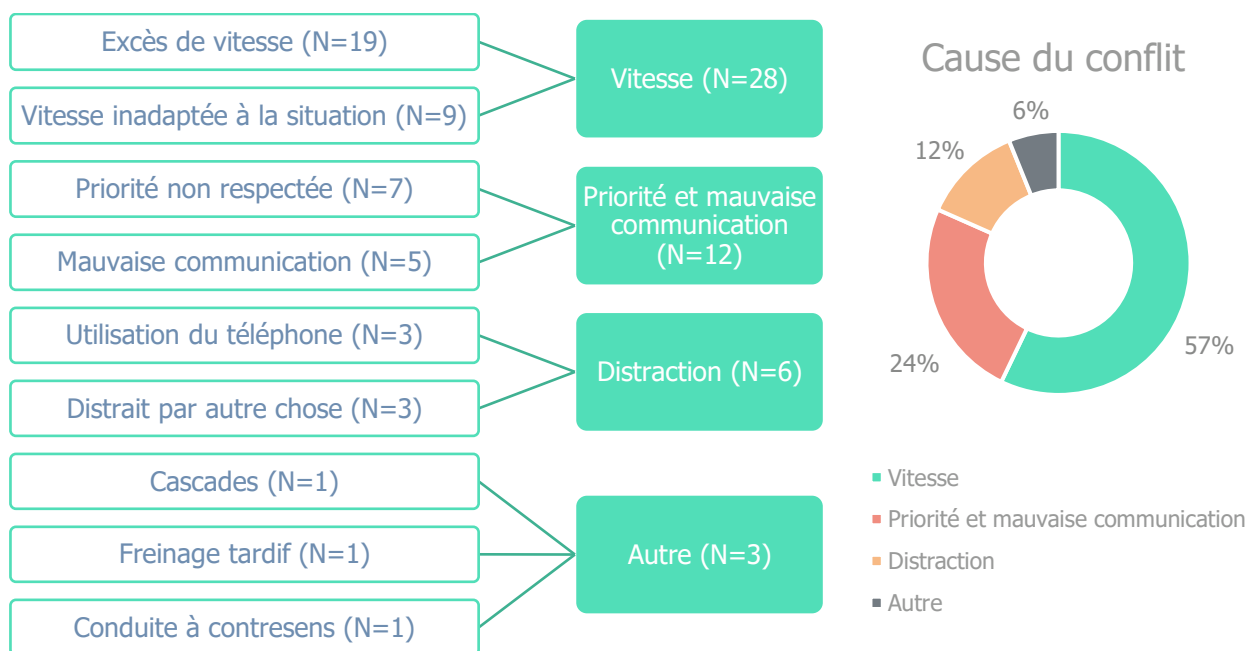


Figure 63: Causes du conflit

Dans 6 des 26 conflits impliquant une trottinette électrique, la trottinette électrique était occupée par 2 personnes (alors que ce n'était pas la cause du conflit). Dans 4 de ces 6 conflits avec un passager sur la trottinette électrique, la vitesse était la cause principale du conflit.

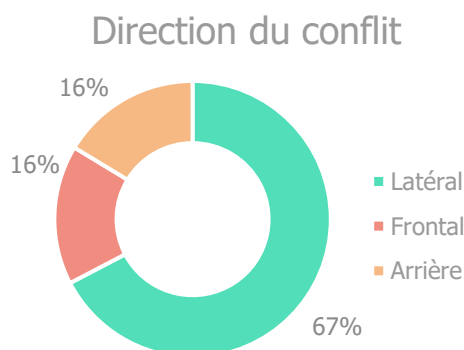


Figure 64: Direction dans laquelle le conflit s'est produit

En outre, nous avons pu observer que la majorité des conflits se produisaient latéralement. Dans 1 conflit sur 3 seulement, les usagers de la route avaient un conflit frontal ou arrière. Toutefois, aucune différence significative n'a été observée entre les usagers de la route.

Aucune différence n'a été observée entre la vitesse des cyclistes et celle des utilisateurs de trottinettes électriques lorsqu'ils ont provoqué le conflit, même s'il a été démontré que les utilisateurs de trottinettes électriques ont tendance à rouler plus souvent à des vitesses plus élevées. Toutefois, lorsque les piétons sont à l'origine du conflit, nous constatons que la vitesse des utilisateurs de trottinettes électriques et des cyclistes est plus faible que dans les cas où le piéton n'est pas à l'origine du conflit.

Enfin, nous avons observé que les hommes étaient plus nombreux à être impliqués dans un conflit que les femmes, tant pour les conflits concernant des cyclistes que des utilisateurs de trottinette électrique. Il est toutefois probable que les utilisateurs de trottinettes électriques soient majoritairement des hommes et de même pour les cycliste qui ont traversé les site d'observation. Puisque nous n'avons pas pu déterminer le sexe de tous les usagers de la route qui passent (c'est-à-dire l'exposition), il convient de réaliser des recherches supplémentaires avant d'affirmer un quelconque effet de genre.

4.4 Accidents

4.4.1 Méthodologie

L'implication dans des accidents a été étudiée par le biais d'accidents et de quasi-accidents déclarés par les utilisateurs des différents modes de transport (trottinette électrique, vélo, vélo électrique). Dans ce cas, tous les utilisateurs ont été pris en compte, même si le mode de transport n'a été utilisé qu'une seule fois ou dans le passé (c'est-à-dire que seuls les répondants ayant indiqué ne jamais utiliser l'un de ces modes n'ont pas pu compléter la section du questionnaire relative aux accidents). Nous avons pu ainsi obtenir un plus grand ensemble de données. Les accidents et les quasi-accidents ont été étudiés par rapport au nombre d'utilisateurs, mais n'étaient pas limités à une période spécifique (les accidents et les quasi-accidents n'ont pas été étudiés sur une période couvrant les deux dernières années par exemple). Idéalement, ces accidents doivent être étudiés en fonction de l'exposition de l'utilisateur (c'est-à-dire la durée pendant laquelle une personne utilise déjà le mode de transport, ou le nombre de kilomètres parcourus avec les modes de transport sur une base annuelle). Cependant, cette exposition n'a pas été prise en compte dans le questionnaire.

4.4.2 Résultats

Au total, 1 utilisateur sur 3 des différents modes de transport a été impliqué dans un accident, sur la base de ces données d'accidents déclarés par les intéressés. Il a été démontré que les utilisateurs de vélos classiques étaient proportionnellement plus souvent impliqués dans un accident (2 cyclistes sur 5 avaient été impliqués dans un accident). Les utilisateurs de vélos électriques, quant à eux, étaient les moins impliqués dans les accidents (1 utilisateur de vélo électrique sur 5 avait été impliqué dans un accident). Les utilisateurs de trottinettes électriques sont proches de la moyenne. Les cyclistes sont plus souvent impliqués dans un accident, par rapport aux utilisateurs de trottinettes électriques, tandis que les utilisateurs de vélos électriques sont moins impliqués dans des accidents. Toutefois, nous ne disposons guère d'informations sur le risque d'accident, car l'exposition doit également être prise en compte, ce qui n'était pas le cas dans ce questionnaire.

Le tableau est différent pour les quasi-accidents. Près de 2 usagers sur 5 des différents modes de transport avaient été impliqués dans un quasi-accident. Les utilisateurs de vélos électriques semblent être plus souvent impliqués dans des quasi-accidents (45 % d'entre eux ont été impliqués dans un quasi-accident) que les utilisateurs de trottinettes électriques et de vélos classiques. Néanmoins, cette différence n'était pas significative.

Il n'est pas surprenant que les chiffres relatifs à l'implication dans les accidents soient plus élevés pour les vélos classiques, puisqu'ils circulent déjà depuis beaucoup plus longtemps en tant que mode de transport. La probabilité qu'un accident se produise est donc plus élevée (en raison d'une exposition plus élevée). Toutefois, une attention particulière doit être accordée aux accidents impliquant des trottinettes électriques. Par rapport aux vélos électriques et aux vélos classiques, les trottinettes électriques n'existent pas depuis longtemps, mais elles présentent déjà un taux d'implication élevé dans des accidents.

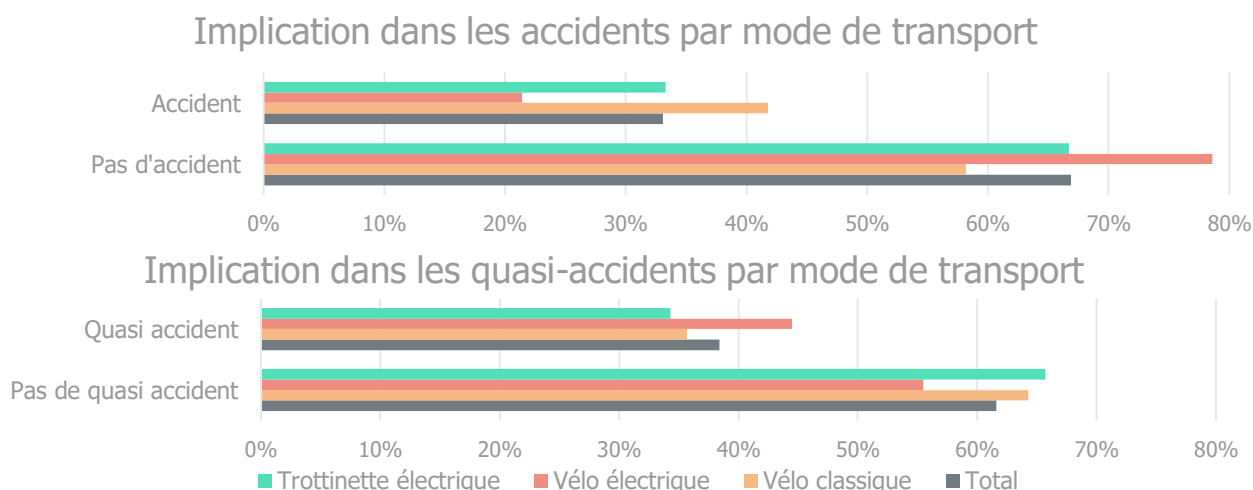


Figure 65: Implication dans les (quasi-) accidents par mode de transport, sur la base des accidents autodéclarés

En outre, nous avons étudié le nombre d'accidents et de quasi-accidents impliquant un seul usager. Ces données montrent qu'une grande partie d'entre eux n'ont été impliqués qu'une seule fois dans un accident ou un quasi-accident. Toutefois, l'implication d'une même personne dans plusieurs (quasi-)accidents n'est pas rare.

En moyenne, 45,7 % des usagers impliqués dans un accident ont été impliqués dans 1 seul accident, tandis que 54,3 % ont été impliqués dans plusieurs accidents. Les utilisateurs de vélos classiques ont plus souvent été impliqués dans plusieurs accidents, tandis que les utilisateurs de vélos électriques sont plus souvent impliqués dans un seul accident. Pour les utilisateurs de trottinettes électriques, nous constatons une distribution 50-50 : 50 % d'entre eux ont été impliqués dans un seul accident et 50 % dans plusieurs accidents.

Pour les quasi-accidents, les différences sont plus marquées. 71,4 % des utilisateurs qui ont eu une expérience de quasi-accident ont été impliqués dans plusieurs quasi-accidents, tandis que 28,6 % n'ont eu qu'un seul quasi-accident. Cela montre que les quasi-accidents sont assez fréquents pour ces usagers de la route, sans toujours aboutir à un accident. Dans ce cas, les cyclistes (qu'il s'agisse de vélos électriques ou de vélos classiques) sont souvent impliqués dans plusieurs quasi-accidents. Les utilisateurs de trottinettes électriques se répartissent à nouveau à parts égales, 50 % d'entre eux ayant été impliqués une fois dans un quasi-accident, tandis que l'autre moitié a été impliquée dans plusieurs quasi-accidents. Cela peut s'expliquer par le fait que les vélos classiques et les vélos électriques sont présents dans la société depuis beaucoup plus longtemps que les trottinettes électriques, entraînant une plus grande exposition et un plus grand nombre de possibilités de quasi-accidents.

Nombre d'accidents et de quasi-accidents par mode de transport

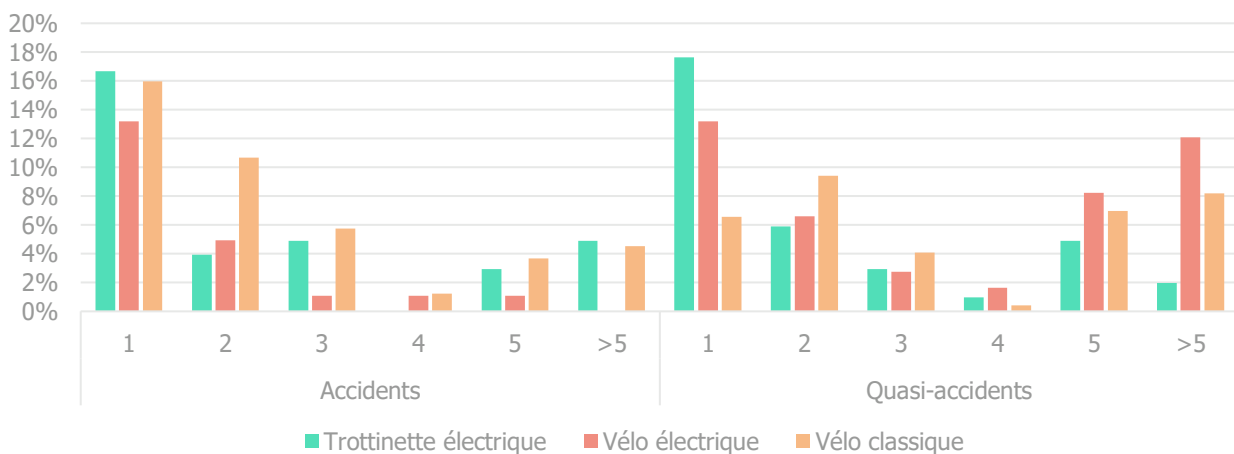


Figure 66: L'implication dans de multiples accidents et quasi-accidents par mode de transport

Ensuite, nous présentons un aperçu du type d'accident impliquant ces usagers de la route, plus précisément s'il s'agit d'un accident unilatéral (dû à une perte de contrôle sans autre usager de la route impliqué) ou multilatéral (avec un ou plusieurs usagers de la route impliqués). Au total, 326 accidents (soit 64 avec des trottinettes électriques, 60 avec des vélos électriques et 202 avec des vélos classiques) et 452 quasi-accidents (soit 63 avec des trottinettes électriques, 183 avec des vélos électriques et 206 avec des vélos classiques) ont été signalés.

Les accidents unilatéraux sont plus fréquents que les accidents multilatéraux (4 accidents sur 5 sont unilatéraux, alors que 1 sur 5 est multilatéral), et se produisent avec tous les différents modes de transport. Ici, nous observons une différence marginale significative qui montre une plus grande implication des utilisateurs de trottinettes électriques dans des accidents multilatéraux par rapport aux utilisateurs de vélos et de vélos électriques. Il est frappant de constater que ce résultat est l'inverse des analyses de PV effectuées dans (De Vos & Sloopmans, 2023) qui constatait que les accidents multilatéraux représentaient $\frac{3}{4}$ des accidents analysés. Ceci tend à prouver l'importante sous-déclaration des accidents essentiellement unilatéraux que nous pouvons trouver dans les statistiques sur les accidents et que nous avons déjà constatée dans le rapport de (Delhay & Vandael Schreurs, 2022).

Les causes de ces accidents unilatéraux sont très variées et diffèrent selon les modes de transport. Les utilisateurs de trottinettes électriques indiquent que, dans la plupart des cas, un problème technique est à l'origine de l'accident unilatéral. Ils admettent également que leur propre comportement, ainsi que les conditions météorologiques, ont joué un rôle dans la survenue de l'accident unilatéral. Curieusement, ils indiquent également que les autres usagers de la route contribuent parfois à l'accident unilatéral. Parmi les explications, nous pouvons citer une manœuvre d'évitement de la part du conducteur de la trottinette électrique, entraînant une chute, sans heurter l'autre usager de la route. Les causes d'accidents pour les trottinettes électriques tendent à différer de l'analyse de PV effectuées par De Vos & Sloomans (2023) dans lesquelles il a été constaté que les problèmes d'infrastructures contribuaient largement aux accidents unilatéraux. Il est possible que ce lien de causalité dans les accidents unilatéraux soit surreprésenté dans les analyses de PV parce que les utilisateurs veulent blâmer la commune pour la mauvaise infrastructure, alors que dans une autre situation, ces accidents ne figureraient peut-être pas dans les données. En outre, la façon dont une personne interprète le rôle de l'infrastructure dans un accident peut également jouer un rôle. En revanche, les utilisateurs de vélos et de vélos électriques interrogés dans le cadre de notre enquête attribuent les accidents unilatéraux en grande partie à l'infrastructure routière, à leur propre comportement et aux conditions météorologiques.

En ce qui concerne les accidents multilatéraux, les utilisateurs de trottinettes électriques admettent qu'ils sont assez souvent dus à leur propre comportement (dans 37 % des cas), ainsi qu'au comportement de l'autre usager de la route (dans 32 % des cas). Les conditions météorologiques, l'infrastructure routière et les problèmes techniques jouent un rôle, mais dans une moindre mesure. Il est frappant de constater que les utilisateurs de vélos classiques et de vélos électriques indiquent que, dans la plupart des cas, l'accident est imputable à l'autre usager de la route (83 % des cyclistes classiques et 55 % des utilisateurs de vélos électriques ont indiqué que l'accident avait été causé par les autres usagers de la route). D'autre part, les utilisateurs de vélos électriques indiquent également que dans 36 % des cas, l'accident a été causé par un problème technique.

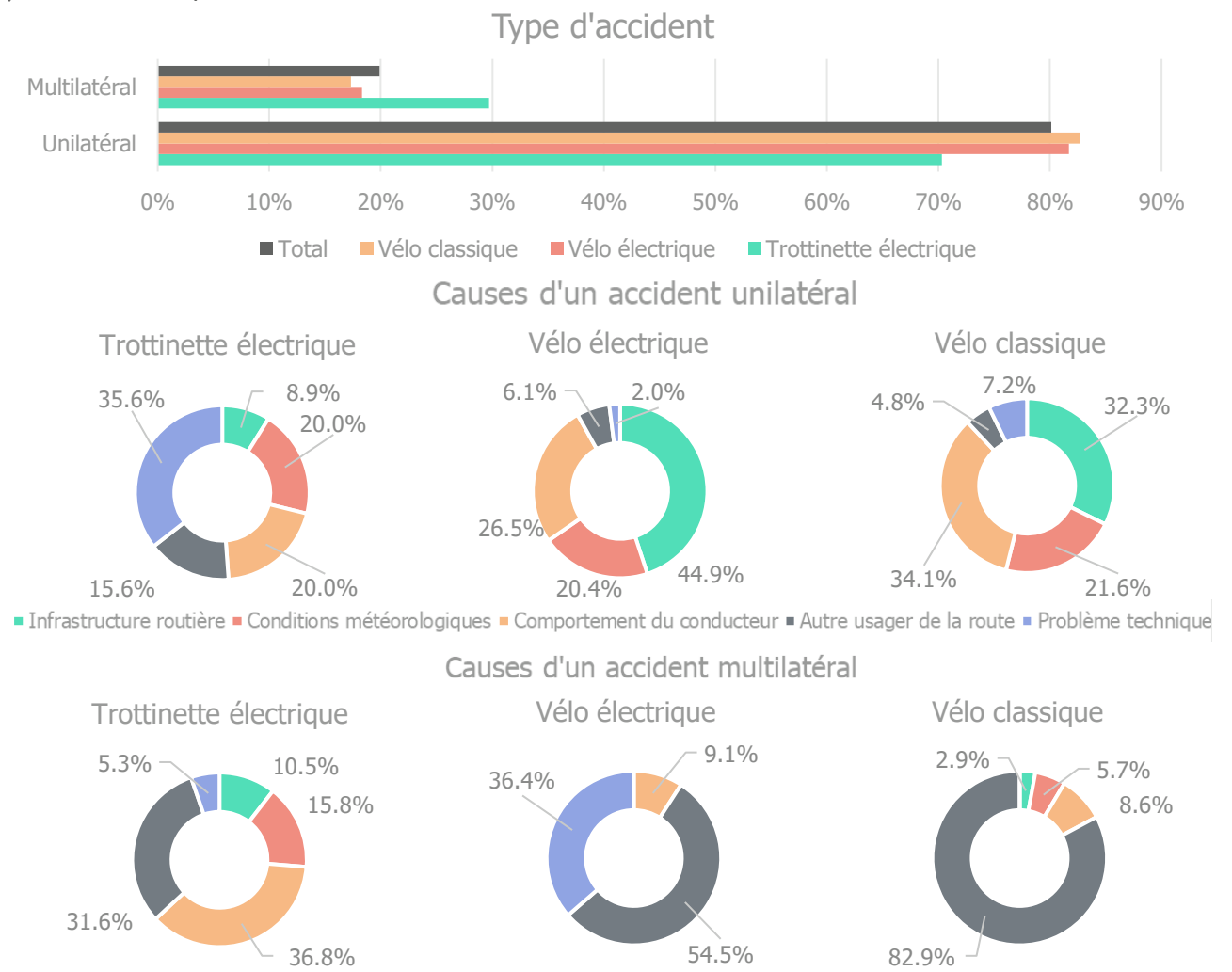


Figure 67: Causes des accidents unilatéraux et multilatéraux par mode de transport

Si nous considérons les quasi-accidents, la distribution entre les cas unilatéraux et multilatéraux est différente. Pour ces quasi-accidents, 2 utilisateurs de vélos et de trottinettes électriques sur 3 indiquent que le quasi-accident était multilatéral, alors que pour les accidents, cette proportion n'est que de 20 %. Il semble que la répartition soit inversée par rapport aux accidents. Les conducteurs de trottinettes électriques, quant à eux, indiquent que 55 % des quasi-accidents étaient multilatéraux, tandis que 45 % étaient unilatéraux. Les utilisateurs de vélos et de vélos électriques sont donc plus impliqués dans les quasi-accidents multilatéraux que les utilisateurs de trottinettes électriques.

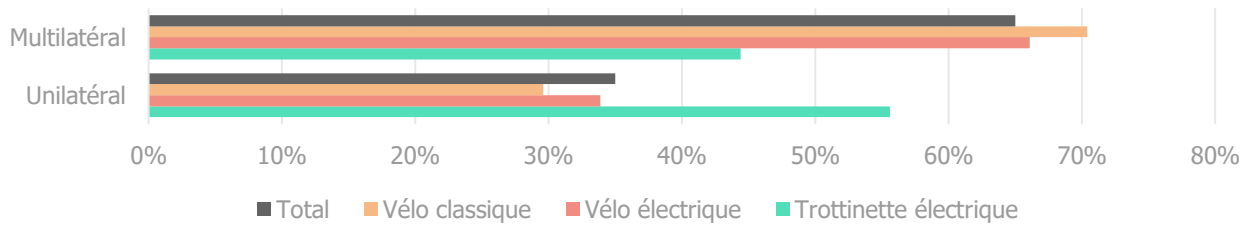
Les causes de ces quasi-accidents unilatéraux sont également très diverses. Contrairement à ce qui était rapporté pour les accidents, les utilisateurs de trottinettes électriques indiquent désormais que les problèmes techniques sont le facteur le moins important dans la cause des quasi-accidents. Le plus souvent, c'est leur propre comportement qui est à l'origine du quasi-accident avec les utilisateurs de trottinettes électriques, mais les conditions météorologiques et l'infrastructure routière jouent à nouveau un rôle assez important. En ce qui concerne les utilisateurs de vélos classiques et de vélos électriques, les causes sont plus proches de celles des accidents, un quasi-accident avec un vélo ou un vélo électrique est souvent causé par l'infrastructure routière, les conditions météorologiques et leur propre comportement. De manière quelque peu surprenante, les utilisateurs de vélos électriques indiquent que les autres usagers de la route ont également une responsabilité dans le quasi-accident unilatéral.

Si nous faisons une comparaison entre les accidents et quasi-accidents multilatéraux, nous observons les plus grandes différences. Ici, tous les usagers indiquent que l'autre usager de la route est celui dont la responsabilité est la plus engagée dans le quasi-accident. C'était déjà le cas des vélos et des vélos électriques pour les accidents, mais à présent, les utilisateurs de trottinettes électriques affirment la même chose, indiquant que ce n'est plus leur propre comportement qui a principalement causé les quasi-accidents multilatéraux.

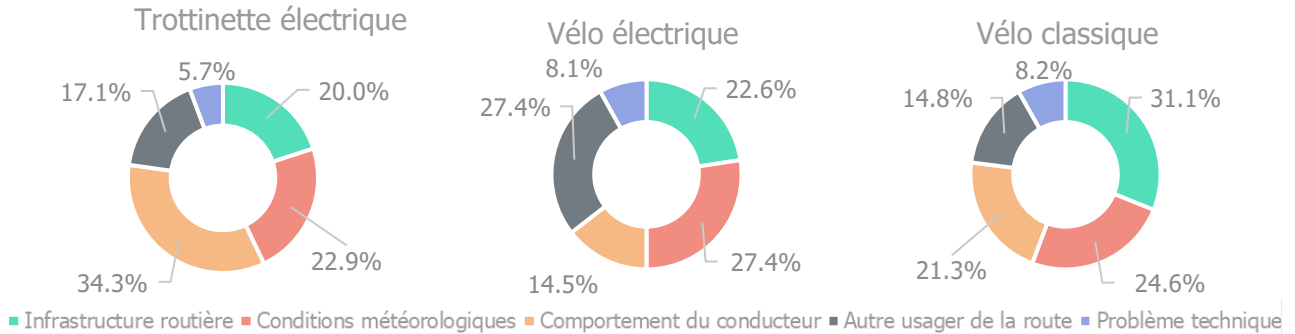
En résumé, en ce qui concerne ces accidents et quasi-accidents, l'infrastructure routière et les conditions météorologiques sont souvent considérées comme des facteurs dans les accidents et quasi-accidents unilatéraux, alors qu'elles jouent un rôle mineur dans les accidents multilatéraux. Comme ces aspects vont de pair, l'environnement routier dans son ensemble semble jouer un rôle important pour ces usagers de la route. Nous pouvons en dire autant du comportement de l'utilisateur, puisque celui-ci peut également entraîner des accidents unilatéraux avec des trottinettes électriques, des vélos classiques et des vélos électriques. Il conviendrait d'obtenir davantage d'informations sur ces aspects afin de mieux cerner les problèmes d'infrastructure spécifiques, les conditions météorologiques problématiques, ainsi que les problèmes comportementaux menant à un accident. À cet égard, nous recommandons de poursuivre les recherches.

Pour les trottinettes électriques, il semble que les problèmes techniques de l'engin entraînent souvent un accident, alors qu'ils ont un impact moindre sur la survenue des quasi-accidents. Un dysfonctionnement technique conduit donc très probablement à un accident, ne laissant pas la possibilité d'effectuer une action pour l'éviter. Il est conseillé d'approfondir ces dysfonctionnements techniques, car ils semblent mener de manière fort directe aux accidents. En outre, les cyclistes (qu'il s'agisse de vélos électriques ou classiques) et les utilisateurs de trottinettes électriques indiquent souvent que l'autre usager de la route joue un rôle important dans les accidents multilatéraux, alors qu'il joue un rôle plus limité dans un accident unilatéral. Il importe de mieux connaître les configurations spécifiques des accidents pour pouvoir comprendre les situations à risque pour ces usagers de la route.

Type de quasi-accident



Causes d'un quasi-accident unilatéral



Causes d'un quasi-accident multilatéral

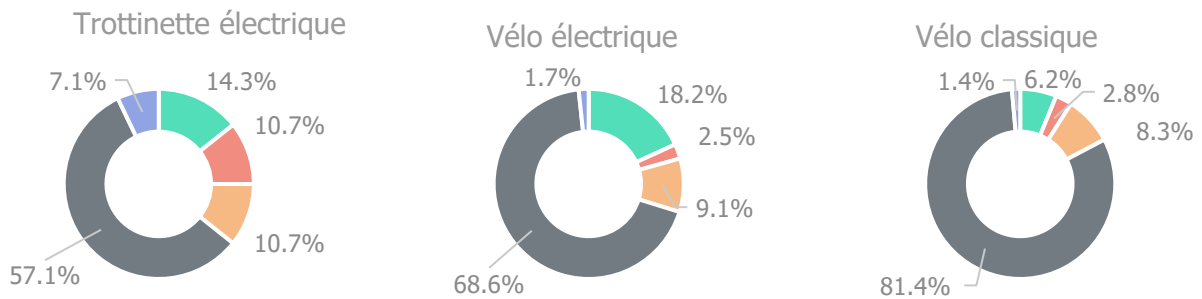
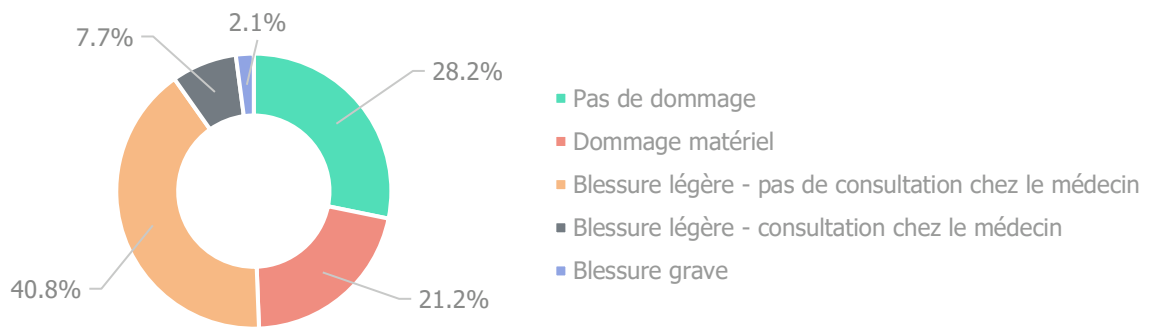


Figure 68: La part des accidents unilatéraux et multilatéraux et les causes de ces accidents par mode de transport

Une grande partie des accidents (49,4 %) n'entraînent que des dommages matériels, voire aucune blessure ou dommage. Cela semble être un peu plus le cas encore pour les accidents unilatéraux que pour les accidents multilatéraux, mais nous n'avons pu observer qu'une différence statistique marginale. Une grande partie des accidents (c'est-à-dire 40,8 %) n'entraîne que des blessures légères, qui ne nécessitent pas de visite chez le médecin ou d'hospitalisation. Ces blessures peuvent être, par exemple, des éraflures, des contusions légères, une entorse légère à la cheville, etc. 9,8 % des accidents entraînent une blessure nécessitant des soins médicaux (qui sont plus susceptibles de figurer dans le rapport d'analyse des PV De Vos & Slotmans (2023)). Ces blessures semblent se produire plus fréquemment lors d'accidents multilatéraux, mais la différence n'est que légèrement significative. Aucune différence statistiquement significative n'a pu être observée entre les différents modes de transport.

Conséquences post-accident



Conséquences post-accident par type d'accident

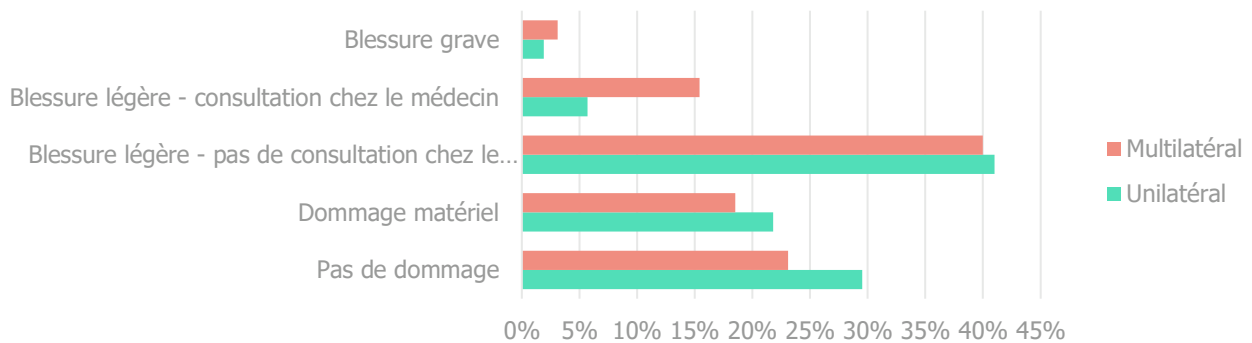


Figure 69: Conséquences de l'accident

Nous avons déjà constaté que les accidents déclarés par les intéressés sont plus souvent unilatéraux que multilatéraux. En outre, les données relatives aux blessures ont montré que seule une petite partie de tous les accidents déclarés par les intéressés (c'est-à-dire 10 %) a entraîné un niveau de blessure plus élevé, qui a nécessité une visite chez le médecin ou une hospitalisation. Les accidents les plus graves étaient un peu plus souvent des accidents multilatéraux en comparaison avec les accidents unilatéraux. Nous devons donc en conclure qu'une très grande partie des accidents unilatéraux et multilatéraux est probablement sous-déclarée et ne figure pas dans les statistiques sur les accidents, puisque les accidents ne sont souvent signalés que lorsque les blessures sont plus graves ou lorsqu'il s'agit d'accidents multilatéraux avec une issue plus grave. Aucune différence entre modes de transport n'apparaissait au niveau des conséquences des accidents, bien que nous pouvions en constater dans les types d'accidents et les causes d'accidents déclarés par les intéressés.

Certains de ces résultats concernant les accidents de trottinettes électriques sont corroborés par des recherches récentes sur base de données hospitalières effectuées par Bjørnskau (2022) ainsi que par des expériences dans d'autres grandes villes (European Transport Safety Council, 2022). En effet, nous avons constaté que la plus grande partie des accidents de trottinettes électriques étaient des accidents unilatéraux, mais les accidents multilatéraux ne sont pas rares non plus. Les causes de ces accidents semblent variables, mais peuvent également être liées au comportement personnel, à l'infrastructure routière et aux défaillances techniques. Par la suite, Bjørnskau (2022) a également montré que seuls 8 % des accidents entraînent des blessures graves, ce qui est très similaire aux résultats de cette étude par questionnaire. En outre, Bjørnskau (2022) a confirmé que de nombreux accidents n'étaient pas enregistrés par la police, ce qui renforce l'hypothèse d'un taux élevé de sous-déclaration de ces accidents.

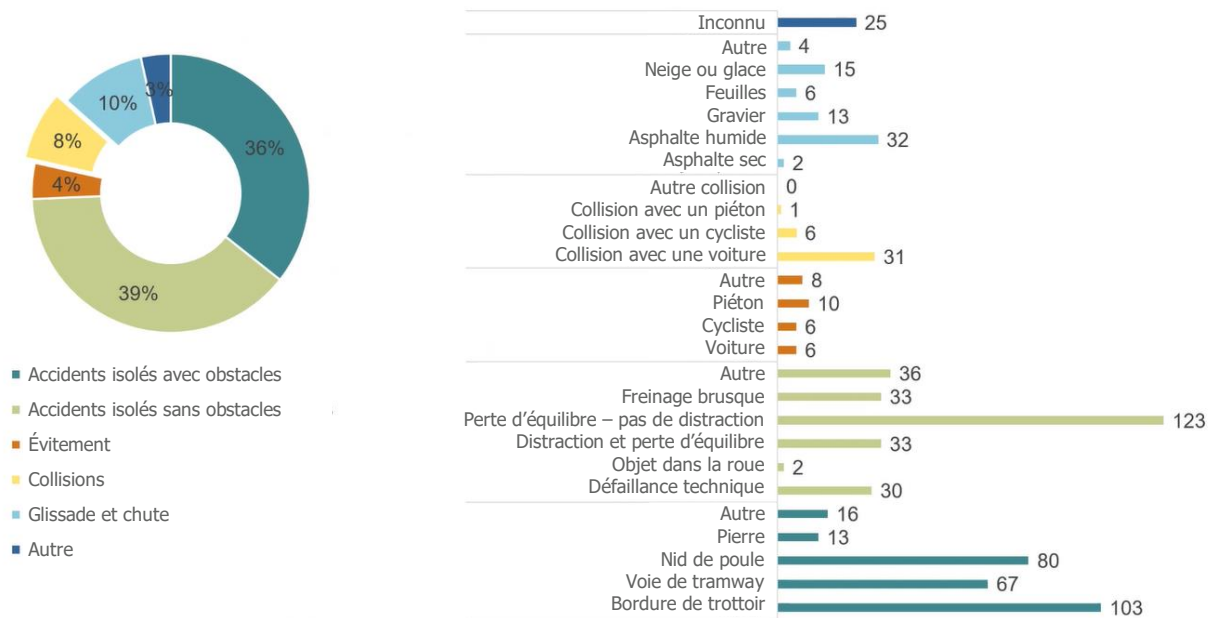


Figure 70: Accidents de trottinettes électriques enregistrés dans les hôpitaux d'Oslo 2019-2020 (Bjørnskau, 2022)

Bjørnskau (2022) a également constaté de nombreux accidents avec des trottinettes électriques se produisant pendant les nuits de week-end, ainsi que des accidents résultant d'une intoxication alcoolique. Ces caractéristiques semblent être un facteur récurrent (Vias institute, 2021). Recherche sur les accidents en Allemagne a par exemple montré que la conduite en état d'ivresse, favorisée par la location de trottinettes possible à proximité des bars, est une cause récurrente d'accidents (European Transport Safety Council, 2022). D'autres causes d'accidents sont observées dans différentes villes, comme la vitesse non adaptée, l'utilisation inadaptée de la route et la perte de contrôle du véhicule. Ces causes sont souvent la conséquence directe d'un manque d'entraînement, qui peut être essentiel en raison des caractéristiques du véhicule (p.ex., petites roues, guidon étroit, position verticale, difficulté à diriger et à garder l'équilibre, feux proches de la route, engin ressemblant à un jouet, etc.) (European Transport Safety Council, 2022)

Ces conclusions sont une fois de plus confirmées par une récente étude belge réalisée par le Dr Pierre Youatou Towo cité dans (Dardenne, 2022). Les 170 patients hospitalisés et repris dans cette étude ont permis de recueillir des informations sur les accidents. 58 % des accidents se sont produits entre 18 heures et 7 heures du matin, dont 30 % entre minuit et 7 heures du matin. Dans 85 % des cas, l'accident a pu être qualifié d'unilatéral. En outre, 30 % de tous les patients ont déclaré être ivres (ce qui suggère qu'un nombre encore plus important d'entre eux étaient sous l'emprise de l'alcool au moment de l'accident). Onze des 170 patients portaient un casque (dix d'entre eux possédaient la trottinette à titre privé), et les blessures les plus courantes étaient des traumatismes crâniens et des luxations des membres inférieurs et supérieurs. Les accidents les plus graves ont été enregistrés après 18 heures. Enfin, sur la base d'une enquête menée auprès de ces patients, dans 75 % des accidents, il s'agissait d'une trottinette électrique partagée louée auprès d'un opérateur.

5 Discussion

5.1 Catégorisation et réception par type

Comme mentionné dans l'introduction de cette étude, le domaine des DMP est très diversifié. Des règles différentes sont d'application compte tenu de ces différentes catégorisations.

Les dispositifs de micromobilité et certains vélos électriques (EPAC) ne sont pas soumis à la réception par type comme c'est le cas pour les produits relevant du Règlement 168/2013. Toutefois, au sein de l'UE, ils sont, dans une certaine mesure, réglementés par des normes européennes (EN17128 pour les PLEV et EN15195 pour les EPAC) et au niveau international par la normalisation IEC TC 125. Cependant, les différents pays appliquent des réglementations spécifiques différentes concernant la réception par type et les restrictions législatives (European Transport Safety Council, 2022).

À titre d'exemple, l'Allemagne a été l'un des premiers pays à faire part de ses préoccupations concernant la réception par type et les règles d'utilisation des trottinettes électriques. L'Allemagne a mis en place une réception par type légère (ordonnance PLEV) depuis mi-juin 2019 en vertu de laquelle les trottinettes électriques sont soumises aux mêmes règles que les véhicules motorisés, notamment une assurance renouvelable chaque année liée à une petite plaque d'immatriculation (règles en cours d'évaluation jusqu'en septembre 2023). Les règles de la réception par type sont liées à la vitesse (max. 20 km/h + 10 %, puissance max. de 500 W ; deux freins indépendants, un klaxon, le poids de la trottinette). Les autres réglementations mises en place consistent à ne pas autoriser l'utilisation avec un passager, à ne pas rouler côte à côte, à ne pas rouler sur le trottoir, à ne pas rouler dans les zones piétonnes, et à ne pas mettre de sacs sur le guidon (European Transport Safety Council, 2022).

En Belgique, la réception par type n'est pas nécessaire pour les trottinettes électriques et les vélos électriques qui ne dépassent pas une vitesse de 25 km/h. Les trottinettes électriques doivent surtout se conformer à la norme EN17128 ou au code de la route national, ce qui implique l'utilisation de réflecteurs, de freins décents et la présence d'un avertisseur sonore. En outre, une nouvelle législation sur les DMP imposée le 1^{er} juillet 2022 interdit la conduite avec un passager, la conduite sur le trottoir et leur utilisation sur la voie publique par des personnes de moins de 16 ans. En outre, le stationnement est partiellement réglementé. En général, les utilisateurs de trottinettes électriques en Belgique sont considérés comme des cyclistes lorsqu'ils sont en mouvement (quelle que soit leur vitesse), et doivent respecter les mêmes règles que ceux-ci.

Ces différentes règles peuvent être source d'ambiguïté pour les utilisateurs de DMP. Il peut être intéressant de revoir la catégorisation et/ou les normes pour les DMP, afin de clarifier la question pour les différents utilisateurs en Europe.

Cette étude présente également une limite au niveau de cette catégorisation, puisque les speed pedelecs n'ont pas été retirés de la catégorie des DMP lors de l'élaboration du questionnaire. Cependant, en raison de leur part limitée des immatriculations de ces véhicules, nous estimons que leur impact sur les résultats est faible.

5.2 Mobilité

Cette étude fait le point sur les informations relatives à la mobilité des DMP, et plus particulièrement des trottinettes électriques, des vélos électriques et des vélos classiques. Ces informations sont rapidement dépassées en raison du récent boom du marché, et elles ont également fait l'objet de recherches limitées (notamment pour les trottinettes électriques). Cette étude va plus loin.

Pour commencer, l'une des plus grandes différences par rapport à d'autres études concerne le remplacement de la marche par les trottinettes électriques et créer un transfert modal des vélos et des transports publics vers la trottinette électrique (Brannigan et al., 2022; European Commission, 2021; Moreau et al., 2020). Cette étude a montré que les trottinettes électriques ont surtout un impact sur les déplacements en voiture, ont un léger impact positif sur l'utilisation des transports publics et n'ont pas d'impact sur la marche et le vélo. Seuls les vélos électriques ont un impact sur les déplacements en transports publics. Le cadre de cette étude peut l'expliquer en grande partie ; en effet, elle a étudié les effets généraux et l'utilisation générale, contrairement à d'autres recherches qui se concentrent sur le remplacement de modes de transport spécifiques au niveau du trajet (p.ex., demander, pour un trajet spécifique, le mode de transport qu'ils auraient pris dans une autre situation). Il est donc impossible d'établir des comparaisons directes avec ces études. Toutefois, cette approche

plus générale permet de réduire le risque de remplacement fortuit du mode de transport (p.ex., prendre la voiture parce que quelqu'un devait faire des courses) tout en tenant davantage compte des choix délibérés.

Ce sont en fait des constructions psychologiques sous-jacentes qui ont permis de mieux comprendre ce choix de mode de transport. Nous avons constaté que les croyances d'ordre supérieur (p.ex., la contribution à la société, l'impact positif sur l'environnement, les bons sentiments, la santé, etc.) jouaient le plus grand rôle dans le choix de ces modes de transport, plus encore que les visées utilitaires (p.ex., pour rencontrer un ami, pour aller au magasin, pour aller au travail, pour effectuer des déplacements multimodaux, etc.). Les vélos électriques et les vélos classiques ont même obtenu un score plus élevé que les trottinettes électriques, dont les utilisateurs ont montré un intérêt plus marqué pour une utilisation ayant un impact sur la norme sociale (p.ex., l'utiliser parce que c'est à la mode, pour montrer son prestige social, pour impressionner les autres, etc.), ce qu'a également constaté dans une certaine mesure (Vias institute, 2021).

Ensuite, nous avons pu identifier les facteurs atténuants qui entravent l'utilisation de ces modes de transport. Il a été prouvé que les facteurs de motivation jouaient le rôle le plus important dans la non sélection de l'un de ces modes de transport (p.ex., le sentiment de sécurité, prévoir d'utiliser le mode de transport, ne pas croire que l'on contribue à la durabilité environnementale, penser automatiquement à la voiture au lieu de ces modes de transport, etc.). Ensuite, l'opportunité physique jouait un rôle majeur dans la non sélection du mode de transport (p.ex., un manque de temps et d'argent, l'indisponibilité du mode de transport comme option, l'indisponibilité de dispositifs bien entretenus, etc.). La preuve peut également être apportée par des données du questionnaire qui ont montré qu'une grande partie des utilisateurs non réguliers n'a pas accès à un vélo classique, un vélo électrique ou une trottinette électrique, mais aussi que le manque d'espace disponible pour entreposer ces dispositifs en toute sécurité semble être un problème (en particulier, sur le lieu de destination et dans les environnements plus urbains). Enfin, les capacités physiques et psychologiques d'une personne ont un impact sur le choix du mode de transport (p.ex., pas assez de force, pas assez d'endurance, pas assez de compétences, pas assez de concentration, etc.) Le soutien social des autres était moins important. Certains de ces facteurs étaient plus pertinents même pour les vélos. Les capacités physiques et la motivation automatique freinaient encore plus l'utilisation du vélo par rapport aux autres modes de transport.

Le choix du mode de transport dépend donc de multiples facteurs. Les trottinettes électriques, les vélos électriques et les vélos classiques ont leur propre domaine d'utilisation et ne se remplacent pas les uns les autres. Bien que les trottinettes électriques, les vélos électriques et les vélos classiques puissent être des rivaux pour des déplacements spécifiques (p.ex., une trottinette électrique est aussi souvent utilisée qu'un vélo pour des déplacements du premier et du dernier kilomètre), l'effet cumulé de ces modes de déplacement sur le remplacement des déplacements en voiture semble être le plus avantageux. Par ailleurs, le choix du mode de transport est un concept difficile à appréhender, qui ne repose plus uniquement sur la demande dérivée mais prend en compte bien d'autres aspects. C'est ce qu'ont montré clairement les modèles psychologiques et le simple fait qu'un ménage possède très fréquemment un vélo classique (ou même plusieurs), et ce même les personnes considérées comme des utilisateurs non réguliers (c'est-à-dire ceux qui roulent moins souvent qu'une fois par semaine). Le fait qu'un individu ait accès à un mode de transport ne fait pas de lui un utilisateur régulier. Par ailleurs, une personne qui utilise une trottinette électrique ne choisira pas nécessairement le vélo si la trottinette électrique lui est retirée (ce qui est visible dans les chiffres de non utilisation qui montraient surtout une utilisation accrue de la voiture). Il en va de même pour les vélos classiques et les vélos électriques, pour lesquels nous observons les raisons spécifiques qui incitent à utiliser le mode de transport.

Nous ne pouvons pas ignorer le rôle de l'activité physique, puisque tous les utilisateurs réguliers de ces DMP étaient plus actifs physiquement que leurs homologues non réguliers. Il est possible que ce soit un effet direct de l'effort physique nécessaire pour faire avancer ces véhicules. L'effort physique peut être exprimé en MET ou « metabolic equivalents of tasks » (NdT : équivalents métabolique d'une tâche). Des études antérieures ont indiqué des valeurs MET de 6,8 pour les vélos classiques et de 5 pour les vélos électriques (Castro et al., 2019) contre une valeur de 4 pour la marche est de 2,15 pour l'utilisation d'une trottinette électrique (Wen et al., 2019). Cependant, il importe de mentionner que les utilisateurs de trottinettes électriques ont également tendance à être plus actifs physiquement (en pratiquant d'autres activités) par rapport à tous les utilisateurs non réguliers, même si ce mode de transport est moins exigeant physiquement. Une causalité inverse est donc possible : l'utilisation d'une trottinette électrique n'entraîne pas nécessairement une activité physique (beaucoup) plus importante, mais que les personnes physiquement plus actives ont tendance à utiliser la trottinette électrique plus souvent. En fait, c'est également cette activité physique qui avait un effet positif sur le facteur d'entrave à la capacité physique ; il a en effet été démontré que les personnes plus actives physiquement citaient moins les contraintes physiques comme facteur atténuant pour ne pas utiliser ces modes de transport.

Les distances de déplacement étaient également différentes selon les modes de transport. Si les voitures sont utilisées sur l'ensemble du spectre des distances de déplacement, leur popularité est la plus forte pour les trajets plus longs, de même pour les transports publics. Les vélos sont les plus populaires jusqu'à une distance de 2 à 5 km, tandis que les trottinettes électriques sont les plus populaires jusqu'à une distance de 5 à 10 km, comme c'est également le cas pour les vélos électriques. Les vélos classiques et les trottinettes électriques ne sont donc pas seulement considérées comme des options du « dernier kilomètre » mais comme des modes de transport indépendants et à part entière, comme l'ont également constaté Degele et al. (2018), cités dans (European Commission, 2021).

Les enquêtes menées auprès d'utilisateurs de trottinettes électriques et l'analyse des données relatives aux utilisateurs montrent que celles-ci sont principalement utilisées par des hommes jeunes et salariés. Il y a également une proportion importante d'utilisateurs âgés de 45 à 50 ans (European Commission, 2021; Vias institute, 2021). Ces résultats ont pu être confirmés dans cette recherche. Alors que les jeunes se tournent de plus en plus vers les vélos électriques (De Maeseneer, 2018; Service public fédéral Mobilité et Transports, 2022), cette étude indique que les utilisateurs de ce type de vélos sont généralement plus âgés, tandis que les utilisateurs de vélos classiques se répartissent de manière plus diffuse dans les différentes catégories d'âge. Cette étude a observé une part de 22,6 % d'utilisateurs de vélos électriques âgés de moins de 36 ans, ce qui est conforme à d'autres données récemment recueillies sur la pratique du vélo en Belgique (Service public fédéral Mobilité et Transports, 2022). Ensuite, en ce qui concerne le choix du véhicule, les trottinettes électriques privées sont populaires auprès des utilisateurs de trottinettes électriques (Vias institute, 2021) ce que confirme cette étude. Cependant, l'utilisation partagée est également assez courante. Quant aux vélos classiques et aux vélos électriques, ils appartiennent plus souvent à des particuliers.

Enfin, nous avons constaté que les trottinettes électriques sont assez populaires auprès des personnes souffrant d'un handicap physique. Nous n'avons toutefois pu obtenir aucune information sur le type de handicap. Nous pourrions également prouver qu'ils ont des raisons différentes d'utiliser ces modes de transport, selon leurs besoins et qu'ils ont davantage de problèmes en ce qui concerne les facteurs atténuants. Les recherches sur ce thème sont rares (Dill & McNeil, 2020). Les entretiens avec les opérateurs ayant montré que les utilisateurs de fauteuils roulants utilisent des trottinettes électriques partagées pour faire avancer leurs fauteuils roulants sur de longues distances, il est conseillé de réaliser une autre étude pour mieux comprendre les possibilités d'inclusion au moyen de ce mode de transport.

5.3 L'impact environnemental des trottinettes électriques

Bien que les trottinettes électriques ne produisent pas d'émissions directes de gaz d'échappement, leur courte durée de vie et le processus de production très polluant des batteries ont suscité des inquiétudes. Les évaluations du cycle de vie réalisées sur les premières générations de trottinettes électriques partagées ont révélé des émissions de gaz à effet de serre (équivalent CO₂) du cycle de vie de 110 à 165 g d'éq/vkm, ce qui est comparable ou à peine inférieur à une voiture typique équipée d'un moteur à combustion interne (Hollingsworth et al., 2019; Kazmaier et al., 2020; Moreau et al., 2020). Ces émissions élevées sont principalement dues à la courte durée de vie présumée d'environ 10 mois (ou même moins) et à l'utilisation de camionnettes de service polluantes roulant aux énergies fossiles pour transporter et recharger les trottinettes électriques.

Évidemment, la majeure partie de ces émissions est causée par le processus de production des véhicules, ainsi que par les services opérationnels des équivalents partagés. Une analyse de sensibilité a montré que le transport initial des trottinettes électriques (vers la Belgique) contribue de manière insignifiante aux émissions totales du cycle de vie. De même, en raison de la grande efficacité de la transmission des trottinettes électriques, les émissions de GES associées à la production de l'électricité nécessaire pour recharger les trottinettes électriques ne représentent que 2 à 5 % des émissions totales du cycle de vie.

Ce sont donc en réalité la durée de vie et le kilométrage des trottinettes électriques qui ont une grande influence. Une trottinette électrique avec une plus longue durée de vie et qui est utilisée plus souvent compense les émissions de fabrication relativement élevées, qui sont responsables de 50 à 80 % des émissions totales du cycle de vie. Voilà pourquoi les opérateurs s'efforcent de maintenir leur flotte de trottinettes électriques opérationnelle le plus longtemps possible en améliorant leur robustesse et en effectuant un entretien régulier.

Nos résultats montrent que les émissions de GES du cycle de vie par véhicule-km sont très sensibles aux variations de la distance quotidienne moyenne parcourue par les trottinettes électriques. En effet, les

composants véhicule et services opérationnels sont beaucoup plus importants que le composant utilisation et varient donc fortement par vkm. En d'autres termes, les avantages de l'utilisation de la trottinette électrique l'emportent sur l'impact direct de la consommation d'énergie plus élevée. De même, les changements dans la durée de vie moyenne des trottinettes électriques ont des répercussions importantes sur les émissions de GES. Une durée de vie plus longue correspond généralement à un kilométrage plus important et à des émissions plus faibles par vkm. En outre, nous avons constaté que la réduction des distances de service avait également un impact sur les émissions de GES. Le passage de dispositifs sans station à un approvisionnement basé sur des stations d'accueil peut aider à réduire ces distances de service.

Une étude par questionnaire réalisée à Bruxelles par Moreau et al. (2020) a montré que les déplacements en voiture sont fréquemment remplacés par des trottinettes électriques. Cependant, ils ont également constaté que la trottinette électrique remplace aussi les transports publics, le vélo et les déplacements à pied. Ces résultats semblent différer des résultats de notre recherche par questionnaire, mais peuvent s'expliquer par la manière d'étudier ce transfert modal. Moreau et al. (2020) a posé la question suivante : « Avant l'arrivée des trottinettes électriques, quel mode de transport auriez-vous utilisé pour le même type de déplacement ? » et s'est donc concentré sur un déplacement spécifique effectué, alors que dans notre recherche, l'utilisation a été évaluée sur une plus longue période (la part du mode de transport généralement utilisé pour effectuer les déplacements). Déterminer le transfert modal uniquement sur la base d'un seul déplacement ne brosse pas un tableau complet des déplacements effectués par une personne (cela ne signifie pas forcément qu'une personne a tendance à remplacer les transports publics, alors qu'un seul déplacement a été effectué avec une trottinette électrique au lieu des transports publics). De plus, Moreau et al. (2020) a posé cette question à tout le monde, même s'ils n'ont utilisé le mode de transport qu'une seule fois, alors que notre recherche par questionnaire se concentrait sur les utilisateurs les plus fréquents. Néanmoins, pour certains déplacements spécifiques, il est toujours possible que le mode de transport sélectionné soit remplacé. Nous estimons que cet effet est minime si nous tenons compte de l'utilisation des modes de transport en général.

Les résultats de cette recherche s'inscrivent dans le contexte des discussions internationales coordonnées par le Forum international des transports (OCDE) sur les performances environnementales des nouveaux modes de mobilité. Les vélos, les trottinettes électriques et les cyclomoteurs privés font partie des modes de transport urbain les plus efficaces, bien plus performants que les voitures. La consommation d'énergie et les émissions de GES de la micromobilité partagée (incluant également les trottinettes électriques, les vélos, les vélos électriques et les cyclomoteurs) sont même, dans une certaine mesure, comparables à celles du métro et des bus (Delhaye & Vandael Schreurs, 2022).

Si la durée de vie des trottinettes est un paramètre crucial, il est difficile de l'estimer car de nouveaux modèles apparaissent régulièrement. Les premières générations avaient une durée de vie estimée à 18 mois ou moins, mais certaines étaient encore opérationnelles après 36 mois. Si l'on en croit les opérateurs, les derniers modèles peuvent avoir une durée de vie allant jusqu'à 60 mois. Sur la base d'une durée de vie de 36 mois et d'un kilométrage quotidien de 10 km, les émissions de gaz à effet de serre du cycle de vie sont de 49 g d'équivalent CO₂/vkm, soit nettement moins que les 84 g d'éq. CO₂/vkm estimés pour la première génération. Dans ces conditions, les trottinettes électriques partagées obtiennent des résultats légèrement meilleurs à la part modale moyenne à Bruxelles, dont les émissions de GES du cycle de vie sont de 60 g d'éq. CO₂/vkm, et peuvent donc être considérées comme une solution de mobilité verte. Nous soulignons l'importance d'une durée de vie élevée et d'un kilométrage quotidien élevé. Une trottinette électrique qui dure deux fois moins longtemps et qui est utilisée deux fois moins souvent produit des émissions de gaz à effet de serre presque quatre fois plus importantes et devient rapidement plus polluante que les voitures à carburant fossile.

Cette extrême sensibilité est l'une des raisons pour lesquelles cette recherche a tenté d'obtenir des estimations précises des durées de vie et des kilométrages totaux auprès des opérateurs de trottinettes électriques partagées. Mais malgré tous nos efforts, nous n'avons pu obtenir ces informations. Cette forme de secret sur les détails de la durée de vie des véhicules indique qu'il faut prendre leurs estimations avec des pincettes.

En ce qui concerne les trottinettes électriques privées, les plus grands avantages environnementaux peuvent encore être réalisés au cours de la phase de production du véhicule, puisque les services opérationnels ne sont pas pertinents pour ce type de véhicules. En résumé, deux grandes options peuvent se présenter : rendre le processus de production plus respectueux de l'environnement et prolonger la durée de vie des dispositifs en les rendant plus robustes et/ou moins dépendants de la technologie.

Veuillez noter que le marché des trottinettes électriques privées peut présenter de grandes différences de qualité. Les trottinettes électriques de type « jouet », qui coûtent entre 100 et 200 euros, diffèrent

largement des véhicules « de rue » dont le prix est généralement supérieur à 500 euros. Cette différence peut influencer considérablement le cycle de vie du véhicule et ses émissions.

Cette analyse souligne la nécessité d'une réglementation et d'une communication transparente sur les performances des dispositifs de micromobilité afin d'améliorer durablement l'impact sur l'environnement. À cet effet, il convient de trouver une solution constructive sans dévoiler les modèles économiques des fabricants et des opérateurs, ce qui pourrait éventuellement tuer le potentiel de ce mode de transport.

Enfin, cette analyse d'impact environnemental se concentre essentiellement sur les émissions de GES en termes de CO₂. Il importe de reconnaître que les émissions de CO₂ ne représentent qu'une partie du facteur d'émission et de l'impact environnemental (p.ex., les particules provenant de l'usure des pneus/freins, les autres gaz à effet de serre liés à la production d'électricité, les autres émissions des véhicules provenant du transport et des services opérationnels, l'impact environnemental de l'extraction des matières premières, etc.) En tant que telle, cette analyse de l'impact environnemental est une simplification de l'impact environnemental total des trottinettes électriques.

5.4 Comportement

Nous avons déjà indiqué dans l'introduction de cette étude que le comportement de conduite des utilisateurs de DMP (et surtout de trottinettes électriques) est crucial pour la sécurité routière. (European Transport Safety Council, 2022). Voilà pourquoi une étude d'observation des comportements et des conflits a été réalisée dans les zones piétonnes et dans les espaces partagés avec une forte proportion de piétons.

Cette recherche a révélé que les conducteurs de trottinettes électriques présentent un risque de conflit plus élevé que les utilisateurs de vélos, en relation avec leur nombre d'utilisateurs, mais en relation avec le nombre d'interactions avec les autres usagers. Nous avons constaté, sur la base d'une sélection manuelle des conflits, qu'une cause importante de ces conflits était la vitesse : soit des excès de vitesse, soit des vitesses non adaptées à la situation (tant pour les vélos que pour les trottinettes électriques). D'après les données agrégées sur les conflits, dans 1 conflit sur 4, la limite de vitesse n'était pas respectée. Puisque les utilisateurs de trottinettes électriques roulaient plus souvent à vive allure que les cyclistes, une relation logique peut être établie entre les vitesses plus élevées et le risque accru de conflits. Cependant, au moment d'un conflit, la limite de vitesse était autant respectée par les conducteurs de trottinettes électriques que par les cyclistes. Des vitesses non adaptées sont également une cause principale d'accidents (European Transport Safety Council, 2022), ce qui prouve l'utilité de mesures de sécurité de substitution dans les études sur la sécurité routière.

Che et al (2020), cités dans (European Commission, 2021), ont constaté que les piétons et les cyclistes se sentent plus en sécurité lorsque les utilisateurs de trottinettes électriques roulent à une vitesse maximale de 15 km/h. Che, Lum, & Wong (2020), cités dans (European Commission, 2021) ont constaté que les piétons se sentent plus en sécurité lorsque l'utilisateur d'une trottinette électrique les dépasse à une vitesse maximale de 10 km/h. Cependant, cette vitesse a été jugée trop lente par les participants conduisant une trottinette électrique, ce qui a également pu être observé, puisque les utilisateurs de trottinettes électriques en Autriche se déplacent à une vitesse moyenne de 15,1 km/h (European Commission, 2021). Ces résultats sont confirmés par la présente étude, qui a révélé que 30 à 60 % des utilisateurs de trottinettes électriques commettaient des excès de vitesse dans les zones piétonnes (limite de vitesse égale à celle du pas). Cependant, en raison des possibilités de géorepérage des opérateurs de trottinettes partagées, ainsi que de la législation adaptée au 1^{er} juillet 2022, il est possible que la vitesse des trottinettes électriques partagées dans ces espaces partagés soit limitée par les opérateurs eux-mêmes. Une étude d'évaluation serait nécessaire pour confirmer si ce géorepérage est bien réalisé par les opérateurs de trottinettes partagées.

Sur la base de conflits sélectionnés manuellement, nous avons constaté que les comportements à risque sont plus souvent le fait d'utilisateurs masculins. Il en résulte une proportion plus élevée de conducteurs masculins blessés (Vias institute, 2021). Nous ne pouvons toutefois pas tirer de conclusion définitive, car il est possible que l'exposition plus élevée des utilisateurs masculins joue un rôle, ainsi que leur comportement présumé plus risqué, qui n'a pas pu être contrôlé dans le cadre de cette étude.

Pour cette étude d'observation des conflits, nous devons mentionner que le logiciel d'encodage automatique a pu manquer d'éventuels conflits. Cependant, si un codage manuel devait être effectué, il conviendrait de sélectionner un nombre limité d'heures, ce qui pourrait également conduire à manquer des conflits.

Pour faire face à l'intérêt croissant pour les trottinettes électriques et aux préoccupations concernant l'utilisation de ce nouveau mode de transport, une nouvelle législation sur les dispositifs de micromobilité a été adoptée en Belgique le 1^{er} juillet 2022, assimilant en partie les utilisateurs de trottinettes électriques à des cyclistes. Pour les trottinettes électriques, cette législation n'est applicable qu'aux versions approuvées, avec une vitesse maximale de 25 km/h, et sans siège, puisque les autres modèles sont interdits ou relèvent de la législation spécifique aux cyclomoteurs avec permis de conduire AM. Cette adaptation a été réalisée afin d'aborder certaines questions relatives aux trottinettes électriques, ainsi qu'à d'autres véhicules électriques légers personnels (p.ex., monoroue, hoverboards, Segway, etc.), et s'est concentrée sur les aspects suivants:

- L'interdiction d'utiliser une trottinette électrique avant l'âge de 16 ans (sauf dans les zones réservées).
- L'interdiction d'utiliser une trottinette électrique sur les trottoirs.
- L'interdiction de circuler avec un passager
- L'obligation d'utiliser des places de stationnement dédiées aux opérateurs de trottinettes partagées.
- L'obligation de rouler au pas dans les zones piétonnes où les trottinettes électriques sont autorisées.

Cependant, il conviendrait d'étudier les effets de ce changement législatif afin de déterminer si ces restrictions sont respectées ou non.

En outre, un son universel pour les trottinettes électriques est censé améliorer la sécurité routière (TIER, n.d.). Cependant, au vu des résultats de l'observation des conflits, nous pouvons conclure que le son d'une trottinette électrique n'est pas nécessairement « la » solution, puisque la vitesse est une cause importante de conflits, et non nécessairement la difficulté à repérer la trottinette électrique. Le comportement de l'utilisateur doit jouer un rôle important dans l'atténuation des effets négatifs sur la sécurité. Les piétons devraient également faire preuve d'une plus grande vigilance, mais nous pouvons nous demander si il est normal que les piétons soient constamment vigilants dans les zones piétonne.

Si la section de cette étude consacrée à l'observation des comportements et des conflits a tenu compte d'un certain nombre d'utilisateurs de trottinettes électriques et de vélos, certains comportements n'ont pas été étudiés. Par exemple, la position des conducteurs sur leur trottinette électrique n'a pas été étudié (p.ex., si les conducteurs se tiennent avec leurs pieds l'un à côté de l'autre ou l'un devant l'autre). De même, cette partie n'a pas évoqué les conflits entre les piétons et les trottinettes électriques stationnées ou renversées. En réalité, ces conflits ne peuvent pas être étudiés par les techniques classiques d'observation des conflits et nécessiteraient, avec le positionnement sur la trottinette électrique, une observation spécifique des comportements.

Enfin, la prudence est également de mise lors de l'interprétation du risque de conflit. Cette étude n'a tenu compte que des espaces partagés, en mettant l'accent sur les usagers vulnérables de la route. Les interactions avec le trafic motorisé ont été prises en compte de manière limitée (uniquement sur la Chaussée d'Ixelles). Des études ultérieures axées sur les interactions entre les DMP et le trafic motorisé sont recommandées afin de mieux comprendre ces situations potentiellement dangereuses. Comme le montrent (De Vos & Slotmans, 2023; Shah et al., 2021) un certain nombre d'accidents se produisent avec des véhicules motorisés en mouvement.

5.5 Accidents

Les accidents déclarés par les participants à l'enquête et recueillis dans le cadre de cette étude ont montré que les vélos classiques ont été impliqués dans un plus grand nombre d'accidents, suivis des trottinettes électriques et enfin des vélos électriques. Cette proportion était à peu près égale pour les quasi-accidents. À première vue, nous pourrions conclure que les trottinettes électriques sont plus sûres que les vélos mais ce n'est pas le cas. Ce questionnaire n'ayant pas abordé le sujet de l'exposition, nous ne pouvons faire aucune déduction sur le risque d'accident. La littérature indique même, sur la base de statistiques d'accidents très limitées, que les trottinettes électriques présentent un risque d'accident 4 à 10 fois supérieur à celui des vélos classiques (European Transport Safety Council, 2022; SWOV, 2021).

Nous soupçonnons que seule une fraction des accidents est enregistrée par la police, car nous avons constaté que seuls 10 % des accidents ont entraîné des blessures plus graves nécessitant une visite chez le médecin. Cette constatation peut être confirmée par l'accent mis récemment sur les données hospitalières relatives aux accidents de trottinettes électriques et par le soutien moindre apporté aux analyses de PV en raison de la sous-déclaration des accidents (Bjørnskau, 2022; European Transport Safety Council, 2022). Nous avons également constaté qu'il n'y a pas de différence au niveau du risque de décès par trajet entre les trottinettes

électriques et les vélos, mais que le risque d'hospitalisation semble significativement plus élevé chez les utilisateurs de trottinettes électriques que chez les cyclistes (European Commission, 2021). Si la gravité de l'accident ne semble pas immédiate, il faut garder à l'esprit que les trottinettes électriques sont principalement utilisées par des personnes plus jeunes, qui sont moins vulnérables que les utilisateurs plus âgés d'autres modes de transport.

Les données déclarées par les participants ont montré que les accidents impliquant des DMP sont en grande partie unilatéraux (c'est-à-dire 4 accidents sur 5), ce qui est contraire aux analyses de PV, (De Vos & Sloomans, 2023), mais conformes à (European Commission, 2021; Vias institute, 2021). Les causes de ces accidents unilatéraux sont souvent liées à des problèmes techniques, au comportement des utilisateurs et aux conditions météorologiques en ce qui concerne les trottinettes électriques, tandis que les cyclistes signalent principalement des problèmes d'infrastructure routière et leur propre comportement comme causes d'accident. Dans les accidents multilatéraux, le comportement des autres usagers de la route est souvent désigné comme responsable de l'accident et les utilisateurs de trottinettes électriques mentionnent également leur propre comportement. Ces résultats semblent correspondre aux informations figurant sur les PV (De Vos & Sloomans, 2023), à l'exception des accidents unilatéraux, pour lesquels il existe une probable forte sous-déclaration, puisque la plupart de ces accidents n'ont eu que peu voire pas de conséquences physiques. La gravité des blessures est en moyenne plus élevée lorsqu'un autre usager de la route est impliqué dans l'accident. Nous ne pouvons pas expliquer la part élevée de problèmes techniques à l'origine des accidents impliquant des trottinettes électriques. Il est conseillé de poursuivre les recherches sur cet aspect.

Le questionnaire ne demandait pas d'information concernant le types de blessures mais la littérature souligne la présence élevée de blessures à la tête dans les accidents impliquant des trottinettes électriques (Bjørnskau, 2022; European Transport Safety Council, 2022). Néanmoins, l'obligation de porter un casque n'a pas été mise en œuvre par crainte de nuire à l'attractivité du mode de transport, ce qui a suscité des critiques à l'encontre des législateurs (Vias institute, 2021).

Enfin, la section sur la mobilité a déjà indiqué que les utilisateurs de trottinette électrique possèdent moins souvent un permis de conduire que les utilisateurs réguliers et les utilisateurs non réguliers d'autres modes de transport. Il y a vraisemblablement un manque de connaissances appropriées (les connaissances qui sont souvent acquises pour passer un examen théorique de permis de conduire) ce qui contribue à expliquer le ratio plus élevé d'accidents par véhicule-kilomètre parcouru (également observé dans (Vias institute, 2021)).

6 Recommandations

Afin de mieux contrer les éventuels effets négatifs, mais aussi de promouvoir une utilisation correcte et de tirer profit des éventuelles opportunités, nous pouvons formuler les recommandations suivantes.

Cadre

- Des catégorisations plus claires dans le domaine des DMP avec des définitions communes sont nécessaires au niveau national et international. Idéalement, la cohésion devrait être présente au niveau européen.
- La réception par type au niveau européen pour pouvoir distinguer beaucoup plus facilement les DMP légaux et illégaux. En outre, cela peut clarifier la zone grise des trottinettes électriques équipées d'une selle et des trottinettes électriques « rapides » (c'est-à-dire dont la vitesse est supérieure à 25 km/h).
- Une harmonisation accrue de la législation/des règles entre les différents États membres, en veillant à ce qu'elles soient bien communiquées et appliquées.
- Des objectifs plus clairs pour l'utilisation des DMP au niveau politique sont considérés comme une opportunité au niveau de la mobilité.

Mobilité

- Encourager l'utilisation des DMP sur la base de la théorie ERG et de la satisfaction des besoins
 - Communiquer au sujet des motivations d'ordre supérieur et du rôle des DMP pour répondre à ces besoins
 - Montrer l'aspect pratique des DMP dans des situations quotidiennes
- Réduction des obstacles à l'utilisation des DMP dans les domaines où un transfert modal durable peut être réalisé sur la base de la roue du changement de comportement et de ses interventions et politiques.
- Encourager la poursuite des recherches sur les DMP, et notamment sur leur rôle pour les usagers de la route souffrant de handicaps physiques.
- Considérer les trottinettes électriques comme un mode de transport à part entière et non plus comme un jouet.
- Considérer et promouvoir les DMP comme un substitut aux déplacements en voiture.

Incidences sur l'environnement

- Favoriser la transparence dans le domaine des DMP, en mettant en place un cadre réglementaire concernant le cycle de vie des trottinettes électriques et leur impact sur l'environnement (obligatoire pour les opérateurs de trottinettes partagées).
- Déplacer la production ou l'assemblage à grande échelle des DMP vers l'Europe, où les règles d'émission sont plus strictes.
- Envisager une labellisation des DMP en fonction de leur score d'impact environnemental durant la phase de production.
- Imposer des actions visant à réduire les impacts liés à la fabrication des DMP, y compris au niveau de l'utilisation des matériaux.
- Promouvoir et/ou subventionner l'entretien et la réparation des DMP pour augmenter leur durée de vie.
- Promouvoir et/ou subventionner des DMP produits de manière plus respectueuse de l'environnement et rétrograder les DMP de mauvaise qualité, construits avec des matériaux non respectueux de l'environnement.
- Récompenser les opérateurs de systèmes partagés pour leurs actions durables dans le domaine de l'entretien, de la redistribution et des dispositifs respectueux de l'environnement, au lieu de seulement imposer des amendes pour les comportements indésirables.
- Fixer un plafond/objectif pour la durée de vie des trottinettes électriques (p.ex., exiger une durée de vie garantie de 36 mois) à atteindre par les opérateurs sur le terrain, et imposer des sanctions si cet objectif n'est pas réalisé.

Sécurité

- Poursuivre la collecte d'informations sur les accidents des DMP et améliorer leur enregistrement (distinguer les types de trottinettes)

- Application de la réglementation sur la vitesse inadaptée et la consommation d'alcool pour les utilisateurs de trottinettes électriques, et de la nouvelle législation en vigueur depuis juillet 2022. Une application plus stricte est particulièrement justifiée dans les zones sensibles aux accidents, comme celles où se trouvent de nombreux cyclistes et piétons.
- Augmenter le port du casque à l'aide de campagnes de sensibilisation.
- Envisager des normes et des réglementations plus sûres pour la conception des véhicules.
- Améliorer l'infrastructure pour les DMP (interventions d'ingénierie du trafic, p.ex., amélioration de l'état des surfaces, création d'espaces séparés pour les trottinettes électriques afin d'atténuer les conflits avec les piétons).
- Créer des alternatives aux amendes pour viser le changement de comportement (p.ex., la formation)
- Créer un cours d'auto-apprentissage via smartphone pour augmenter la probabilité de suivre une formation de base sur le contrôle des véhicules, car les formations professionnelles ne seront presque jamais suivies volontairement. Les programmes de formation pourraient également accroître les connaissances sur la législation et réduire les comportements à risque.
- D'autres recherches s'imposent pour mieux comprendre la façon dont les utilisateurs de trottinettes électriques interagissent avec les piétons, les cyclistes et les automobilistes, afin d'éviter les accidents.
- Nous recommandons également de poursuivre les recherches afin d'étudier la part élevée de problèmes techniques entraînant des accidents avec les trottinettes électriques.

L'utilisation d'indicateurs de direction, d'un signal sonore, de rétroviseurs et de matériaux réfléchissants n'est pas recommandée car ils ne sont pas considérés comme une cause principale d'accidents ou de conflits. En réalité, ces ajouts au véhicule imposeront un coût supplémentaire à l'utilisateur, l'impossibilité pour les opérateurs de dispositifs partagés de maintenir la conformité de leurs trottinettes avec la loi (p.ex., à cause du vandalisme, des chutes, etc.), et peuvent avoir un impact sur leur portabilité de l'engin qui est un facteur clé pour favoriser la multimodalité.

Références

- ACEM. (2021). *Micromobility: The case of the Personal Light Electric Vehicle*. <https://acem.eu/policy-areas/mobility/acem-position-paper-micromobility-the-case-of-the-personal-light-electric-vehicle>
- Battery Solutions. (2022). *The Unwritten risks of E-mobility batteries | Battery Solutions*. <https://batterysolutions.com/news/the-unwritten-risks-of-e-mobility-batteries/>
- Bird Cities Blog. (2022). *Bird BMS: The Secret to Safe, Sustainable Scooter Batteries*. <https://www.bird.co/blog/bird-bms-safe-sustainable-scooter-batteries/>
- Bjørnskau, T. (2022). *E-scooter accidents and risks - comparing data from Norway (Oslo) with other countries*.
- Bláfóss Ingvarðson, J., Thorhauge, M., Kaplan, S., Nielsen, O. A., & Raveau, S. (2019). *Incorporating Existence, Relatedness & Growth needs in transport mode choice: A hybrid choice framework*. https://transp-or.epfl.ch/heart/2019/abstracts/hEART_2019_paper_162.pdf
- Bolt Blog. (2020). *Bolt launches new, fourth-generation scooter model | Bolt Blog*. <https://blog.bolt.eu/en/bolt-launches-new-fourth-generation-scooter-model/>
- Brannigan, C., Waymel, L., Giff, H., & Kilsten, A. (2022). *Expert study: 'Safety and environmental aspects of the use of Personal Mobility Devices*. <https://www.fiaregion1.com/expert-study-on-safety-and-environmental-aspects-of-the-use-of-personal-mobility-devices/>
- Brown, G. R. (1994). Traffic conflicts for road user safety studies. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 21(1), 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1139/194-001>
- Carpenter, S. (2019, October 25). In the Van With the 'Juicers' Who Round Up and Recharge Lime Scooters. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2019/10/25/business/lime-bird-scooters-rechargers.html>
- Castro, A., Gaupp-Berghausen, M., Dons, E., Standaert, A., Laeremans, M., Clark, A., Anaya-Boig, E., Cole-Hunter, T., Avila-Palencia, I., Rojas-Rueda, D., Nieuwenhuijsen, M., Gerike, R., Panis, L. I., de Nazelle, A., Brand, C., Raser, E., Kahlmeier, S., & Götschi, T. (2019). Physical activity of electric bicycle users compared to conventional bicycle users and non-cyclists: Insights based on health and transport data from an online survey in seven European cities. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 1, 100017. <https://doi.org/10.1016/J.TRIP.2019.100017>
- Cazzola, P., & Crist, P. (2020). *Good to Go? Assessing the Environmental Performance of New Mobility*. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/environmental-performance-new-mobility.pdf>
- Clean Energy Institute. (2020). *Lithium-Ion Battery - Clean Energy Institute*. <https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/battery-technology/>
- Conti, A. (2019). *Someone's Going to Get Killed Charging Those E-Scooters*. Vice. <https://www.vice.com/en/article/wjmx8y/someones-going-to-get-killed-charging-those-e-scooters-juicing-limes>
- Dardenne, L. (2022, April 28). La trottinette électrique n'est pas un jeu, un accident peut laisser des séquelles physiques, fonctionnelles, esthétiques et psychiques. *La Libre Belgique*. <https://www.lalibre.be/planete/sante/2022/04/28/la-trottinette-electrique-nest-pas-un-jeu-elle-peut-laisser-des-sequelles-physiques-fonctionnelles-esthetiques-et-psychiques-2LM2NGKNDZGXTISO7CGSEOVPO4/>
- de Bortoli, A. (2021). Environmental performance of shared micromobility and personal alternatives using integrated modal LCA. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 93. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102743>
- De Ceunynck, T. (2017). *Defining and applying surrogate safety measures and behavioural indicators through site-based observations* [Lund University]. <https://documentsserver.uhasselt.be/handle/1942/24288>
- De Ceunynck, T., Wijnhuizen, G. J., Fyhri, A., Gerike, R., Köhler, D., Ciccone, A., Dijkstra, A., Dupont, E., & Cools, M. (2021). Assessing the Willingness to Use Personal e-Transporters (PeTs): Results from a Cross-National Survey in Nine European Cities. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 3844, 13(7), 3844.

<https://doi.org/10.3390/SU13073844>

- De Maeseneer, W. (2018). *Elektrische fiets steeds populairder, ook bij jongeren*. VRT Nieuws. <https://www.vrt.be/vrtnws/nl/2018/03/29/elektrische-fiets-steeds-populairder--ook-bij-jongeren/>
- De Vos, N., & Slootmans, F. (2023). *Analyse approfondie des caractéristiques et profils d'accidents impliquant une trottinette électrique*.
- Delhaye, A., & Vandael Schreurs, K. (2022). *Duurzame integratie van gemotoriseerde tweewielers (G2Ws) in het mobiliteitsbeleid - Een stand van zaken en prognoses*. <https://www.vias.be/nl/onderzoek/onze-publicaties/duurzame-integratie-van-gemotoriseered-tweewielers/>
- Dill, J., & McNeil, N. (2020). Are Shared Vehicles Shared by All? A review of Equity and Vehicle Sharing. *Journal of Planning Literature*. <https://doi.org/10.1177/0885412220966732>
- Dott. (2022). *Sustainability GRI Report*.
- Dott Blog. (2021). *Why swappable batteries are the way to go | Dott blog*. <https://ridedott.com/blog/global/why-swappable-batteries-are-the-way-to-go>
- Electric Scooter Guide. (2022a). *Electric Scooter Regenerative Brakes* » *Electric Scooter Guide*. <https://electric-scooter.guide/guides/electric-scooter-regenerative-brakes/>
- Electric Scooter Guide. (2022b). *Technical Guide: Electric Scooter Brakes* » *Electric Scooter Guide*. <https://electric-scooter.guide/guides/electric-scooter-brakes/>
- Ericsson. (2021). *Connected Micromobility*. <https://www.ericsson.com/4aadf6/assets/local/internet-of-things/docs/10272021-ericsson-connected-micromobility.pdf>
- European Commission. (2021). *Road safety thematic reports - Personal Mobility Devices*. https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2021-07/road_safety_thematic_report_personal_mobility_devices_tc_final.pdf
- European Transport Safety Council. (2022). *e-Scooter Safety: From research to action*. <https://etsc.eu/etsc-online-event-e-scooter-safety/>
- EY. (2020). *Micromobility: Moving cities into a sustainable future*.
- Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer. (2022). *Enquête BEMOB: Fietsgebruik in België*. <https://mobilit.belgium.be/nl/duurzame-mobiliteit/fietsen/elektrische-fietsen>
- Fluctuo. (2022). *European Shared Mobility Index - Annual Review 2021*.
- FOD Mobiliteit en Vervoer. (2022). *Enquête monitor over de mobiliteit van de Belgen*. <https://mobilit.belgium.be/nl/publications/enquete-monitor-over-de-mobiliteit-van-de-belgen>
- Gauquelin, A. (2020). *Jump: the next battery-swap technology?* Shared-Micromobility. <https://shared-micromobility.com/jump-the-next-battery-swap-technology/>
- Hayward, J. C. (1972). Near-miss determination through use of a scale of danger. *Highway Research Record*, 384, 24–34.
- Hendrickx, K. (2019, January 23). Op nachtelijke stepjacht: veel stress, weinig euro's. *Bruzz*. <https://www.bruzz.be/economie/op-nachtelijke-stepjacht-veel-stress-weinig-euros-2019-01-23>
- Hollingsworth, J., Copeland, B., & Johnson, J. X. (2019). Are e-scooters polluters? the environmental impacts of shared dockless electric scooters. *Environmental Research Letters*, 14(8). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2da8>
- Horizon Micromobility. (2022). *Electric Scooter Motor Guide - information on e-scooter motors – Horizon Micromobility*. <https://horizonmicromobility.com/pages/scooter-motors>
- IEA. (2022). *Belgium - Countries & Regions - IEA*. <https://www.iea.org/countries/belgium>
- Intelligent Transport. (2022). *TIER Mobility arrives in Belgium with e-scooter launch in Brussels*. <https://www.intelligenttransport.com/transport-news/133134/tier-mobility-e-scooters-brussels/>

- ITF assessment tool. (2020). *life-cycle-assessment-calculations-2020*.
- Johnsson, C., Laureshyn, A., & De Ceunynck, T. (2018). In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators. *Transport Reviews*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01441647.2018.1442888>
- Jossen, A., Späth, V., Döring, H., & Garche, J. (1999). Reliable battery operation — a challenge for the battery management system. *Journal of Power Sources*, *84*(2), 283–286. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(99\)00329-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(99)00329-8)
- Kamaluddin, N. A., Andersen, C. S., Larsen, M. K., Meltofte, K. R., & Várhelyi, A. (2018). Self-reporting traffic crashes – a systematic literature review. *European Transport Research Review 2018 10:2*, *10*(2), 1–18. <https://doi.org/10.1186/S12544-018-0301-0>
- Kazmaier, M., Taefi, T., & Hettesheimer, T. (2020). Techno-Economical and Ecological Potential of Electric Scooters: A Life Cycle Analysis. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, *20*(4), 233–251. <https://doi.org/10.18757/EJTIR.2020.20.4.4912>
- Klimt, A. (2022). *Alex Klimt on LinkedIn: #powerbanks #Ukraine #RideTogether*. https://www.linkedin.com/posts/alexklimt_powerbanks-ukraine-ridetogether-activity-6942447992385802240-GMs5?utm_source=linkedin_share&utm_medium=member_desktop_web
- Lawrence, C. (2021). *Fixed vs. detachable ebike batteries: Which one is right for you?* The Next Web. <https://thenextweb.com/news/what-kind-of-ebike-battery-is-best-for-you>
- Licata, V. (2021). *Mobilité électrique et partagée : une solution durable ? Analyse du cycle de vie des scooters électriques en libre-partage à Bruxelles*. Université Libre de Bruxelles.
- Lime. (2019). *A study on Lime's environmental impact in Paris*.
- Martensen, H., Temmerman, P., & Pelssers, B. (2021). *Interacties in voetgangersgebieden - Onderzoek naar de interacties tussen bestuurders en voetgangers in voetgangersgebieden*. <https://www.vias.be/nl/onderzoek/onze-publicaties/interacties-in-voetgangersgebieden/>
- Michie, S., van Stralen, M. M., & West, R. (2011). The behaviour change wheel: A new method for characterising and designing behaviour change interventions. *Implementation Science*, *6*(1). <https://doi.org/10.1186/1748-5908-6-42>
- Moreau, H., de Jamblinne de Meux, L., Zeller, V., D'Ans, P., Ruwet, C., & Achten, W. M. J. (2020). Dockless E-Scooter: A Green Solution for Mobility? Comparative Case Study between Dockless E-Scooters, Displaced Transport, and Personal E-Scooters. *Sustainability*, *12*(5). <https://doi.org/10.3390/su12051803>
- Polis. (2022). *Latest European Shared Mobility Index published*. <https://www.polisnetwork.eu/news/latest-european-shared-mobility-index-published/#:~:text=The European Shared Mobility Index provides a quarterly snapshot of,%2C scooters%2C mopeds and cars.>
- POLIS Network. (2022). *A look at the European Shared Mobility Industry: Fluctuo's latest Index - POLIS Network*. <https://www.polisnetwork.eu/news/a-look-at-the-european-shared-mobility-industry-fluctuos-latest-index/>
- Pulvirenti, G., De Ceunynck, T., Daniels, S., Distefano, N., & Leonardi, S. (2021). Safety of bicyclists in roundabouts with mixed traffic: Video analyses of behavioural and surrogate safety indicators. *Transportation Research Part F*, *76*, 72–91. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.11.006>
- Romain, M. (2022). *"The oldest shared escooter in operations". 3.5 years later, our Generation - Maxim Romain on LinkedIn / 20 comments*. <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:6940607194199437312/>
- Schuller, A., & Aboukrat, M. (2019). *White paper: The Role of e-scooters and Light Electric Vehicles in Decarbonizing Cities*.
- Severengiz, S., Finke, S., Schelte, N., & Wendt, N. (2020, March 1). Life Cycle Assessment on the Mobility Service E-Scooter Sharing. *2020 IEEE European Technology and Engineering Management Summit, E-TEMS 2020*. <https://doi.org/10.1109/E-TEMS46250.2020.9111817>

- Shah, N. R., Aryal, S., Wen, Y., & Cherry, C. R. (2021). Comparison of motor vehicle-involved e-scooter and bicycle crashes using standardized crash typology. *Journal of Safety Research*, 77, 217–228. <https://doi.org/10.1016/J.JSR.2021.03.005>
- Strobel, P. (2021). *Electric Scooter Tires: A Technical Guide for Beginners*. <https://eridehero.com/electric-scooter-tires/>
- SWOV. (2021). *Light electric vehicles (LEVs)*. [https://swov.nl/sites/default/files/bestanden/downloads/FS LEVs UK.pdf](https://swov.nl/sites/default/files/bestanden/downloads/FS_LEVs_UK.pdf)
- The Brussels Times. (2020). *E-scooter popularity will boom in Brussels after lockdown*. <https://www.brusselstimes.com/109131/e-scooter-popularity-will-boom-in-brussels-after-lockdown>
- The Next Web. (2022). *Micromobility startups struggle to profit despite heavy funding -- here's why*. <https://thenextweb.com/news/micromobility-expansion-is-in-order-now-time-for-profits>
- The Verge. (2019). *Bird has a new electric scooter: it's durable, comes in three different colors, and you can buy it - The Verge*. <https://www.theverge.com/2019/5/8/18535698/bird-one-electric-scooter-ride-share-own-price>
- TIBCO. (n.d.). *What is Factor Analysis?* <https://www.tibco.com/reference-center/what-is-factor-analysis>
- TIER. (n.d.). *UCL and London e-scooter operators team up to research 'universal sound' for e-scooters in the capital*. <https://about.tier.app/ucl-and-london-e-scooter-operators-team-up-to-research-universal-sound-for-e-scooters-in-the-capital/>
- Tire meets road. (2018). *The insane way some electric scooters are being charged, gas generators on a truck - Alt Car news*. <https://tiremeetsroad.com/2018/10/07/the-insane-way-some-electric-scooters-are-being-charged-gas-generators-on-a-truck/>
- Van der Horst, H. (1990). *A time-based Analysis of road-User Behaviour at Intersections*. 91–107.
- Vezzini, A. (2014). Lithium-Ion Battery Management. *Lithium-Ion Batteries: Advances and Applications*, 345–360. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59513-3.00015-7>
- Vias institute. (2021). *Briefing 'Elektrische steps en verkeersveiligheid'*. <https://www.vias.be/nl/onderzoek/onze-publicaties/briefing-elektrische-steps-verkeersveiligheid-2021/>
- Voi Blog. (2021). *Voi unveils the Voyager 4, an e-scooter truly built for cities for living, featuring noise and optional air-quality sensors -* <https://www.voiscooters.com/blog/voi-unveils-the-voyager-4/>
- Wen, Y., Bassett Jr, D. R., Zhang, S., Brakewood, C., Cherry, C. R., Thorsen, T., Weinhandl, J. T., & Morse, J. (2019). *Evaluating the Physical Activity Impacts of Riding Electric Kick Scooters*. <https://trb.secureplatform.com/a/solicitations/18/sessiongallery/325/application/1436>
- World Energy Data. (2022). *World Electricity Generation - World Energy Data*. <https://www.worldenergydata.org/world-electricity-generation/>

Annexes

Analyse factorielle du modèle ERG (anglais)

A factor analysis was performed on all 33-items in order to subtract the different ERG-level needs. In order to determine the number of factors, an eigenvalue of >1 was used. Plotting the eigenvalues off all the factors on a screen plot showed that 3 factors could be derived, on which 31 items gave a high factor loading. For the individual factor loadings per item, a cut-off value larger than 0.3 was used. A variance of 53.72% was explained by the 3 factors. The table below gives an overview of the factor loadings, mean factor scores, standard deviation, and reliability scores. The following factor naming could be determined: 'Utilitarian mobility' (consisting of mostly existence-level needs), 'Subjective norm' (consisting of mostly relatedness-level needs), and 'Attitudes as secondary motivators' (consisting mostly of growth-level needs).

Items	Factors		
	Attit.	Utili.	Subj.
1. I believe it is good for the environment	0.821	0,137	0,059
2. I believe is better for my health to use this rather than other transport modes	0.789	0,208	0,121
3. I believe it is good for my health	0.788	0,213	0,102
4. I believe it helps to improve the situation in cities (congestion, pollution, noise etc.)	0.782	0,22	0,056
5. I think it is well perceived by the society to use it	0.71	0,264	0,112
6. I believe it allows to contribute to a better society	0.709	0,234	0,292
7. I find it gives a good feeling to use it (adrenaline, freedom etc.),	0.67	<u>0,342</u>	0,212
8. I believe it is cheaper than other transport modes	0.645	0,125	0,109
9. Using it to clear my head and stimulate productivity	0.622	<u>0,416</u>	0,066
10. I believe is easier to park / does not require parking	0.615	0,206	0,045
11. I believe it offers more flexibility than other transport modes	0.583	0,289	0,233
12. I believe my family/friends would think it is nice that I use it	<u>0,523</u>	0,284	0,44
13. I think it becomes trendy to use it	<u>0,411</u>	0,152	0,361
14. Going to a museum / art exhibition	0,17	0.748	0,171
15. Attending after-hours activities (e.g., a language course, music class etc.)	<u>0,355</u>	0.725	-0,035
16. Meeting your friends during a day	<u>0,415</u>	0.712	-0,021
17. Going for a professional meeting	0,111	0.711	0,293
18. Going out in the evening (e.g. going to dinner, go party, go to the bar, etc.)	0,119	0.679	0,233
19. Going for a trip /excursion	0,187	0.655	0,215
20. Going to work/school	<u>0,378</u>	0.644	0,044
21. Running daily errands (e.g., going to the doctor, going to the hairdresser, going to the pharmacy)	<u>0,375</u>	0.643	-0,024
22. Picking up take-away food	0,199	0.638	0,185
23. Meeting new people	0,245	0.624	0,289
24. Spending some quality time with your family	<u>0,455</u>	0.538	0,118
25. Making a multimodal journey (combining different transport modes, e.g., taking a bike on the train)	0,145	0.529	0,123
26. Doing local groceries (e.g., in the street market, local supermarket)	<u>0,382</u>	0.519	0,067
27. I believe it allows to impress friends, co-workers, family	0,062	0,124	0.768
28. I believe it gives a kind of social prestige/benefit to use it	0,264	0,217	0.694
29. I believe it allows to demonstrate your opinion/beliefs	<u>0,342</u>	0,224	0.635
30. I believe it is safer than other transport modes	0,272	<u>0,318</u>	<u>0,572</u>
31. I believe that people who use it belong to a certain (social) group/movement	-0,041	-0,133	0.544
32. Going to a bigger store (e.g., hypermarket, Ikea etc.)	-0,126	0.434	<u>0,525</u>
33. I believe it is quicker than other transport modes	0,279	0,298	<u>0,429</u>
Mean	3,485	2,975	2,879
Standard Deviation	0,821	0,832	0,711
Chronbach's Alpha	0,927	0,917	0,768

Items in italic and underlined loaded onto the factor but were left out due to a lower alpha value or cross loading that couldn't be explained on a factor. Bold items are part of the factor and were taken to calculate a mean score for the factor.

Some cross-loadings could be observed, possibly due to an item that can be seen under multiple factors. However, an appropriate match with the factor was determined based on the cohesion with other items in a respective factor, and the reliability analysis.

Analyse factorielle du modèle COM-B (anglais)

A factor analysis was performed on all 31-items that were constructed in terms of the COM-B framework. An eigenvalue of >1 was used in order to determine the number of factors. Plotting the eigenvalues of all the factors on a screen plot showed that 5 factors could be derived. However, after cross checking the items with the 5-factor structure, it was noticed that all items loaded on the first factor, with some cross loadings on the other factors. Because of this, a fixed 3-factor structure was proposed based on the 3 main factors of the COM-B model. For the individual factor loadings per item, a cut-off value larger than 0.3 was used. A variance of 54.86% was explained by the 3 factors. The table below gives an overview of the factor loadings, mean factor scores, standard deviation, and reliability scores. The following factor naming could be determined based on the loadings of the items: 'Capability', 'Opportunity', and 'Motivation'.

Items	Factors		
	Motiv.	Oppor.	Capab.
1. [...] would need to get fun out of using this mode (e.g. feel happy that I don't take the polluting car or get relaxed from the morning air)	0.739	0.117	0.231
2. [...] would need to have suitable road infrastructure available to use it safely (e.g. not too many pedestrians, the road should be even, wider bicycle lanes)	0.727	-0.008	0.133
3. [...] would need to be able to store my transport mode to make sure I can leave it safely behind (e.g. have a dedicated storage room or bicycle storage)	0.712	0.100	0.074
4. [...] would need to feel that it is safe to use (e.g. having read somewhere that it is a safe transport mode)	0.691	0.208	0.217
5. [...] would automatically need to feel that I want to use this mode (e.g. automatically think of using this mode since I like physical activity or like the fresh morning air, etc.)	0.673	0.233	0.253
6. [...] would have to develop a habit of using the transport mode (e.g. would need to make a habit of going with this mode to the station)	0.655	<u>0.315</u>	0.218
7. [...] would need to make a plan to use the transport mode (e.g. think about the alternative routes I can take, plan my trip better in advance)	0.608	<u>0.332</u>	<u>0.305</u>
8. [...] would need to have suitable additive user equipment (e.g. would need to have all-weather gear to be able to use it even when it rains, a reflective jacket or light helmet)	0.600	0.269	0.244
9. [...] would have to have some facilities at my main activity that make it able for me to use it (e.g. ability to shower, ability to charge it, etc.)	<u>0.564</u>	0.367	0.121
10. [...] would need to feel that it is natural for me to use it (i.e. I feel bad if I am using a different transport mode, while knowing the e-scooter would have been better).	0.559	<u>0.364</u>	0.198
11. [...] would have to belief that I contribute to environmental sustainability (e.g. I would need to be convinced that using this transport mode is good for the environment)	0.487	<u>0.452</u>	0.181
12. [...] would need to overcome negative feelings that automatically seep in (e.g. overcome the automatic thought that it is unsafe to use this transport mode, because I saw someone having an accident or falling).	0.444	<u>0.361</u>	<u>0.442</u>
13. [...] would need to live less remotely that makes it possible to use the transport mode (e.g. I would need to live somewhere, where the distance to an activity isn't that big)	<u>0.378</u>	0.249	0.262
14. [...] would have to have more support from others to use the transport mode (e.g. have friends that support me and don't laugh with me for using it)	0.162	0.761	0.265
15. [...] would need to feel that I'm part of a community (e.g. live in a city where most people use it as a transport mode as part of their life)	0.101	0.743	0.250
16. [...] would need to have more people in my close environment around me that use the transport mode (e.g. colleagues that use the transport mode, my family, my friends)	0.196	0.723	0.260
17. [...] would need to have more triggers to be prompted to use the transport mode (e.g. someone that passes me every morning and is faster at work than me, other people that use it look more healthy, etc.)	0.286	0.632	0.230
18. [...] would need to know more about the benefits of this transport mode (e.g. know how it contributes to greener mobility or improved living quality, or knowing how much time it would save me if I used it, etc.)	0.174	<u>0.583</u>	0.401
19. [...] would have to have better maintained shared devices so that I would want to use it more (e.g. replace damaged scooters, better cleaned, etc.)	<u>0.454</u>	0.557	0.104
20. [...] would need to have the transport mode more accessible/available (e.g. need to have a personal device or should be able to make use of a shared device)	<u>0.449</u>	0.524	0.210
21. [...] would need to have more money to use this transport mode	<u>0.314</u>	0.522	0.118

22. [...] would need to have an adapted device in order for me to be able to use it (e.g. a different seat mounted, etc.)	<i>0.330</i>	0.521	<i>0.372</i>
23. [...] would need to know more background info about how the device works. (e.g. how to charge it, how fast it goes, etc.)	0.135	<i>0.508</i>	0.476
24. [...] would need to have more time to use this transport mode.	<i>0.407</i>	0.413	0.163
25. [...] would need to have more physical endurance to not be fatigued immediately. (e.g. develop greater stamina to not be exhausted after a ride)	0.237	0.112	0.813
26. [...] would need to be physically stronger (e.g. build up stronger legs to be able to conquer a steep hill, or be stronger to carry it in the train)	0.230	0.148	0.793
27. [...] would need to find a solution to overcome physical limitations (e.g. get around problems about seating or standing position on the transport mode)	0.201	<i>0.308</i>	0.729
28. [...] would have to have more mental endurance to make sure that I keep focussed while using this transport mode. (e.g. stay focussed in a city centre with dense traffic after a 20min ride)	0.174	0.295	0.729
29. [...] would have to have more mental strength to not easily give up or pick another transport mode. (e.g. take the car because there is a strong wind outside or because it is raining)	<i>0.320</i>	0.186	0.663
30. [...] would need to develop more confidence in using the device (e.g. be convinced that I can easily reach my destination)	0,270	<i>0.326</i>	0.629
31. [...] would have to have better skills to operate the device (e.g. follow a practical training to safely use the device)	0.107	<i>0.464</i>	0.620
Mean	3.278	2.871	2.866
Standard Deviation	0.800	0.806	0.895
Chronbach's Alpha	0.904	0.892	0.911

Items in italic and underlined loaded onto the factor but were left out due to a lower alpha value or cross loading that couldn't be explained on a factor. Bold items are part of the factor and were taken to calculate a mean score for the factor.

This 3 factor-structure was highly consistent with the COM-B model framework, with appropriate item loadings on the respective factors. Cross-loadings could be observed, possibly due to a an item that can be seen under multiple factors or the lower cut-off value of 0.3. However, an appropriate match with the factor was determined based on the cohesion with other items in a respective factor, and the reliability analysis. In order to investigate the 6-factor structure from the COM-B model (i.e. main 3 factor structure, with each factor having 2 sublevels) a factor analysis was ran on each individual factor. For the Opportunity and Motivation factors a 2-factor solution was found, when the number of factors were determined based on an eigenvalue >1. For the factor capability, a fixed 2-factor structure had to be proposed since the factor analyses based on an eigenvalue of >1 only showed a 1-factor solution. In this case, each COM-B factor had a 2-factor structure showing the different COM-B sub-items. A cut-off value of 0.3 was used. It was not possible to preserve all items in this 6-factor structure. 25 items out of a total of 31 items were kept. Further, were some cross loadings found. The outcome can be found in the table below.

Capability		
	Physical	Psychological
[...] would need to have more physical endurance to not be fatigued immediately. (e.g. develop greater stamina to not be exhausted after a ride)	0.878	0.191
[...] would need to be physically stronger (e.g. build up stronger legs to be able to conquer a steep hill, or be stronger to carry it in the train)	0.849	0.221
[...] would need to find a solution to overcome physical limitations (e.g. get around problems about seating or standing position on the transport mode)	0.691	<i>0.438</i>
[...] would have to have better skills to operate the device (e.g. follow a practical training to safely use the device)	0.422	<i>0.702</i>
[...] would have to have more mental endurance to make sure that I keep focussed while using this transport mode. (e.g. stay focussed in a city centre with dense traffic after a 20min ride)	<i>0.662</i>	0.461
[...] would have to have more mental strength to not easily give up or pick another transport mode. (e.g. take the car because there is a strong wind outside or because it is raining)	<i>0.740</i>	0.264
[...] would need to develop more confidence in using the device (e.g. be convinced that I can easily reach my destination)	<i>0.456</i>	0.663
[...] would need to know more about the benefits of this transport mode (e.g. know how it contributes to greener mobility or improved living quality, or knowing how much time it would save me if I used it, etc.)	0.201	0.821
[...] would need to know more background info about how the device works. (e.g. how to charge it, how fast it goes, etc.)	0.186	0.868
Mean	2.861	2.843
Standard Deviation	0.999	0.938
Chronbach's Alpha	0.859	0.831

Opportunity		
	Physical	Social
[...] would have to have better maintained shared devices so that I would want to use it more (e.g. replace damaged scooters, better cleaned, etc.)	0.731	0.292
[...] would need to have the transport mode more accessible/available (e.g. need to have a personal device or should be able to make use of a shared device)	0.736	0.290
[...] would need to have more money to use this transport mode	0.712	0.181
[...] would need to have an adapted device in order for me to be able to use it (e.g. a different seat mounted, etc.)	0.608	<i>0.436</i>
[...] would need to have more time to use this transport mode.	0.535	<i>0.348</i>
[...] would have to have some facilities at my main activity that make it able for me to use it (e.g. ability to shower, ability to charge it, etc.)	0.747	0.167
[...] would have to have more support from others to use the transport mode (e.g. have friends that support me and don't laugh with me for using it)	<i>0.315</i>	0.801
[...] would need to feel that I'm part of a community (e.g. live in a city where most people use it as a transport mode as part of their life)	0.242	0.809
[...] would need to have more people in my close environment around me that use the transport mode (e.g. colleagues that use the transport mode, my family, my friends)	0.263	0.827
[...] would need to have more triggers to be prompted to use the transport mode (e.g. someone that passes me every morning and is faster at work than me, other people that use it look more healthy, etc.)	0.285	0.748
Mean	3.013	2.658
Standard Deviation	0.838	0.953
Chronbach's Alpha	0,831	0.868
Motivation		
	Reflective	Automatic
[...] would need to feel that it is safe to use (e.g. having read somewhere that it is a safe transport mode)	0.612	<i>0.489</i>
[...] would need to make a plan to use the transport mode (e.g. think about the alternative routes I can take, plan my trip better in advance)	0.547	<i>0.579</i>
[...] would need to feel that it is natural for me to use it (i.e. I feel bad if I am using a different transport mode, while knowing the e-scooter would have been better).	0.348	<i>0.714</i>
[...] would have to belief that I contribute to environmental sustainability (e.g. I would need to be convinced that using this transport mode is good for the environment)	0.470	<i>0.574</i>
[...] would need to get fun out of using this mode (e.g. feel happy that I don't take the polluting car or get relaxed from the morning air)	0.254	0.795
[...] would automatically need to feel that I want to use this mode (e.g. automatically think of using this mode since I like physical activity or like the fresh morning air, etc.))	0.254	0.823
[...] would have to develop a habit of using the transport mode (e.g. would need to make a habit of going with this mode to the station)	<i>0.344</i>	0.752
[...] would need to overcome negative feelings that automatically seep in (e.g. overcome the automatic thought that it is unsafe to use this transport mode, because I saw someone having an accident or falling).	<i>0.905</i>	0.211
Mean	3.189	3.270
Standard Deviation	0.893	0.934
Chronbach's Alpha	0.819	0.837
Items in italic and underlined loaded onto the factor but were left out due to a lower alpha value or cross loading that couldn't be explained on a factor. Bold items are part of the factor and were taken to calculate a mean score for the factor.		



Vias institute

Chaussée de Haecht / Haachtsesteenweg 1405
1130 Brussels

+32 2 244 15 11

info@vias.be

www.vias.be