Université Libre de Bruxelles

Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire

Faculté des Sciences

Master en Sciences et Gestion de l'Environnement

Mobilité électrique et partagée : une solution durable ? Analyse du cycle de vie des scooters électriques en libre-partage à Bruxelles

> Mémoire de Fin d'Études présenté par LICATA Victor en vue de l'obtention du grade académique de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement Finalité Gestion de l'Environnement M-ENVIG

> > Année Académique : 2020-2021

Directeur: Prof. ACHTEN Wouter

Promoteur: MOREAU Hélie

Ce mémoire a été réalisé sous la direction de Wouter Achten, professeur et chercheur à l'Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire (IGEAT) et la supervision de Hélie Moreau, chercheur postdoctoral à l'IGEAT, que je tiens particulièrement à remercier pour sa disponibilité, sa gentillesse et l'aide qu'il m'a accordée tout au long de ce travail.

Je tiens également à remercier mon père dont le soutien a été très précieux.

Résumé

Mots-clés : mobilité partagée, mobilité électrique, mobilité urbaine, libre-partage, scooters électriques en libre-partage, impact environnemental, analyse du cycle de vie, Région de Bruxelles-Capitale.

Ce travail a dressé le bilan environnemental d'un moyen de transport électrique en libre-partage, le scooter électrique en libre-partage. La mobilité partagée et la mobilité électrique font partie intégrante du Plan Régional bruxellois de la mobilité 2020-2030 (1), ce qui explique certainement le nombre toujours croissant des flottes de ce récent moyen de transport. Pourtant, peu d'études ont tenté d'en estimer les réels impacts environnementaux afin de s'assurer qu'il représente réellement une solution durable de mobilité urbaine.

L'étude au cœur de ce mémoire consiste en une analyse de cycle de vie des systèmes de scooters électriques en libre-partage tels qu'ils sont orchestrés à Bruxelles. Les analyses ont été réalisées pour quatre catégories d'impacts: Le réchauffement climatique, la formation de particules fines, l'épuisement des ressources minérales, et l'épuisement des ressources fossiles. Concernant le réchauffement climatique imputé au scooter électrique en libre-partage, les résultats indiquent que celuici est responsable de l'émission de 36g de CO2 eq. par km parcouru par un passager. Les résultats ont pu être comparés aux résultats d'un mémoire complémentaire (2), qui permettait d'estimer les impacts environnementaux du report modal de l'arrivée du moyen de transport étudié. Il a ainsi été possible de conclure que les scooters électrique en libre-partage présentent une réduction des impacts sur le réchauffement climatique comparé aux moyens de transports utilisés s'ils n'existaient pas. En effet, il est estimé que le report modal émettrait 46g de CO2 eq. km. Une analyse de sensibilité permet de fixer à 26350 km d'espérance de vie, la condition d'un avantage des scooters électriques en libre-partage sur le report modal.

Les scooters électriques en libre-partage présentent donc actuellement une solution durable quand l'impact d'étude est le réchauffement climatique. Cependant, la comparaison des impacts de différents moyens de transport permet d'observer que, lorsque la catégorie d'impact de l'épuisement des ressources minérales est choisie, ce n'est plus le cas. L'épuisement des ressources minérales imputé aux scooters électriques est en effet plus élevé que celui du report modal, des transports en commun et même de son homologue thermique. Ceci est en grande partie dû à l'utilisation importante de ressources à disponibilités limitées et de métaux rares, nécessaire au fonctionnement des technologies vertes.

Les scooter électriques en libre-partage, tels que ces services sont organisé aujourd'hui, ne permettent pas une plus-value environnemental sur le modèle linéaire de possession individuelle. L'utilisation d'un modèle de scooter disponible aux particuliers en est responsable.

Ensemble, une écoconception d'un modèle de scooter électrique permettant d'allonger la durée du vie du scooter, le recyclage efficient des matériaux en fin de vie et une gestion optimisée des opérateurs permettront de surmonter ces défis. Les scooters-électriques en libre-partage présentent donc le potentiel d'une solution durable sur laquelle pourra s'appuyer la Région Bruxelloise.

Table des matières

Kėsumė	4
Introduction	10
Revue de la littérature	12
Mobilité Européenne	12
Mobilité urbaine : le cas de Bruxelles.	12
Innovation dans l'usage des moyens de transports	15
La mobilité partagée	15
Les Product service systems	16
Innovations technologiques	18
Pluralité des moyens de transports	18
Les moteurs électriques	19
Scooters électriques en libre-service sans borne à Bruxelles :	21
L'analyse du cycle de vie	22
ACV des scooters électriques en libre-partage	23
Mémoire complémentaire	25
L'usage des scooters électriques en libre-partage	25
En résumé : les principaux enjeux de ce mémoire	26
Méthode	28
SimaPro et EcoInvent	28
Unité fonctionnelle	28
Limites du système	28
Approche	30
Méthode et choix des impacts environnementaux	30
Collecte des données.	31
Phases matériaux et production	32
Phase de transport	32
Phase de charge	32
Phases de distribution	33
Hypothèses	33
Observations du nombre de kilomètres parcourus par jour	34
Hypothèse 1:	34
Hypothèse 2:	34
Hypothèse 3:	35
Données de comparaison	35
Comparaison avec d'autres moyens de transport	35

Transports en commun	36
Voiture	36
Trottinette électrique en libre-partage	36
Scooter à combustion privé	36
Scooter électrique privé	36
Scénarios de gestion	37
Présentation et discussion des résultats	38
Impacts environnementaux du scooter électrique en libre-service à Bruxelles	39
Hypothèse 1	39
Hypothèse 2	40
Hypothèse 3	42
Décomposition des phases matériaux et production	43
Phase matériaux	43
Phase production	45
Comparaison avec d'autres moyens de transport	46
Analyse de sensibilité : condition de bénéfice sur le report modal	50
Analyse de scénarios de gestion	51
Discussion générale	52
Impacts de la phase matériaux des véhicules électriques	52
Impacts de la mobilité partagée	54
Limites et difficultés rencontrées	56
Conclusions	58
Bibliographie	60
Annexe	66

<u>Liste des Figures :</u>

igure 1 : Limites du système des scooters électriques en libre-partage à Bruxelles
igure 3: Contribution des six phases sur les impacts d'un kilomètre-passager d'utilisation d'un scooter lectrique en libre-partage à Bruxelles pour les quatre catégories d'impact analysées selon la deuxième ypothèse.
igure 4:Contribution des six phases sur les impacts d'un kilomètre-passager d'utilisation d'un scooter lectrique en libre-partage à Bruxelles pour les quatre catégories d'impact analysées selon la troisième ypothèse.
rigure 5 : Proportions de contribution des trois grandes composantes du scooter électrique sur les impacts de la phase matériaux de la fabrication d'un scooter électrique pour les quatre catégories l'impacts analysées.
igure 6 : Comparaison de l'impact de différents moyens de transport à Bruxelles sur le réchauffemen limatique, en kg de CO2 eq. par kilomètre
M2.5 eq. par kilomètre
n kg de Cu eq. par kilomètre
igure 11 : Analyse de l'impact sur le réchauffement climatique de scenarios envisageant des pistes 'amélioration de gestion en kg de CO2 eq*p-km-1
iste des Tableaux :
ableau 1 : Résultats de l'analyse d'impact de l'utilisation d'un scooter électrique en libre partage à druxelles selon la première hypothèse, pour les quatre catégories d'impacts analysées et par passagerilomètre (p-km-1). Calculé avec SimaPro 9
ableau 3 : Résultats de l'analyse d'impact de l'utilisation d'un scooter électrique en libre partage à truxelles selon la troisième hypothèse, pour les quatre catégories d'impacts analysées et par passager-ilomètre (p-km-1). Calculé avec SimaPro 9
ableau 4: Résultats de l'analyse d'impact de la phase matériaux des 3 grandes composantes du scoote lectrique à sa fabrication pour les quatre catégories d'impacts analysées. Calculé avec SimaPro 9 43 ableau 5 : Résultats de l'analyse d'impact de la phase production des 3 grandes composantes du cooter électrique à sa fabrication pour les quatre catégories d'impacts analysée. Calculé avec SimaPro
ableau 6 : Résultats de l'analyse d'impact de l'utilisation de différents moyens de transport à truxelles, pour les quatre catégories d'impacts analysées et par passager-kilomètre (p-km-1). Calculé vec SimaPro 9

Introduction

Les rapports mondiaux portant sur l'urgence climatique sont sans appel : le transport est un secteur clé dans la transition climatique. En effet, d'après l'Agence Européenne pour l'Environnement (3), le transport est le second secteur responsable du plus grand nombre d'émissions CO2 eq. en Europe. De plus, c'est le secteur dont les impacts augmentent le plus (3). En vue de respecter l'accord de Paris signé en 2015 lors de la COP 21 et visant à limiter la hausse de la température mondiale à +2°C (4), ce secteur est donc d'une importance primordiale. Il n'est alors pas étonnant que le secteur du transport initie une métamorphose de ses modes et de ses moyens en vue de faire baisser ses impacts environnementaux. La mobilité urbaine, qui fait partie de ce secteur, a une part importante de responsabilité dans les émissions qui lui sont rapportées. De plus, les déplacements importants au sein des villes ne causent pas seulement des dégâts environnementaux mais sont également responsables de pollution de l'air, de congestions importantes, de pollution sonore, etc. qui impactent la santé des citoyens (5).

Plusieurs solutions ont été mises en place pour pallier ces problèmes. Ces solutions tentent à la fois de réduire l'émission de gaz à effet de serre et de polluants dans la ville et de fluidifier le trafic urbain. C'est dans cette optique que l'on observe depuis plusieurs années les efforts des autorités publiques bruxelloises pour étendre les voies cyclables et de promouvoir le covoiturage et les transports en commun. De son côté, le secteur privé n'est pas resté les bras croisés. Y voyant des opportunités lucratives, plusieurs initiatives de sociétés privées ont ainsi vu le jour. L'un des modèles alternatifs de mobilité urbaine est celui de la mobilité partagée. Il est largement exploité par le secteur privé à Bruxelles et dans de nombreuses métropoles mondiales. Ce modèle d'économie, mais surtout de consommation, collaborative est à l'origine du nombre important de trottinettes et scooters électriques ou de voitures en libre-service que l'on peut voir à peu près partout dans la capitale belge. Les sociétés utilisant ces principes mettent en avant la promotion du développement durable. Cependant, si les concepts et valeurs initiales du modèle économique de collaboration qu'emprunte la mobilité partagée contiennent en effet des objectifs liés à la promotion de l'environnement, l'application qui en est faite à ce jour par les différentes sociétés privées est plus floue. Il est en effet difficile aujourd'hui d'avoir la conviction que la durabilité des services reste une priorité pour les opérateurs. Plusieurs études, dont des études bruxelloises, ont dès lors tenté d'éclaircir ce point, en se penchant notamment sur le cas des trottinettes électriques. En revanche, les études concernant d'autres moyens de transport en libre-service récemment introduits à Bruxelles font défaut. C'est le cas pour les scooters électriques. Les scooters électriques en libre-service ont fait leur apparition à Bruxelles dans le courant en automne 2016 (6). Très vite, trois sociétés différentes ont proposé ce service, toutes trois en soulignant leur durabilité. Cependant, le manque actuel de données et d'études ne permet pas, à ce jour, d'établir le bilan écologique de ce nouveau mode de mobilité urbaine. C'est pourquoi, à travers ce mémoire, nous analyserons le cycle de vie des scooters électriques en libre-service sans borne à Bruxelles.

Avant cette analyse et l'exposition de ses résultats, plusieurs points vont être développés grâce à une revue de littérature. Un coup de loupe sera passé sur la mobilité européenne et la mobilité urbaine. Les chiffres clés et les principaux enjeux d'une transformation de cette dernière seront exposés avant de se pencher sur les solutions actuellement envisagées. Il sera question alors, d'un côté, de la mobilité partagée et de ses modèles économiques, et de l'autre côté, de la multiplication des moyens de transports à basses émissions, dont les moteurs électriques. Pour chacune de ces deux parties les avantages et inconvénients, ainsi que les impacts liés à ces alternatives, seront exposés. Une brève introduction à l'analyse du cycle de vie sera ensuite présentée avant d'illustrer ce qu'une telle analyse permet de démontrer grâce à l'étude de Moreau et al. (2020) (7). Cet article sera, en effet, sujet à une plus ample présentation en raison des similitudes marquées avec l'étude au cœur de ce mémoire. Nous terminerons cette introduction en abordant la thématique du report modal. En effet, ce mémoire a été réalisé conjointement à celui de Lucas Pochet (2), qui a procédé à une analyse de l'utilisation actuelle des scooters électriques en libre-service à Bruxelles. Les résultats de nos deux mémoires permettront d'établir un bilan complet des impacts environnementaux liés à ce nouveau moyen de transport.

Revue de la littérature

Mobilité Européenne

D'après l'encyclopédie Universalis (8), la mobilité peut être définie "comme le rapport social au changement de lieu, c'est-à-dire comme l'ensemble des actions qui concourent au déplacement des personnes et des objets matériels.". Alors que, " dans ce cadre très large (de la mobilité), les transports sont les systèmes techniques directement dédiés à ces déplacements".

De nos jours, l'utilisation de ces systèmes techniques, de ces transports, est responsable de 15,5 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) mondiaux (9). Ce chiffre grimpe à 21,7% des émissions de CO2 eq. émises quand on se restreint à l'Europe, ce qui représente 931,2 Mt de CO2 eq. De plus, ce secteur d'activité enregistre une augmentation annuelle d'émissions de 2,3% (3).

Parmi les différents modes de transports, le transport routier serait celui qui émet le plus de GES. Il serait en effet responsable de 92% des émissions de ce secteur (10). Selon la Fédération Nationale des Transports Routiers (FNTR) en France, et contre-intuitivement, les poids lourds commerciaux ne seraient responsables que de 20% des émissions du transport routier. La plus grande part, 57%, revient aux véhicules particuliers (11).

Ces chiffres, ces quantités astronomiques de GES émises par le secteur du transport alertent sur l'importance de se pencher hâtivement sur le problème de la mobilité. Cette urgence est réelle partout en Europe et dans le reste du monde mais plus particulièrement pour les milieux urbains. En effet, les villes sont caractérisées par une haute densité de personnes et d'activités, ce qui concentre le nombre de véhicules en un espace restreint, et engendre toute une série d'externalités négatives, dont celle d'émissions de CO2 eq.

Mobilité urbaine : le cas de Bruxelles.

Une distinction entre la mobilité urbaine et rurale a été établie tant leurs dynamiques sont différentes. La différence la plus remarquable concerne les distances parcourues. En ville, celles-ci sont fortement réduites. Malheureusement, la voiture reste le moyen de transport majoritaire des Européens en milieu urbain, même pour de très courtes distances (5). Ainsi, à Bruxelles, il a été observé que 62,5% des trajets en voiture étaient réalisés pour une distance de moins de 5 km et 25% pour des trajets inférieurs à 1 km ! (12)

Il n'est alors pas étonnant d'observer que plus d'un quart des GES émis à Bruxelles résulte des transports routiers (13). Seulement, bien que ce chiffre soit peu rassurant, il n'est pas le seul inconvénient à la surutilisation de la voiture à Bruxelles. La concentration de véhicules dans la capitale belge est d'abord responsable d'importantes congestions. Il a ainsi été démontré que la congestion du trafic urbain à Bruxelles est responsable d'un allongement moyen de la durée des trajets quotidiens de 44 minutes. Un automobiliste bruxellois perdrait donc en moyenne 171h de son temps dans les embouteillages par

an (14). Le temps passé dans ces embouteillages est du temps de travail perdu. Il a ainsi été estimé que les embouteillages coûtent près 375 millions d'euros par an à la Belgique (12).

Cette congestion est responsable d'une réduction importante de la qualité de l'air en région bruxelloise. Le secteur du transport routier émet des taux de polluants atmosphériques problématiques et une quantité importante de particules fines. C'est le cas par exemple concernant le dioxyde d'azote. Les taux enregistrés à Bruxelles sont supérieurs aux normes européennes relatives au taux de concentration de ce gaz. Or, il est largement prouvé qu'une trop forte concentration de ce gaz est nocive, provoquant une inflammation importante des voies respiratoires (15). Les émissions de dioxyde d'azote à Bruxelles sont à grande majorité (69%) dues au transport routier, et plus particulièrement aux véhicules à moteur diesel (13).

La mobilité urbaine telle qu'elle est façonnée actuellement est très énergivore. Un cinquième de l'énergie consommée dans la capitale belge l'est pour le transport (13).

Une externalité également associée à nos moyens de transports urbains, moins documentée, est celle de la pollution sonore. Selon Bruxelles Mobilité (13), en 2016, 64 % des Bruxellois étaient ainsi potentiellement exposés à un bruit routier global (gêne acoustique supérieure à 55 dB(A)), et 72 % à un niveau sonore nocturne de plus de 45 dB(A), ce qui correspond à un niveau de perturbation du sommeil. Ainsi, pour l'année 2016, en Région de Bruxelles-Capitale, le bruit du transport routier aurait induit une perte de 8.706 années de vie en bonne santé du fait de la gêne et de la perturbation du sommeil. Si l'on tient compte d'une exposition prolongée (plus de 20 ans) au bruit routier en journée à 50 dB(A), 70 % de la population bruxelloise (818.500 personnes) présente un risque potentiel de crise cardiaque accru de 40 %.

Il est également à noter que l'arrivée de la voiture à Bruxelles et son expansion ont totalement métamorphosé la capitale. Les infrastructures de voirie et de stationnement dédiées à la voiture dans la ville occupent aujourd'hui 70% de l'espace public (16). Ceci peut être expliqué par le nombre toujours croissant de voitures mais peut également en être la cause. En effet, l'aménagement urbain a été pensé pour la voiture, ce qui a facilité son expansion et facilite encore actuellement son usage (5). Les infrastructures déjà mises en place sont un frein majeur à la transition vers des moyens de transports alternatifs plus verts mais ont également un effet néfaste sur les écosystèmes. Les voiries routières sont entre-autres responsables d'une charge en métaux trop importantes des eaux de ruissellement, d'une trop grande imperméabilité des sols causant une perturbation du cycle de l'eau et d'un impact négatif sur la biodiversité puisqu'elle fragmente le territoire et crée des obstacles de déplacements de la faune et de la flore (13).

Ces chiffres et observations, considérés dans leur ensemble, devraient pousser, jusqu'aux plus sceptiques, à la remise en question de l'utilisation de la voiture comme moyen de transport urbain. Cependant, de nombreuses résistances à ce changement de paradigme persistent comme l'illustrent les différents mouvements de contestation à chaque nouvelle réforme (17). La nécessité de changer notre conception de la mobilité urbaine devra être communément admise avant que de réels changements puissent opérer. Une compagne de communication massive des enjeux de la mobilité urbaine de demain est primordiale à cette finalité. De plus, les transformations peinent à se faire observer car on se heurte également à la question de savoir comment s'y attaquer. Il est aujourd'hui admis qu'une mesure unique ne permettra pas de répondre seule aux enjeux de la mobilité urbaine de demain. Il existe en effet un consensus sur la nécessité de multiplier les transformations car c'est seulement conjointement que les mesures gouvernementales auront un impact suffisant. Pour accorder les différents instruments dont dispose la région bruxelloise, un plan régional de mobilité a été rédigé (1). Dans ce plan régional figure le plan stratégique et opérationnel pour la période 2020-30. Un budget de 1,4 milliards va en outre être débloqué à ces fins en 2021(18).

Une des clés de réponse serait de limiter le nombre de véhicules dans l'enceinte de Bruxelles à l'aide d'instruments politiques. Une stratégie centrale du plan de mobilité, Ville 30, consiste à limiter la vitesse à 30 km/h au sein de la ville. Cette mesure vise à améliorer la sécurité routière, à améliorer la qualité de vie (bruit, pollution) mais également à dissuader les automobilistes de pénétrer dans l'enceinte de la ville. Moins de voitures et des voitures moins dangereuses sont primordiales à la promotion de mobilités douces. Conjointement, il est nécessaire de promouvoir les moyens de transport à basses émissions déjà existants tels que la marche, le vélo ou les transports en commun. Cette initiative est déjà en place à Bruxelles, par exemple, pour le cyclisme qui voit le nombre de pistes cyclables se multiplier (19). Le vélo présente une excellente alternative à la voiture de par l'émission nulle lors de son utilisation et de son faible coût de production. Cependant, l'expansion de l'utilisation du vélo se heurte à de nombreux inconvénients tels que l'insécurité sur la route, les vols et le relief de la ville et n'a pas le potentiel de modifier à lui seul le paysage de la mobilité Bruxelloise (19)(1). Il est toutefois à noter que les mesures prises par la région bruxelloise pour promouvoir l'utilisation du vélo ne sont pas vaines puisque le nombre de cyclistes augmente de 13% par an depuis l'an 2000 (19). Même observation pour les transports en commun : les efforts publics ont permis de voir l'offre de transports en commun augmenter de +16% entre 2011 et 2015 (+48% pour les trams!). Cependant, les dernières observations ne notent pas d'augmentation du nombre d'utilisateurs, seulement de l'utilisation des transports en commun (20). Bien qu'encourageantes, ces avancées ne sont pas suffisantes. Il est donc nécessaire de coupler ces démarches à d'autres remaniements pour que tout le monde y trouve son compte et prenne part à la transition.

Une autre façon de repenser la mobilité urbaine est de se centrer sur l'innovation. Ces innovations ont pour vocation de métamorphoser les moyens de transport. Pour cela, deux grands axes peuvent être distingués : le changement dans l'utilisation des moyens de transport et le changement dans les moyens et les technologies de transport en eux-mêmes. Le scooter électrique en libre-partage représente un mélange de ces deux approches puisqu'il s'insère dans le modèle récent de la mobilité partagée et emprunte la technologie des moteurs électriques.

Innovation dans l'usage des moyens de transports

La mobilité partagée

La mobilité partagée désigne le partage de véhicules entre plusieurs utilisateurs. Ce concept n'est pas nouveau bien qu'il n'ait été mis que récemment au goût du jour. En effet, l'idée du partage de voitures éclot pour la première fois dans la tête de l'architecte français Jacques d'Welles déjà en 1951 (21). Celui-ci constate que les problèmes de circulation à Paris sont en grande partie dus aux places de stationnement sur la voirie. Il imagine alors une société fictive qui mettrait à disposition des voitures et vélos à disposition en libre-service sur des parkings dédiés afin de désengorger les rues parisiennes. Cette idée innovante sera ensuite reprise par des collectifs anarchistes et écologistes à Amsterdam et à La Rochelle dans les années 60 et 70 (22). Ces groupes se sont approprié cette idée car, bien qu'elle ait une conséquence bénéfique sur la circulation, la mobilité partagée est surtout un mode d'économie particulier qui remet en question le principe de propriété et qui promeut le développement durable. En effet, la mobilité partagée s'insère dans le concept plus large d'économie collaborative et surtout de consommation collaborative (23). Ce mode de consommation désigne un modèle économique où l'usage prévaut sur la propriété. Les objets et services partagés permettent de réduire la consommation puisqu'ils répondent aux besoins d'utilisation de plusieurs personnes pour la même unité de bien. Ils sont utilisés constamment, contrairement aux biens non-partagés, ce qui optimise leur utilisation durant la durée de vie de l'objet, évitant ainsi la surproduction et la surconsommation.

Rachel Botsman, économiste spécialisée dans la consommation collaborative propose de distinguer trois systèmes de consommation collaborative (24): 1) les Product service systems (PSS), auxquels appartiennent les scooters électriques en libre-service, la société imaginée par Jacques d'Welles, ou tout autre système permettant de transformer un produit en un service. 2) Les systèmes de redistribution, permettant d'organiser le passage de biens entre particuliers possédant ces biens et des particuliers les recherchant (exemples des plateformes EBay, Vinted, etc.). 3) Et les styles de vie collaboratifs qui désigne le partage de ressources immatérielles tels des compétences ou du temps (exemple des plateformes Listminut', Superprof).

Les Product service systems

Le système qui nous intéresse dans le cadre de ce mémoire est donc celui du Product service system. Ce concept est défini comme "un système de produits, de services, de réseaux de soutien et d'infrastructures qui est conçu pour être compétitif, satisfaire les besoins des clients et avoir un impact environnemental plus faible que les modèles commerciaux traditionnels" (25). En 2004, Tukker (26) a proposé une classification en trois catégories pour les PSS, qui a été largement acceptée depuis : l'orientation vers le produit, dans laquelle un produit est vendu avec un service qui lui est attaché, l'orientation vers l'utilisation, dans laquelle l'utilisation d'un produit est vendue mais la propriété du produit reste au fournisseur et, enfin, l'orientation vers le résultat, dans laquelle le fournisseur vend un résultat et décide de la manière d'atteindre ce résultat. Les scooters électriques en libre-service appartiennent à la deuxième catégorie, les PSS orientés vers l'utilisation et plus précisément à la souscatégorie location ou partage de produits. Cette sous-catégorie est définie comme suit : "le produit en général appartient à un fournisseur, qui est également responsable de l'entretien, de la réparation et du contrôle. L'utilisateur paie pour l'utilisation du produit. Le même produit est utilisé de manière séquentielle par différents utilisateurs"

Un élément clé dans le concept des PSS est l'aspect écologique de ce système. Ce modèle est en effet aujourd'hui considéré comme faisant partie de la catégorie des modèles commerciaux durables et circulaires puisqu'il se concentre sur l'intensification de l'utilisation du produit et sur sa dématérialisation (27). Plusieurs études ont déjà tenté de comparer les performances environnementales des PSS centrés sur l'utilisation et la mobilité. Ceci a été le cas pour les voitures et les vélos partagés et toutes ces études arrivent à la conclusion que ces modèles présentent de meilleures performances que les modèles classiques dits linéaires (28)(29)(30). Le terme "système linéaire" est utilisé par opposition au système circulaire et décrit un système dans lequel un produit est produit, vendu, utilisé, puis envoyé au traitement de fin de vie.

Il est à ce jour possible d'identifier dans la littérature différents mécanismes que les PSS sont censés mettre en œuvre pour soutenir la durabilité environnementale. Premièrement, dans le cas d'un PSS, le fournisseur reste propriétaire du produit et a donc intérêt à avoir un produit ayant la durée de vie la plus longue possible. Par conséquent, le fournisseur a tout intérêt à promouvoir l'éco-conception de son produit, accorder plus d'attention à son entretien et encourager sa réutilisation, sa remise à neuf et son recyclage afin de maintenir sa valeur le plus longtemps possible. Un autre argument principal est que dans un PSS dans lequel le produit est partagé, l'intensité d'utilisation du produit est plus élevée que dans un modèle de propriété. Par conséquent, moins de ressources seraient nécessaires pour satisfaire les mêmes besoins (plus de services fournis par unité de ressource utilisée) (7). Si ces avantages écologiques significatifs sont largement revendiqués aujourd'hui par les différents acteurs privés exploitant ce modèle, il est cependant difficile d'en avoir la certitude. Étant donné que chaque PSS est différemment implémenté, une étude spécifique à chaque application de ce modèle est nécessaire.

Dans un premier temps, l'utilisation du concept des PSS en mobilité, la mobilité partagée, était organisée sous forme de station où les vélos ou scooters étaient attachés à des bornes. L'utilisateur se rendait alors à une station et validait son abonnement afin de débloquer le verrou de la borne d'un véhicule. A cela s'ajoutent aujourd'hui les offres de moyens de transport en libre-service sans borne. En effet, l'avènement du smartphone a permis une toute autre façon de procéder. Il est possible maintenant grâce à ce système de repérer la position d'un véhicule et de le débloquer via l'application de l'opérateur du service que l'on souhaite utiliser. L'utilisateur peut ensuite laisser l'engin n'importe où dans la zone d'activité de la compagnie de location. Bien que, sur le papier, ces deux façons d'opérer la mobilité partagée semblent ne pas se différencier grandement, ils sont associés à des coûts environnementaux différents. Une étude (31) comparant les vélos en libre-service sans borne à ceux organisés par station a pu démontrer que les vélos sans borne étaient responsables de 82% plus de GES que le système de borne. La redistribution des vélos sans bornes en était la principale cause. En effet, les vélos sans borne peuvent être garés n'importe où et nécessitent donc des camionnettes pour déplacer les vélos mal placés et/ou répartir stratégiquement les vélos dans la ville. Cependant, en prenant en compte l'ensemble du cycle de vie des vélos, il apparaît que la phase de manufacture est plus impactantes dans le cas des vélos avec bornes puisqu'elle prend en compte la fabrication de celles-ci. Une réorganisation de la distribution pourrait donc élargir les bénéfices environnementaux des systèmes de vélos partagés sans borne.

La façon dont est orchestrée la mobilité partagée actuellement pose également de nombreux problèmes. Malgré l'envie déclarée de proposer un moyen de transport plus vert, les différents opérateurs des services de véhicules en libre-service font la course à la rentabilité, compromettant grandement cet objectif durable publicité. Il existe en effet une grande concurrence (1) entre les différents opérateurs de ces services, associés à des effets néfastes sur leur bilan environnemental. A l'arrivée de la deuxième société proposant la location de scooters électriques à Bruxelles, par exemple, la société déjà implantée a doublé le nombre de ses scooters (32). Il semble en effet que, pour ce type de marché, la concurrence se joue sur la multiplication de l'offre et donc sur le nombre de véhicules en service disposés dans la ville. Le risque est d'arriver à une situation similaire à celle des trottinettes. La concurrence entre les différentes entreprises de mise en location de trottinettes électriques les a poussés à croître de manière quasi-ininterrompue l'offre de leur service. Le nombre de trottinettes a ainsi atteint la barre des 4000 à Bruxelles en août 2019 (33). Cette situation a de nombreux effets négatifs et l'opinion publique les concernant peut en pâtir. Le surnombre de véhicules peut poser problèmes quant à l'encombrement de la voie publique (34), ce qui tend à indisposer certains citoyens, de motiver des actes de vandalisme (33) et donc de réduire la durée de vie des engins. De plus, la multiplication de l'offre réduit fortement les impacts positifs sur l'environnement de ces modes de transport puisque plus d'unités de bien sont produites pour répondre aux mêmes besoins. A titre d'exemple, en décembre 2019, 3600 trottinettes électriques en libre-service ont été détruites par des groupes activistes à Paris, Lyon et Bordeaux pour dénoncer leur impact écologique (35). L'estimation du bilan environnemental des

trottinettes électriques en libre-service à Bruxelles sera explicitée dans la partie de ce mémoire réservée à l'étude de Moreau et *al.* 2020 (7).

Malgré les doutes entourant la façon dont est orchestrée la mobilité partagée actuellement, celleci fait partie des solutions sur lesquelles repose le plan régional de mobilité de la région de Bruxelles Capitale. En effet, la mobilité partagée présente potentiellement une alternative plus durable à la voiture individuelle, il est donc nécessaire de l'insérer dans les plans pour atteindre les objectifs fixés par la région Bruxelloise pour 2030. Cependant, ce n'est qu'en encadrant les opérateurs proposant la mobilité partagée qu'il sera possible d'exploiter au mieux le potentiel durable de ce moyen de déplacement urbain.

L'étude des vélos partagés avec ou sans bornes et la présentation de la situation actuelle des services de libre-partage à Bruxelles doivent nous mettre en garde sur l'importance d'une gestion orientée vers la durabilité des services. Toutes deux soulignent l'importance, dans une analyse des impacts environnementaux associés à une mobilité partagée, de prendre en considération avec le plus d'exactitude possible la manière dont elle est réellement orchestrée. La gestion de ces services a un impact conséquent puisqu'elle régit la durée de vie d'un véhicule et les coûts environnementaux liés entre autres à la distribution, à la recharge et à la maintenance. Cette observation souligne également l'impératif, de facto, d'une analyse de cas contextualisée quand une analyse de cycle de vie est menée.

Innovations technologiques

Pluralité des moyens de transports

Comme précédemment avancé, il semble actuellement que la clé de la mobilité urbaine de demain se trouve dans une multiplication des offres d'alternatives plus durables à la voiture. Cette multiplicité de l'offre permet une grande flexibilité d'utilisation et de répondre aux besoins du plus grand nombre. L'essor d'une panoplie de nouveaux modes de déplacement, notamment de micromobilité (trottinettes classiques et électriques, gyropodes - hoverboards - ou monoroues), et la montée en puissance des vélos à assistance électrique, des scooters et des scooters électriques en sont la démonstration. Bruxelles mobilité, pour atteindre les objectifs fixés pour 2030, souhaite utiliser ce large éventail d'offres. Elle entend axer l'utilisation des modes de transport en privilégiant les modes actifs pour les courtes distances (la marche) et les moyennes distances (vélo et micromobilité) et les transports en commun pour les moyennes ou longues distances (>10 km) (1). Dans ce large éventail de choix de mode de transport aujourd'hui disponible en milieu urbain figure le scooter; un moyen de transport qui n'est pas récent mais qui a pu se renouveler pour attirer toujours plus d'adeptes.

Le scooter a, depuis sa création en 1902, connu un énorme succès en vue des avantages qu'il présente. Il a en effet très vite conquis les citadins du monde entier en raison de son faible prix d'achat et d'entretien, de sa faible consommation de carburant, de la facilité à se garer, au gain de temps évité dans les embouteillages, etc. En Asie du sud-est, le scooter a été massivement adopté dans les milieux urbains, si bien qu'il représente aujourd'hui plus de 60% des véhicules circulant sur le réseau routier (36). Cependant, les études récentes sur les émissions de polluants associées à ce moyen de transport sont alarmantes. A Bangkok ; par exemple, les scooters sont responsables de plus de 60% des émissions de particules fines dans l'air par le trafic alors qu'ils ne représentent que 10% de la consommation de carburant (37). Une étude de l'Ifsttar (38) a également pu démontrer que les scooters 50 et 125cc polluent plus que les voitures à essence ou diesel récentes. Cette étude s'est intéressée aux polluants réglementés (dont les oxydes d'azote (NOx), les hydrocarbures (HC), le monoxyde de carbone (CO) et les particules fines) et non règlementés. Les résultats du scooter 50cc à deux temps sont étonnamment élevées, l'émission d'hydrocarbures atteignant près de 1000 fois celle d'une voiture.

Le scooter classique, à moteur thermique, présente donc des avantages marqués tant économiques que pragmatiques mais fait figure de mauvais élève concernant les aspects environnementaux. C'est pourquoi, à l'instar de la voiture, les scooters ont rapidement profité des avancées technologiques concernant les moteurs électriques.

Les moteurs électriques

L'utilisation de l'électricité comme énergie de la mobilité urbaine ne cesse de croître. D'abord, ce sont les transports en commun qui se sont lancés dans l'électrification du réseau. En France, l'offre de mode de transport en commun électrifié (métro, tram) a triplé (39) en vingt ans. Les gouvernements ont conjointement encouragé les véhicules privés à prendre la même direction en soutenant les industries induites. Il est en effet reconnu que l'électrification des véhicules permet d'en réduire les externalités négatives.

Depuis quelques années, les analyses de cycle de vie (ACV, méthode sur laquelle nous reviendrons) comparant des voitures électriques (VE) et thermiques (VT) se multiplient. La grande majorité de celles-ci semble pencher en faveur des VE, mais à certaines conditions (40).

En France, l'ADEME a rendu en 2016 (41) un avis sur le sujet qui conforte l'intuition selon laquelle le mode de production d'électricité impacte fortement le bilan environnemental du VE : en raison du pourcentage élevé d'énergie nucléaire (et renouvelable), le VE français est ainsi plus indépendant des ressources fossiles. Il affiche de ce fait une réduction d'environ 65% des émissions de gaz à effet de serre par rapport à un véhicule thermique. Ce constat n'est pas observable en Allemagne par exemple, où le VE affiche une contribution au changement climatique aussi élevée que celle d'un véhicule Diesel puisque ce pays produit son électricité en grande partie au charbon.

Une deuxième étude de 2017 (42) souligne également que la réduction des impacts liés à l'étape de fabrication est une condition de la soutenabilité de la filière et que cela doit passer par la mise en place d'une économie circulaire, de la conception des batteries (écoconception et développement de nouvelles chimies) au recyclage, en passant par l'optimisation des usages des véhicules (« vehicle-to-grid », véhicules partagés) et la réutilisation des batteries en seconde vie. La production et le recyclage des batteries sont des éléments clés dans le bilan environnemental des véhicules électriques. En effet, 40% de l'empreinte environnementale est associée à la fabrication des batteries.

Ces études et les interprétations qui en sont faites sont plutôt encourageantes. Cependant d'autres articles ne sont pas de cet avis. En novembre 2019, une étude menée par la société de conseil Arcadis (43) tire la sonnette d'alarme concernant l'impact environnemental des trottinettes électriques en libre partage à Paris. Ce travail indique que ce véhicule de micro-mobilité présente un bilan carbone équivalent à celui d'une voiture transportant trois passagers. Plus de la moitié des émissions de CO2 (ou équivalent) calculées provient des matériaux de fabrication et plus d'un tiers de l'exploitation (moyens déployés pour la récupération des trottinettes sur l'espace public, leur recharge et leur maintenance). Par contre, les émissions de GES dues à la consommation électrique des batteries sont marginales. En conclusion, les auteurs plaident pour un encadrement renforcé de ce mode de locomotion et une optimisation de ses conditions d'exploitation afin d'allonger la durée de vie de ces engins. La situation bruxelloise concernant les trottinettes électriques sera explicitée dans cette revue de littérature.

Une étude récente (44), menée à l'université de Liège, se montre également fortement sceptique concernant le réel impact des véhicules à moteur électrique et plus particulièrement des voitures électriques. D'après son auteur, une voiture électrique devrait parcourir 697.612 km pour présenter un avantage environnemental en termes d'émissions de GES sur les véhicules thermiques. Ce résultat a vivement été critiqué ensuite de par ses manquements méthodologiques. En réponse, l'auteur de cette étude a reconduit cette analyse en utilisant pour données que les hypothèses les plus favorables au moteur électrique. La distance parcourue nécessaire à un VE pour être considéré comme vert descend alors à 378.843 km. Ce kilométrage reste conséquent et très difficilement atteignable (44).

Les études précédemment citées conseillent donc aux lecteurs de porter leur attention à certains points quant aux bilans environnementaux des VE. Il semble, en effet, que les phases de fabrication et de recyclage de la batterie sont critiques concernant le bilan environnemental du cycle de vie d'un véhicule électrique. Il semble également que la transition énergétique en vue d'une électricité moins polluante soit une étape primordiale. Un dernier point sur lequel ces différentes études encouragent la prise en considération est la méthodologie. En effet, les deux études menées par l'université de Liège sont les seules à ne pas avoir utilisé la méthode de l'analyse de cycle de vie. Elles ont abouti à des résultats différents, contradictoires aux autres études présentées. Une introduction à la méthodologie de l'étude au centre de ce mémoire appuiera la méthode de l'analyse de cycle de vie comme méthode privilégiée quand il s'agit d'estimer les impacts environnementaux d'un bien ou d'un service.

Concernant la santé des riverains, l'électrification des véhicules est bénéfique puisque les moteurs électriques ont la particularité de ne rejeter aucun polluant à l'utilisation. En effet, les émissions liées à l'électrique se situent dans la phase de production. Ainsi même dans le scénario d'un production d'électricité fort polluante, l'utilisation de électricité comme énergie de la mobilité urbaine délocalise l'émission de polluants hors des villes. Les émissions évitées des moteurs thermiques permettent alors d'augmenter la qualité de l'air urbain ou dans le cas d'utilisation d'électricité renouvelable de réduire de façon presque absolue l'émission de polluants.

Outre les avantages sur la santé humaine de par la réduction des émissions de polluants au sein des villes, le passage à l'électrique permet également de réduire l'impact de la circulation sur la santé grâce à une diminution importante de la pollution sonore. Comme présenté précédemment, l'exposition à un bruit élevé et prolongé est dommageable pour la santé. Il est de plus avéré que les scooters thermiques sont très bruyants. Il a ainsi été démontré que remplacer les scooters classiques par des scooters électriques réduirait le bruit total de la ville de 12 à 42% dans les villes où ce moyen de transport est prédominant (45).

Le potentiel avantage environnemental actuel argument marketing, additionné à l'attractivité ludique que présente une nouvelle technologie ont certainement poussé les opérateurs à choisir le scooter électrique.

Scooters électriques en libre-service sans borne à Bruxelles :

Actuellement, et suite au retrait récent d'une des compagnies, seulement deux sociétés de mise en service de location en libre-service de ces scooters se disputent le marché bruxellois. Ces deux opérateurs entretiennent une concurrence directe tant l'offre, les méthodes et les tarifs sont similaires.

Ensemble, les deux compagnies comptabilisent près de 400 scooters (46, 47), en service dans les rues bruxelloises. Le fonctionnement est assez simple et similaire à celui des trottinettes électriques. Après le téléchargement de l'application de l'opérateur, il vous est demandé de vous inscrire. Dans cette étape vous sont demandés des informations personnelles classiques (nom, date de naissance) en plus d'une photo recto/verso de votre permis de conduire, un selfie et des informations bancaires. Après un court laps de temps, vos informations sont vérifiées et il vous est alors possible de louer un véhicule. L'application vous permet, sur une carte, tout d'abord d'observer la zone de service que recouvre l'opérateur. Cette zone de service délimite sur la carte les zones où il est possible de trouver et de garer un scooter. Celles-ci sont assez similaires chez les deux opérateurs puisqu'elles recouvrent les communes d'Uccle, Saint-Gilles, Ixelles, Etterbeek et Bruxelles-Centre. La zone de service d'un des opérateurs s'étend davantage puisqu'elle recouvre également Woluwé-Saint-Lambert et une partie de Schaerbeek (46, 47).

Les scooters disponibles sont géolocalisés sur l'application. Après avoir choisi le scooter qui vous intéresse, il est possible de le réserver pendant 15 minutes. Une fois arrivé au scooter, il suffit de commencer la location. Un coffre contenant deux casques est alors accessible, il est donc possible de voyager accompagné. Vous pouvez alors circuler librement dans Bruxelles à une vitesse approximative de 45-50 km/h et à un prix gravitant autour de 30 centimes la minute. Au moment de quitter le véhicule, il est nécessaire de garer le scooter dans la zone de service et de clôturer la location via l'application.

Les opérateurs ont donc simplifié au maximum l'utilisation de leur service afin d'attirer un maximum de personnes en un minimum de temps. En effet, à la seule condition d'avoir un permis en poche, il vous est possible de louer un scooter électrique très facilement. D'après une expérience personnelle, il est possible de s'initier comme usager en une heure seulement, téléchargement de l'application, inscription, validation et réservation comprise.

Les deux opérateurs ont tous deux choisi le même modèle de scooter électrique. Celui-ci est le MQi de la marque chinoise Niu. Ce modèle est très répandu dans le secteur particulier également et est le scooter électrique le plus communément rencontré sur les routes bruxelloises.

L'analyse du cycle de vie

A l'instar des quelques études évaluant les impacts environnementaux de différents moyens de transport précédemment présentés, l'étude au cœur de ce mémoire est également basée sur la méthode de l'analyse du cycle de vie. Selon la norme ISO 14040 (48), « l'analyse du cycle de vie (ACV) est une technique d'évaluation des aspects environnementaux et des impacts environnementaux potentiels associés à un système de produits ». L'ACV constitue donc une analyse systématique des impacts environnementaux potentiels des produits ou des services tout au long de leur cycle de vie. Au cours d'une ACV, les impacts environnementaux potentiels tout au long du cycle de vie d'un produit (phases de production, de distribution, d'utilisation et de fin de vie) ou d'un service sont évalués. Cela comprend également les processus en amont (par exemple, les fournisseurs) et en aval (par exemple, la gestion des déchets) associés à la production (par exemple, la production de matières premières), à la phase d'utilisation et à l'élimination (par exemple, l'incinération des déchets). L'analyse du cycle de vie a donc pour vocation d'intégrer les impacts environnementaux directs et indirects d'un produit ou d'un service au cours de l'entièreté de sa vie. Une ACV qui estime les impacts de la création à la gestion des déchets d'un produit est dite ACV du berceau à la tombe. Cette méthode est largement validée actuellement puisqu'elle permet un instrument solide de comparaison et de prise de décision. En effet, la robustesse de cette méthode se trouve premièrement dans le fait de quantifier les impacts tout au long du cycle de vie du services/produits analysés. Deuxièmement, c'est son approche multicritère qui en fait un atout. L'ACV se base sur l'analyse d'une multitude de flux entrants et sortants. Ceux-ci peuvent être des flux d'énergies, de matières, de déchets, d'émissions gazeuses, ... et sont tous intégrés dans la même analyse. La dernière grande force de cette méthode est qu'elle est normalisée. En effet, la normalisation internationale ISO (14040 à 14043), développée à partir de 1994, a fixé les bases méthodologiques et déontologiques de ce type d'évaluation, favorisant une harmonisation de la méthodologie employée, davantage de robustesse et de fiabilité des résultats et une communication plus formalisée (49).

ACV des scooters électriques en libre-partage

Actuellement, très peu d'études se sont penchées sur l'analyse du cycle de vie des scooters électriques, encore moins des scooters électriques en libre-partage. Une étude datant de 2016, en Thaïlande (50), a cependant initié les recherches visant à établir les impacts environnementaux de ce récent moyen de transport. Les résultats de cette étude démontrent que pour l'instant, les bénéfices du passage des scooters à combustions (plus de 20 millions en Thaïlande (51)) aux scooters à moteur électrique ne sont pas évidents. En effet, les auteurs concluent que les bienfaits de cette nouvelle technologie sont conditionnés par la quantité de fuel économisée au cours de la vie, par le type d'électricité utilisé, et par la gestion des déchets en fin de vie (les batteries étant très toxiques). Pour le moment, seuls les véhicules électriques avec une consommation de 21km/KWh présentent un avantage en termes de réchauffement climatique. Seule une métamorphose de la production d'énergie en Thaïlande pourrait considérablement faire pencher la balance en faveur des moteurs électriques.

Cette étude souligne une limite majeure des ACV, bien qu'elle en fait aussi sa force, qui est l'impossibilité de transposer des résultats d'un contexte à un autre. En effet, puisque l'ACV prend en compte énormément de données propres au contexte géographique, à l'utilisation ou à la gestion particulière d'un produit ou d'un service, les résultats de cette analyse ne peuvent que donner des indications aux futures analyses. Dans le cas de cette étude, par exemple, la production d'électricité est tout à fait différente entre la Thaïlande et la Belgique. La Thaïlande produit de l'électricité à 91% d'origine fossile et 9% d'origine renouvelable (52) alors qu'en Belgique la production d'électricité provient à 46,6 % du nucléaire, à 30,3 % des centrales à combustibles fossiles et pour 22,7 % des énergies renouvelables (53). Une ACV dans le contexte bruxellois et avec des données particulières à la gestion des opérateurs de location en libre-service est donc primordiale afin d'en estimer les impacts environnementaux.

L'étude de Moreau et *al.* (2020) (7) offre un point d'ancrage au présent mémoire. Elle s'est également penchée sur un service de moyen de locomotion en libre-partage, dans le contexte bruxellois. Bien que le moyen de transport étudié dans cette étude soit différent, la présentation de cette étude semble primordiale tant la méthode et l'interprétation que les résultats permettent de mettre en lumière sont similaires.

Les auteurs se sont intéressés au cycle de vie des trottinettes électriques en libre-service à Bruxelles. En prenant pour unité un kilomètre parcouru par un passager, la trottinette électrique en libre-service à Bruxelles a un impact sur le réchauffement climatique de 0,131 kg eq. CO2 par km, dont la

part la plus importante revient aux matériaux utilisés (0,096 kg eq. CO2). En effet, la part des matériaux contribue entre 68 et 90 % aux différentes catégories d'impact sélectionnées pour cette étude, à savoir le changement climatique, la formation de particules fines, l'épuisement des ressources minérales et la rareté des ressources fossiles. La cause la plus importante de l'impact des matériaux revient à l'aluminium, qui constitue en effet la moitié du poids de la trottinette électrique. La production d'aluminium a un grand impact écologique, car elle nécessite une quantité d'énergie importante. L'étude souligne qu'un élément essentiel de l'impact écologique de la trottinette est sa durée de vie. En effet, plus la durée de vie de la trottinette électrique augmente, plus les impacts au kilomètre diminuent. Celleci dépend de quatre paramètres : l'éco-conception, l'usage, le vandalisme et la maintenance.

Plusieurs scénarios ont été imaginés en modifiant les paramètres de différentes phases. Concernant la durée de vie de la trottinette, ils ont fait varier celle-ci de 1 mois à 2,5 ans (durée de vie maximale de la batterie). Concernant les distances, ils ont fait varier les distances de 1,2 (distance moyenne actuelle) à 20 km (autonomie de la batterie) par jour. La collecte des trottinettes pour la recharge étant également une phase impactante, ils ont analysé l'effet d'ajouter ou soustraire 50% de la distance parcourue. Une dernière analyse a observé les effets de l'utilisation d'électricité 100% renouvelable. Cette analyse de sensibilité a indiqué que les résultats étaient plus sensibles aux changements de l'intensité d'utilisation ou de durée de vie qu'aux changements dans la distribution ou l'électricité. Une intensité d'utilisation de 20 km (autonomie maximale) par jour réduirait les GES à 0,058 kg eq. CO2 *p.km⁻¹, alors qu'une extension de la durée de vie de la trottinette à 2,5 ans les réduirait à 0,051 kg eq. CO2 *p.km⁻¹. De plus, une extension de seulement 4,5 mois de l'actuelle durée de vie de la trottinette pour que celle-ci soit de 1 an, réduirait l'impact de GES à 0,091 kg eq. CO2 *p.km⁻¹. Cela souligne l'importance, pour ces fournisseurs de service, de se pencher en priorité sur l'extension de la durée de vie de leurs véhicules.

Ces résultats donnent déjà de précieuses informations mais ont besoin d'être contextualisés pour conclure à un avantage environnemental du moyen de transport étudié. Pour ce faire, une analyse du report modal est nécessaire. Le report modal désigne la modification des parts de marché des différents modes de transport entre elles (54). Pour ce faire, les auteurs se sont appuyés sur une étude de Bruxelles Mobilité (2019) (55) et ont pu comparer les impacts environnementaux des moyens de transports remplacés par l'introduction des trottinettes électriques en libre-partage à Bruxelles. L'étude de Bruxelles Mobilité (2019) (55) démontre que l'utilisation de la trottinette électrique a remplacé à 29,2% l'utilisation de transport en commun, 26,7% l'usage d'une voiture, 14,2% d'un vélo, 1,5% d'un vélo électrique, 4% un scooter et le reste étant la marche.

Ces données ont été utilisées pour estimer l'impact environnemental des déplacements si la trottinette électrique en libre-partage n'existait pas. Dans la situation actuelle, ces trottinettes ont un taux de GES, de formation de particules fines, et d'épuisement des ressources minérales plus élevé que le mode de transport qu'elles remplacent, mais des impacts plus faibles concernant la rareté des ressources fossiles. Cependant, il ne faudrait qu'une expansion de 55 jours de la durée de vie de la trottinette électrique en libre-service au moment de l'étude (7) (février 2020) pour que celle-ci présente un avantage en termes de GES. Les services des fournisseurs étant encore récents, ils s'améliorent chaque jour et voient la durée de vie de leurs véhicules augmenter rapidement. Cette prolongation pourra assez vite passer la durée de 9,5 mois qui correspond à la durée pour qu'elle soit une solution de mobilité avantageuse écologiquement. Les auteurs concluent donc que la trottinette présentera bientôt un avantage en termes d'impacts environnementaux sur les modes de transport qu'elle remplace. Quand la longévité des trottinettes électriques sera suffisante, il apparaît que ce sera la phase de distribution (collecte et distribution pour la recharge) qui sera au centre des remaniements pour poursuivre les objectifs d'un impact encore plus faible.

Mémoire complémentaire

L'usage des scooters électriques en libre-partage

Comme évoqué ci-dessus, ce mémoire a été mené en complémentarité d'un autre mémoire (2) consacré à l'utilisation du scooter électrique en libre-partage. Au moyen d'un questionnaire, ce mémoire rendu en août 2020 a permis entre autres d'établir le profil des utilisateurs, leurs habitudes, la fréquence d'utilisation, les motivations d'utilisation et, ce qui nous intéresse ici, ce que l'avènement de ce moyen de transport a modifié dans la manière de se déplacer en ville.

Ainsi, les utilisateurs sont majoritairement des hommes (72,8% des répondants) qui ont entre 25 et 34 ans (78,8%). Ils sont soit travailleurs à temps plein soit étudiants (respectivement 54,5% et 33,3%). Ils ont pour habitude d'associer les scooters en libre-service conjointement aux transports en commun (51,5%) et aux autres services de libre-partage (36.5%) lors de leurs déplacements. 72,7% d'entre eux conduisent régulièrement une voiture, 57,6% prennent souvent les transports en commun. La fréquence d'utilisation est majoritairement d'une à trois fois par mois (63,7%), seulement 6% des répondants rapportent l'utiliser tous les jours. Près d'un tiers des participants n'utilisent les scooters électriques que le weekend. La location dure généralement entre 5 et 15 minutes pour plus de 80% des utilisateurs, pour une distance parcourue moyenne de 4,6 km. Seuls un tiers des participants rapportent n'utiliser que le scooter en libre-partage lors d'un trajet. Parmi les autres, 48,5% associent les trajets en scooter électrique avec de la marche, 36,8% avec des transports en commun. 60% des participants utilisent ce moyen de transport exclusivement seuls, 15% seulement à deux, le reste soit seul soit à deux.

Le calcul du report modal total permet d'estimer que, si les scooters électriques n'avaient pas été disponibles, 32.7% de ce dernier trajet aurait été réalisé par la marche, 4.1% en voiture, 9.6% à vélo, 47.1% en transport en commun, 4.5% en une autre mobilité partagée électrique et 1.9% de micromobilité.

Concernant les motivations, les scooters sont utilisés pour leur rapidité (84,8%) et leur caractère pratique (78,8%). Ensuite, ils sont utilisés pour leur caractère ludique (57,6%). Pour 45,5% des répondants, c'est également la possibilité de service disponible de nuit qui rend ce mode de transport attrayant. Ensuite, c'est le confort (30,3%), le caractère écologique (30,3%) et le coût avantageux (27,3%). S'en suivent la curiosité (24%) et enfin, le prix (12,1%). Les croyances en de possibles impacts positifs sur l'environnement ont également été interrogées. 90% des utilisateurs pensent que les scooters électriques ont moins d'impact que les voitures à essence/diesel. 60% pensent qu'ils ont moins d'impact que les motos à moteur thermique et les voitures électriques. Enfin, seulement 9,1% pensent qu'ils ont moins d'impacts que les transports en commun.

En résumé : les principaux enjeux de ce mémoire

En vue de respecter l'accord de Paris de la COP 21, il est nécessaire de remanier en profondeur le secteur des transports puisqu'il représente le second secteur le plus impactant sur le réchauffement climatique. La mobilité urbaine est une cible particulière de cette transformation tant les externalités négatives qu'elle présente actuellement sont nombreuses. Ainsi, Bruxelles s'est lancée dans une campagne intense afin d'atteindre les objectifs qu'elle s'est fixée pour 2030. Pour ce faire, la région encourage les modes de transports actifs, les micro-mobilités et les services de libre-partage. Il semble que c'est dans la pluralité des alternatives à proposer à la voiture individuelle que se trouve la clé de la transition de la mobilité urbaine. Pour répondre aux objectifs fixés, deux grands axes d'intervention se dégagent ; celui de l'utilisation des moyens de transport et celui de l'innovation technologique. La mobilité partagée et plus particulièrement le Product service system bouleverse la vision classique de véhicules individuels et est de plus en plus utilisée comme modèle de mobilité durable. Cependant, l'avantage en termes d'impacts environnementaux de la mobilité partagée est régi par la gestion effective qui en est faite. La gestion des opérateurs proposant des services de libre-partage a en effet des conséquences sur la durée de vie des véhicules et sur les coûts environnementaux liés à la distribution, à la recharge et à la maintenance. Concernant l'innovation technologique, celle-ci se concentre principalement autour des moteurs électriques. Les études comparant les bilans environnementaux des véhicules électriques et des véhicules thermiques sont encourageantes, mais non sans conditions. Il semble en effet que le mode de production électrique ait un impact crucial, ainsi que la phase de fabrication de l'engin, spécialement de sa batterie.

Le scooter électrique en libre-partage présente un intérêt particulier dans ce contexte puisqu'il présente une association de ces deux axes de transition ; il emprunte les principes de mobilité partagée

et la technologie des moteurs électriques. Cependant, bien que, sur le papier, l'arrivée de ce mode de transport sur le marché bruxellois semble prometteur, il apparaît nécessaire de faire preuve de vigilance. Premièrement, comme développé ci-dessus, la mobilité partagée et les moteurs électriques doivent remplir certaines conditions afin d'effectivement présenter un avantage durable sur leurs concurrents. Deuxièmement, l'étude des trottinettes électriques en libre-service à Bruxelles n'a pu conclure à un actuel bénéfice sur les moyens de transport qu'elles remplacent. Cela souligne également l'importance, quand une analyse des impacts environnementaux est menée, d'englober un maximum de données propres à la situation de l'objet d'étude.

De ce fait, les résultats d'une analyse environnementale sont difficilement transposables à un objet d'étude différent ou au même objet d'étude dans un contexte différent. Il est donc nécessaire de procéder au bilan environnemental des scooters électriques en libre-service à Bruxelles en utilisant les données propres à sa mise en œuvre effective. C'est seulement à cette condition qu'il sera possible de conclure à un avantage environnemental ou non de ce moyen de transport. L'objectif de ce mémoire est ainsi de procéder à cette étude de cas afin de permettre une comparaison avec les autres moyens de transports présents dans la capitale et d'informer la prise de décision.

La méthode de l'analyse du cycle de vie a été choisie pour mener à bien cette étude. Cette méthode robuste et largement acceptée permet d'évaluer de manière multicritère et normalisée les impacts environnementaux d'un objet/service au cours de l'entièreté des phases de sa vie.

Différentes émissions associées au moyen de transport étudié seront donc calculées. Afin de contextualiser les résultats et permettre une comparaison, les résultats du mémoire, complémentaire, de Lucas Pochet, qui a évalué l'usage des scooters électriques en libre-partage, seront intégrés. L'intérêt principal de cette collaboration revient au report modal qui a été étudié dans ce cadre. Grâce aux données relatives au report modal, il sera possible de comparer l'impact environnemental du moyen de transport étudié avec les impacts qui auraient été générés si celui-ci n'existait pas. C'est cette comparaison qui permettra une prise de décision quant au possible avantage en termes d'émissions sur l'environnement du scooter électrique en libre-service à Bruxelles. Ces indications pourront éventuellement appuyer la promotion de ce mode de transport et guider les utilisateurs soucieux de l'impact de leurs déplacements. De plus, l'analyse du cycle de vie permet de souligner les phases les plus impactantes. Elle permettra donc d'aiguiller les interventions en vue de réduire les coûts environnementaux. Une analyse de sensibilité posera les conditions d'un avantage écologique sur le report modal alors qu'une analyse de scénarios permettra d'envisager une meilleure gestion des opérateurs.

Méthode

SimaPro et EcoInvent

Comme précédemment introduit, l'étude au cœur de ce mémoire consiste en l'analyse de cycle de vie du scooter électrique en libre-partage à Bruxelles. La méthode de calcul d'une analyse de cycle de vie consiste à inventorier tous les intrants et les extrants des différentes phases, à relier ces intrants et extrants à des émissions de substances et enfin à relier les émissions aux impacts environnementaux. Le programme SimaPro (56) est devenu un outil indispensable pour mener une telle analyse. Ce programme, développé il y a une trentaine d'années, permet d'analyser efficacement un cycle de vie et offre différents outils de communication des résultats. Une force majeure de ce programme est qu'il intègre différentes bases de données mises à jour régulièrement. Parmi celles-ci, la base de données EcoInvent (57) fait office de référence. Cette base de données fournit des données sur les processus de milliers de produits et permet ainsi un choix éclairé sur leurs impacts environnementaux.

Par conséquent, et sans dilemme aucun, le programme SimaPro version 9.0.0.49 (56) muni de la base de données EcoInvent 3.5 (57) ont été choisis pour réaliser ce mémoire.

Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle choisie est un kilomètre parcouru par une personne. Cette unité permet de comparer différents moyens de transport. En effet, les différents moyens de transport affichent des kilométrages d'espérance de vie bien différentes. Le fait de ramener cette unité à un kilomètre parcouru permet d'apprécier les différences d'impacts sur une unité commune. Cette unité permet également de mettre en lumière l'importance de la gestion sur le bilan environnemental des différents véhicules.

Limites du système

Le système modélisé, illustré par la figure 1, comprend tous les matériaux et les composants du scooter électrique, la phase de manufacture, le transport jusqu'à Bruxelles, la phase de distribution qui inclut les différentes phases liées à la gestion des opérateurs tels que la recharge, la collecte et le changement des batteries des scooters et la collecte et le déploiement des scooters pour la maintenance et enfin la phase d'usage. Pour l'instant, du fait qu'ils aient été mis récemment sur le marché, les scooters électriques en libre-partage ne subissent pas encore de traitement de fin de vie. En effet, dans le système actuel, les scooters qui sont hors service sont stockés dans l'entrepôt de la société. Les mécaniciens démontent les e-scooters en fin de vie et utilisent les pièces en bon état pour réparer les autres scooters. De ce fait, il y a actuellement très peu de déchets à traiter, mais plutôt la constitution d'un stock de pièces

détachées. Étant donné qu'aucun traitement de fin de vie n'a été effectué jusqu'à présent, cette phase est exclue des limites du système.

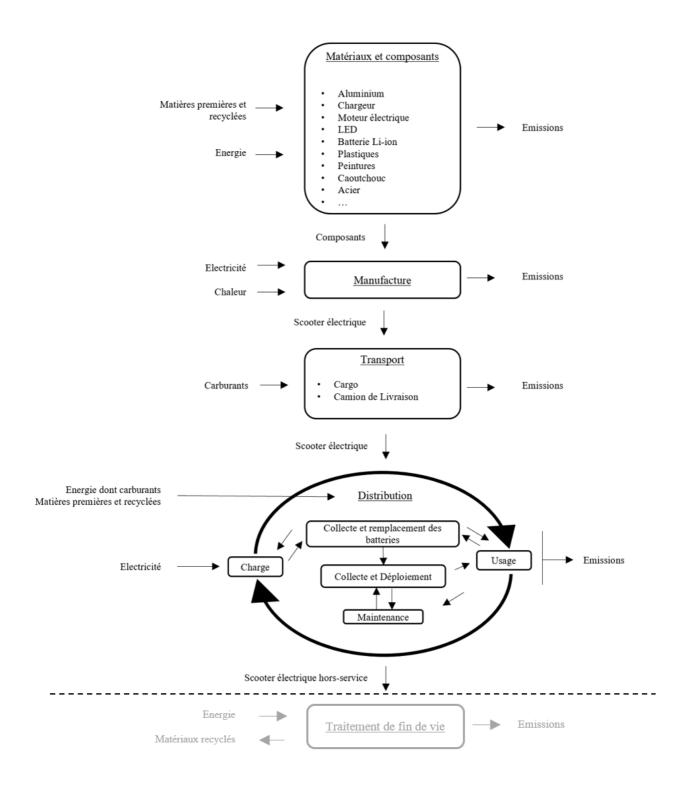


Figure 1 : Limites du système des scooters électriques en libre-partage à Bruxelles

Approche

Les études ACV sont généralement classées en deux grandes familles dans la littérature : l'approche attributionnelle (ou d'allocation) et l'approche conséquentielle qui permettent de répondre à différents objectifs (58). L'approche attributionnelle cherche à allouer une part de responsabilité à un système donné alors que l'approche conséquentielle cherche à modéliser les conséquences environnementales d'une décision sur l'entièreté des systèmes (59).

La méthode Cut-off, appartenant à l'approche attributionnelle, a été choisie pour cette ACV. Selon EcoInvent, « La philosophie sous-jacente de cette approche est que la production primaire des matériaux est toujours attribuée à l'utilisateur principal d'un matériau. Si un matériau est recyclé, le producteur primaire ne reçoit aucun crédit pour la fourniture de matériaux recyclables. En conséquence, les matériaux recyclables sont disponibles sans que les processus de recyclage ne soient soumis à des contraintes, et les matériaux secondaires (recyclés) ne supportent que les impacts des processus de recyclage. Par exemple, le papier recyclé ne supporte que les impacts de la collecte des déchets de papier et du processus de recyclage qui consiste à transformer les déchets de papier en papier recyclé. Il est exempt de toute charge liée aux activités forestières et au traitement requis pour la production primaire du papier. » (60).

En d'autres mots, c'est une approche dans laquelle un système qui produit des matériaux qui seront recyclés n'en tire aucun crédit ; le producteur est entièrement responsable des déchets qu'il produit. Ce choix est en partie motivé par le fait que la composition exacte des matériaux utilisés dans les scooters électriques n'est pas connue. En effet, la compagnie Niu n'a pas souhaité participer à ce mémoire. Par conséquent, l'origine exacte et la proportion de matière recyclée des matériaux utilisés dans la fabrication du scooter ont été estimés grâce aux valeurs de marché de la base de données EcoInvent. De plus, le traitement de fin de la vie du scooter n'est pas encore mis en place, ce qui justifie le choix de l'approche attributionnelle Cut-off.

Méthode et choix des impacts environnementaux

La méthode de calcul d'impact ReCiPe 2016 (61) a été choisie, et plus précisément la perspective hiérarchisée. Ce choix est fondé sur le consensus scientifique entourant cette méthode, considérée comme le modèle par défaut.

Il y a deux façons principales de dériver les facteurs de caractérisation des impacts d'émissions en catégories d'impacts : à mi-parcours (midpoint) ou à la finalité (endpoint). Les facteurs de caractérisation au niveau du mi-parcours sont situés quelque part le long de la voie d'impact, généralement au point après lequel le mécanisme environnemental est identique pour toutes les émissions environnementales attribuées à cette catégorie d'impact (62). Les catégories d'impacts de mi-parcours englobent donc différents flux d'émissions partageant les mêmes mécanismes

environnementaux, ramenés sur une unité commune. Elles comprennent, par exemple, le réchauffement climatique, la formation d'ozone, la consommation d'eau ou l'acidification des sols. Les facteurs de caractérisation au niveau du point final correspondent à trois domaines de protection, à savoir la santé humaine, la qualité de l'écosystème et la rareté des ressources. Les deux approches sont complémentaires dans la mesure où la caractérisation au niveau du mi-parcours a une relation plus forte avec les débits des flux sortants réels et une incertitude relativement faible, tandis que la caractérisation au niveau de la finalité fournit de meilleures informations sur la pertinence environnementale des impacts mais est également plus incertaine que la caractérisation des facteurs à mi-parcours (63).

Dans le cadre de notre étude, la catégorisation des impacts à mi-parcours a été préférée. Celleci paraît moins abstraite et permet d'éviter une perte d'informations pertinentes. Parmi les 18 catégories d'impacts calculées au niveau du point médian figurent le changement climatique, la formation de particules fines, la rareté des ressources minérales et la rareté des ressources fossiles. Celles-ci ont été sélectionnées puisque le secteur du transport impacte principalement l'environnement de part ces catégories d'impact (7).

La catégorie du changement climatique englobe les différentes émissions de gaz à effet de serre. Bien que les temps atmosphériques et l'effet de serre de ces gaz sont différentes, une conversion permet d'utiliser la même unité d'impact : le kg de CO2 équivalent. La formation de particules fines désigne quant à elle les émissions de particules fines d'un diamètre inférieur à 2,5 µm (PM2.5) et représente un mélange complexe de substances de composés organiques et inorganiques. L'unité est 1 kg de PM2.5 équivalent. La rareté des ressources minérales et des ressources fossiles fait référence à l'observation que la Terre est un système fermé. L'utilisation de ressources minérales ou fossiles aujourd'hui limite donc l'utilisation future des mêmes ressources. L'unité de la rareté des ressources minérales est le kg de cuivre équivalent alors que l'unité de la rareté des ressources fossiles est le kg de pétrole équivalent (61).

Collecte des données

Les données utilisées pour réaliser ce mémoire proviennent principalement de trois sources. Comme précédemment avancé, la marque Niu n'a pas souhaité collaborer. La marque est cotée en bourse et ne pouvait donc divulguer des informations précises quant aux composants et à la manufacture de leurs scooters électriques. P. Kerdlap et S. Gheewala ont accepté de partager les données qu'ils ont utilisées dans leur article de 2016, précédemment introduit, « Electric motorcycles in Thailand: A life cycle perspective. » (50). Des données relatives aux matériaux et à la production du scooter électrique à batterie Li-ion y avait déjà été modélisées et ont été d'une grande utilité à ce mémoire. La troisième source provient d'une interview, en vidéo conférence, avec le manager des opérations d'une des sociétés de scooters électriques en libre-partage à Bruxelles. Cette interview a permis de collecter des données essentielles pour la phase de distribution.

Phases matériaux et production

Face au refus de collaboration de Niu et à l'impossibilité d'obtenir un scooter à démonter, les données correspondantes aux phases de matériel et de la production du scooter ont été estimées de façon la plus précise possible. Pour ce faire, les données disponibles sur le site du constructeur concernant le poids du modèle NQi (64) et de sa batterie ont été utilisées. Les données de l'article de Kerdlap et Cheewala (2016) (50), qui ont modélisé un modèle de scooter standard (sur base d'un nombre important de modèles) auquel ils ont ajouté les particularités de chaque type de moteur comparé, a ensuite été utilisé. Les proportions de poids entre trois parties principales d'un scooter ont été utilisées avec les données du constructeur disponible sur le site de Niu.

Ainsi, le scooter Niu NQi (64) pèse 98 kg (chargeur compris) plus 20 kg de batteries Li-ion (2 batteries de 10kg, information provenant de l'interview avec un opérateur). Parmi ces 98 kg, et à l'aide des proportions du scooter modélisé par Kerdlap et Gheewala (2016) (50), 85,41 kg sont associés au « Glider », correspondant au corps du scooter et 12,59 Kg au « Powertrain », qui comprend le guidon (« controller »), le moteur électrique et le chargeur.

Les données relatives aux composants et à la fabrication de la batterie Li-ion, du Glider et du Powertrain d'un scooter électrique sont répertoriées dans la base de données EcoInvent (57), ce qui a donc permis de modéliser notre scooter. Une dernière étape a été de séparer les données liées aux matériaux et celles liées à la production en deux processus distincts afin d'observer les impacts respectifs de ces deux phases.

Phase de transport

L'usine Niu est située Changzou (65), en Chine. La livraison des scooters se fait par bateau jusque Anvers, puis en camion jusque Bruxelles. Le bateau parcourt 22053 km tandis que le camion parcourt seulement 60 km (66). Le calcul de la phase de transport utilise l'unité de la tonne au km (tkm). Le poids total du scooter est de 118 kg ce qui correspond à 2602,254 tkm en bateau et 7,08 tkm en camion.

Phase de charge

Le site de la marque Niu (64) nous renseigne sur la capacité de la batterie et la puissance du scooter. Celles-ci sont de 29Ah et de 60v, ce qui correspond à 1,74kWh. De plus, l'autonomie est approximativement de 70 km, donnée du site, confirmée lors de l'interview avec l'opérateur. Un km parcouru par un scooter de ce modèle consommerait donc 0,02486 kWh d'électricité. L'électricité utilisée est un mix de production d'électricité propre à la Belgique puisque l'opérateur expliquait que l'électricité utilisée pour les recharges des batteries provenait du réseau bruxellois sans attention particulière aux provenances renouvelables.

Phases de distribution

Les phases de distribution comprennent la collecte et le changement des batteries, la collecte et le déploiement des scooters et la maintenance. Les données utilisées pour ces phases proviennent presque exclusivement de l'entretien avec l'opérateur (retranscription en annexe). Les scooters contiennent une batterie à la fois, celle-ci est amovible et permet de changer la batterie déchargée par une batterie chargée (deux batteries sont prévues pour chaque scooter) sans déplacer le scooter. Selon lui, une voiture chargée des changements des batteries roule, grâce à une logistique par quartier, seulement 20 km par jours. Les installations dans le centre de recharge situé à Tour et Taxi permettent de recharger jusqu'à 50 batteries à la fois.

La phase de collecte et déploiement des scooters se fait en camionnette utilitaire, capable de transporter jusqu'à deux scooters à la fois. Le déploiement et la collecte des scooters se fait quand l'application alerte qu'un scooter n'a pas bougé depuis quatre jours. Selon l'opérateur, ceci arrive quand le scooter est endommagé, ou qu'il se situe dans une mauvaise zone de service. De plus, certaines zones d'activités sont qualifiées d'à risques ou de zone à faible passage. Les scooters garés dans ces zones sont alors déplacés vers des zones de grands passages et de grandes demandes. Cette camionnette fait approximativement 100 km par jours.

La phase de maintenance est modélisée grâce à la bibliothèque EcoInvent 3 (57). Elle comprend les pièces de remplacement ainsi que l'énergie nécessaire à la maintenance du scooter électrique. Puisque la voiture et la camionnette parcourent ces distances tous les jours pour les 200 trottinettes, les impacts liés à cette phase sont divisés par 200 et par le nombre de kilomètres parcourus par une trottinette par jour.

Hypothèses

La durée de vie d'un moyen de transport est surtout définie par le nombre de kilomètre total qu'il aura parcouru au cours de sa vie et a une importance centrale dans son bilan environnemental. En effet, au plus de kilomètres sont parcourus, au moins la masse produite par kilomètre est grande, puisque l'unité d'impact est le km parcouru. Pour rappel, c'est l'un des principes fondateurs de la durabilité de la mobilité partagée; l'intensification de l'usage des véhicules.

D'après l'opérateur, les scooters rouleraient en moyenne 50 km par jour chacun. L'opérateur éprouvait cependant des difficultés à estimer la durée de vie des scooters tant le service était nouveau. D'après lui, sur les 400 scooters que la société possède à Bruxelles et Anvers, seulement 4 ont été mis hors service en 1 an.

Observations du nombre de kilomètres parcourus par jour

Cette estimation du nombre de kilomètre par jour semblait très optimiste. Nous avons donc réalisé une petite observation (résultats en annexe) d'une journée afin de vérifier l'exactitude de cette estimation. En observant les déplacements de 20 scooters sur une zone grâce à l'application de l'opérateur durant une journée de semaine, il s'est avéré que seulement 11 scooters avaient été déplacés. Parmi ces 11 scooters, 3 ont été retrouvés sur la zone et, d'après l'autonomie restante de la batterie, avaient parcouru respectivement, 2, 5,5 et 5,5 km. Toutefois, comme il sera débattu plus amplement lors de la discussion, cette observation a été conduite en période de Covid-19 et ne peut donc être qu'indicative.

Nous avons également relevé le compteur kilomètrique d'une dizaine de scooters de la compagnie concurrente (résultats en annexe), présente sur le marché bruxellois depuis fin juin 2019 (depuis environ 510 jours au moment du relevé des compteurs). Les scooters avaient parcouru en moyenne 2377 km, ce qui représente une moyenne de distance journalière de 4,6 km. Cependant, ici encore deux confinements dus à la pandémie du Covid-19 ont eu lieu durant cette période. Ces données ne reflètent donc en aucun cas la situation normale d'activité.

Les résultats des deux observations ne permettent pas d'estimer le nombre de kilomètres par jour mais bien de remettre en cause la valeur annoncée par l'opérateur de 50 km/jours et donc, d'envisager deux autres hypothèses.

Hypothèse 1:

Dans cette hypothèse, le nombre de kilomètres parcourus par jour annoncé par l'opérateur est respecté. Concernant la durée de vie du scooter, celle-ci correspond à la garantie du constructeur Niu qui est de deux ans. Ainsi, au cours de sa vie le scooter parcourt 36500 km.

Hypothèse 2:

Cette hypothèse est encore plus optimiste. Ici, le nombre de kilomètres de la durée de vie du scooter est déterminé par le nombre de cycles de charge de la batterie, tel qu'annoncé par le constructeur. Le nombre de cycles de charge est utilisé pour estimer la durée d'une batterie et détermine le nombre de fois qu'une batterie peut être chargée de 0 à 100 % avant d'être hors d'usage. Il est à noter que, par exemple, charger deux fois la batterie de 50 à 100 % correspond à un seul cycle de charge de la batterie.

La marque Niu prévoit que les batteries de leurs scooters soient capables d'exécuter 600 cycles de recharges. Avec une autonomie de 70 km, la batterie permettrait donc de parcourir 42000 km avant de devoir être remplacée. En gardant les 50 km/jour annoncés par l'opérateur, le scooter devrait ainsi rester en service pendant 2 ans et un peu moins de 3 mois.

Cette hypothèse est envisagée également suite à un échange avec un stagiaire de la première société de scooters électriques en libre-partage (qui a arrêté son activité lors du premier confinement). Ce stagiaire rapportait une grande robustesse des scooters et a observé peu de scooters hors d'usage et très peu de vandalisme lors de son stage. Selon lui, les scooters étaient tout à fait adaptés à rester dans la rue plusieurs années, au moins trois ans.

Hypothèse 3:

La troisième et dernière hypothèse envisagée est la plus pessimiste. Elle fait directement suite aux observations observées. D'après la conversation avec le stagiaire, en temps normal les scooters roulaient environ 20 km par jour. Cette estimation a été utilisée avec la même durée de vie que l'hypothèse 1 (2 ans correspondant à la garantie), afin de pouvoir comparer ce changement de fréquence d'utilisation. Ainsi l'espérance de vie du scooter serait dans cette hypothèse de 14600 km.

Données de comparaison

Comparaison avec d'autres moyens de transport

Report modal

L'enquête du mémoire complémentaire (2), mené par Lucas Pochet, permet d'établir comment les utilisateurs des scooters-électriques auraient effectué le même trajet si ce moyen de transport n'était pas disponible. Ainsi, 32.7% de ce trajet auraient été réalisés par la marche, 4.1% en voiture, 9.6% à vélo, 47.1% en transport en commun, 4.5% en une autre mobilité partagée électrique et 1.9% de micromobilité. Afin d'estimer les impacts environnementaux des moyens de transports remplacés par l'utilisation du scooter électrique, ces proportions ont été ramenées sur un kilomètre. La marche est considérée comme non-impactante et n'est donc pas reprise dans cette analyse. De cette manière, sur les 673 m restants, 41 m sont parcourus en voiture, 96 à vélo, 471 en transport en commun, et ainsi de suite.

Pour modéliser les transports en commun, l'enquête de Bruxelles-mobilité sur les trottinettes électriques en libre-partage a été utilisée (55). En utilisant les mêmes proportions que cette étude, parmi les 471 m parcourus en transport en commun, 122,4 le sont en bus, 150,7 en tram et 197,8 en métro ou train.

Les autres mobilités partagées électriques correspondent au vélo électrique et à la voiture électrique en libre-partage. En l'absence de précision quant à la proportion respective de ces deux moyens de transport, les 45 m ont été divisés en distances égales.

Les 19 m correspondant à la micromobilité sont parcourus en trottinette électrique privée.

Transports en commun

Les données de la comparaison avec un trajet effectué en transports en commun sont les mêmes que celles utilisées pour le report modal mais sur une distance de 1 km.

Voiture

Les données du trajet de 1 km d'une voiture proviennent de EcoInvent 3 [56]. Ce trajet correspond au trajet d'une voiture Euro 4, et comprend un mix de voitures de tailles et de carburants différents en fonction de leurs proportions sur les routes européennes. Ce transport comprend les matériaux, la manufacture, la consommation énergétique, la maintenance. Ces mêmes données sont utilisées lors du calcul du report modal.

Trottinette électrique en libre-partage

Les données de Moreau et al. (2016) (7) ont été utilisées à titre de comparaison avec un autre service de mobilité partagée dans le contexte bruxellois.

Scooter à combustion privé

Ici aussi, les données proviennent de EcoInvent 3 (57). Le trajet de 1 km d'un scooter thermique réfère à un mix d'engins à deux et quatre temps avec un moteur de 50cc, une espérance de vie de 50000 km et une consommation de 3,5L/100km. Ce trajet comprend les matériaux, la manufacture, la consommation énergétique, la maintenance.

Scooter électrique privé

Les données correspondant à la deuxième hypothèse ont ici été utilisées. En effet, en principe, un scooter privé dont le propriétaire prend soin est capable d'effectuer le nombre de cycles de charge prévus de la batterie avant que le scooter ne soit en fin de vie. La grande différence avec l'hypothèse 2 est que, dans le cas d'un scooter privé, les impacts liés à la gestion (collecte et changement des batteries, collecte et déploiement des scooters) n'interviennent pas.

Scénarios de gestion

Électricité verte

Le but dans ce scénario est d'observer l'impact d'une utilisation d'énergie renouvelable. L'électricité nécessaire aux recharges ne proviendrait plus du réseau bruxellois, mix de sources différentes, mais de panneaux photovoltaïques.

Collecte et changement des batteries en vélo électrique

Ce scénario est envisagé car une société de vélos électriques en libre-partage bruxelloise a fait le pari d'utiliser des vélos électriques munis d'un bac contenant des batteries à l'avant pour procéder aux changements de batteries. Dans ce scénario, un vélo de ce type exécute les changements de batterie au lieu de la voiture. Le poids transporté et la distance parcourue sont identiques.

Gestion optimale

La gestion optimale désigne un mix des autres scénarios. Dans ce scénario, la collecte et le changement des batteries se fait à vélo électrique, la charge avec de l'énergie renouvelable et la camionnette de réparation effectue 50% moins (50km) de distance par jour.

Présentation et discussion des résultats

Dans cette partie, seront exposés les résultats des différentes analyses qui ont été conduites. Ces résultats sont ensuite directement interprétés et discutés.

Une première partie exposera les impacts calculés pour chaque hypothèse, associés respectivement à un graphe représentant les proportions d'impacts par phase. Il sera alors possible de comparer les impacts des différentes hypothèses ainsi que la proportion des impacts engendrés par les phases. Ainsi, les phases les plus impactantes pourront être identifiées. Les mécanismes sous-tendant ces observations seront discutés.

Une deuxième partie décomposera les impacts des phases de matériel et de production du scooter électrique tel qu'il a été modélisé dans les trois hypothèses afin d'identifier les impacts respectifs des trois parties composant le scooter électrique. Cette analyse est menée, en grande partie, pour observer, comme l'ont fait les études précédentes, si la batterie présente une part importante des impacts.

Dans la troisième partie, les impacts des différentes hypothèses du scooter électrique en librepartage seront comparés aux impacts d'autres moyens de transport disponibles à Bruxelles. Les résultats de la première analyse, seuls, ne permettent pas de conclure à un avantage en termes de bilan environnementaux. En effet, seule une comparaison avec d'autres moyens de transport le permet, et plus particulièrement la comparaison avec le report modal.

La quatrième partie consistera en une analyse de sensibilité permettant d'établir à partir de combien de kilomètres de durée de vie le scooter électrique en libre-partage présente un avantage sur le report modal. Les conditions pour atteindre ce kilométrage ainsi que la plausibilité de ces dernières seront discutées.

Une dernière partie se consacrera à l'exposition de résultats quand des scénarios alternatifs de gestion sont envisagés. Il sera possible alors de donner des pistes de remaniements de la gestion qui s'offrent aux opérateurs en vue de diminuer l'impact du service qu'ils proposent. Ici aussi, la plausibilité et la pragmatique de telles mises en œuvre de gestion seront commentées.

Dans la section suivante, Discussion générale et limites du mémoire, les résultats et indications principaux seront résumés, avant une ouverture plus générale sur les défis que nous posera la mobilité de demain. Les limites et difficultés rencontrés au cours du mémoire seront ensuite évoquées.

Impacts environnementaux du scooter électrique en libre-service à Bruxelles

Hypothèse 1

<u>Tableau 1</u>: Résultats de l'analyse d'impact de l'utilisation d'un scooter électrique en libre partage à Bruxelles selon la première hypothèse, pour les quatre catégories d'impacts analysées et par passager-kilomètre (p-km-1). Calculé avec SimaPro 9.

Catégories d'impacts	Total	Matériaux	Manufacture	Transport	Distribution	Charge	Maintenance
Réchauffement climatique (kg CO2-eq.*p·km-1)	0,036	0,017	0,002	8,3 x 10 ⁻⁴	0,004	0,007	0,005
Formation de particules fines (kg PM2.5 eg.*p·km-1)	8,02 x 10 ⁻⁵	5,53 x 10 ⁻⁵	4,06 x 10 ⁻⁶	4,45 x 10 ⁻⁶	5,8 x 10 ⁻⁶	5,12 x 10 ⁻⁶	5,50 x 10 ⁻⁶
Epuisement des ressources minérales (kg Cu ea.*p·km-1)	6,15 x 10 ⁻⁴	5,5 x 10 ⁻⁴	7,88 x 10 ⁻⁶	1,01 x 10 ⁻⁶	1,37 x 10 ⁻⁵	1,98 x 10 ⁻⁵	2,29 x 10 ⁻⁵
Epuisement des ressources fossiles (kg oil eq.*p'km-1)	1,06 x 10 ⁻²	5,12 x 10 ⁻³	5,60 x 10 ⁻⁴	2,63 x 10 ⁻⁴	1,27 x 10 ⁻³	1,78 x 10 ⁻³	1,64 x 10 ⁻³

L'analyse d'impacts du scooter électrique en libre-partage à Bruxelles selon l'hypothèse 1, pour les quatre catégories sélectionnées permet d'estimer qu'un kilomètre parcouru par un passager émet 36 grammes de CO2 eq., forme 0,08g de particules fines (PM2,5 eq.), et est responsable de 0,615g de Cu eq. dépuisement de ressources minérales et de 10,6g de pétrole eq. d'épuisement des ressources fossiles. Pour rappel, la première hypothèse se focalisait sur une distance journalière de 50 km pendant deux ans, donc 36500km d'espérance de vie.

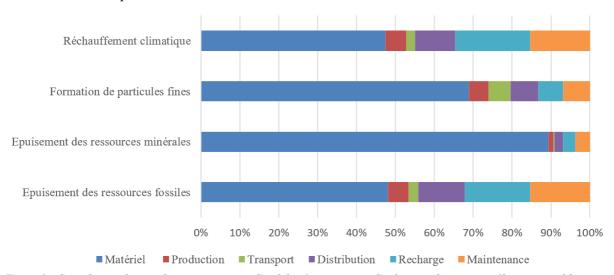


Figure 2 : Contribution des six phases aux impacts d'un kilomètre-passager d'utilisation d'un scooter électrique en librepartage à Bruxelles pour les quatre catégories d'impacts analysées selon la première hypothèse.

La phase de cycle de vie qui a le plus d'impact est la phase des matériaux. Cette phase est, sans surprise, responsable de près de 90% de l'épuisement des ressources minérales attribué au scooter électrique en libre-partage. Cette phase est également responsable de 47% de l'impact sur le

réchauffement climatique, 66% de la formation de particules fines et 46% de l'épuisement des ressources fossiles. Cette contribution considérable de la phase des matériaux est due en grande partie à l'extraction et au traitement des minéraux. La composition estimée du scooter électrique est disponible en annexe et sera discutée plus amplement dans la discussion générale.

La phase de recharge a également un grand impact sur le réchauffement climatique (15%) et sur l'épuisement des ressources fossiles (17%). Cette observation est certainement étroitement liée à la provenance de l'électricité utilisée lors des recharges. Pour rappel, la recharge utilise un mix d'énergie à des proportions représentative de la Belgique, dont 30,3% de l'électricité provient de centrales à combustion fossile.

Hypothèse 2

<u>Tableau 2:</u> Résultats de l'analyse d'impact de l'utilisation d'un scooter électrique en libre partage à Bruxelles selon la deuxième hypothèse, pour les quatre catégories d'impacts analysées et par passager-kilomètre (p-km-1). Calculé avec SimaPro 9.

Catégories d'impacts	Total	Matériaux	Manufacture	Transport	Distribution	Charge	Maintenance
Réchauffement climatique (kg CO2-eq.*p·km-1)	0,033	0,015	0,0017	7,2 x 10 ⁻⁴	0,004	0,007	0,005
Formation de particules fines (kg PM2.5 <u>eq</u> .*p·km-1)	7,11 x 10 ⁻⁵	4,8 x 10 ⁻⁵	3,53 x 10 ⁻⁶	3,87 x 10 ⁻⁶	5,8 x 10 ⁻⁶	5,12 x 10 ⁻⁶	4,78 x 10 ⁻⁶
Epuisement des ressources minérales (kg Cu <u>eq</u> .*p·km-1)	5,39 x 10 ⁻⁴	4,78 x 10 ⁻⁴	6,85 x 10 ⁻⁶	8,81 x 10 ⁻⁷	1,37 x 10 ⁻⁵	1,98 x 10 ⁻⁵	1,99 x 10 ⁻⁵
Epuisement des ressources fossiles (kg oil eq.*p'km^1)	9,64 x 10 ⁻³	4,45 x 10 ⁻³	4,87 x 10 ⁻⁴	2,29 x 10 ⁻⁴	1,27 x 10 ⁻³	1,78 x 10 ⁻³	1,42 x 10 ⁻³

Les résultats de la deuxième hypothèse sont plus avantageux. Cette hypothèse est consacrée au scooter électrique qui parcourrait le nombre maximum de km que permet la batterie, à savoir 42000 km, ce qui représente 50km/jour pendant près de 2 ans et 3 mois. En prenant en compte cette durée de vie, l'impact sur le réchauffement climatique au km descend à 33g par km. Ceci est en grande partie dû au fait que les phases matériaux, manufacture et transport sont des phases ponctuelles, fixes. En effet, les impacts de ces trois phases sont identiques dans les trois hypothèses car le même modèle de scooter est modélisé dans chaque hypothèse. Les impacts attribués à ces phases sont comptabilisés une seule fois, avant la mise en usage du véhicule. Par conséquent, et puisque les analyses se focalisent sur l'unité du kilomètre parcouru par passager, au plus le scooter électrique parcourt de km au cours de sa vie, au plus ces impacts fixes sont réduits (puisque divisés par le nombre total de km parcourus). Ceci est vrai pour le réchauffement climatique mais également pour les trois autres catégories. Ainsi, la formation de particules fines diminue à 0,07g (-0,0091g pa rapport à l'hypothèse 1) de PM2.5 eq., l'épuisement des ressources minérales à 0,539g (-0,076g) de Cu eq., et l'épuisement des ressources fossiles à 9,6g (-1g) de pétrole eq..

Par ailleurs, il est observable que les résultats d'impacts des phases de distribution, de charge et de maintenance présentent exactement les mêmes valeurs que lors de la première hypothèse. La phase de distribution, par exemple, est une phase journalière car les véhicules chargés de la collecte et le changement des batteries et la collecte et le déploiement pour la maintenance exécutent les mêmes distances tous les jours. L'impact de cette phase est donc uniquement divisé par le nombre de km parcourus par jour (pas par le nombre de jours de services comme pour la phase matériaux, par exemple). Puisque le nombre de km journalier estimé dans l'hypothèse 1 et 2 sont identiques, les impacts liés à cette phase le sont aussi. Concernant la recharge, le modèle de scooter est identique dans les trois hypothèses, sa consommation au km l'est donc aussi.

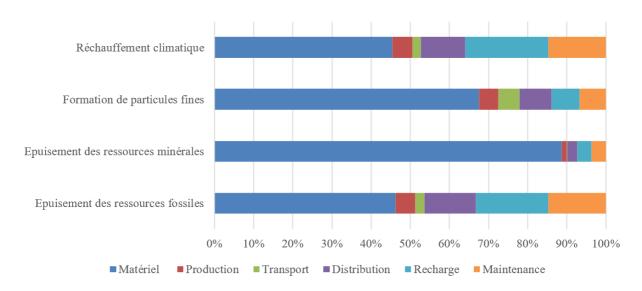


Figure 3: Contribution des six phases sur les impacts d'un kilomètre-passager d'utilisation d'un scooter électrique en libre-partage à Bruxelles pour les quatre catégories d'impact analysées selon la deuxième hypothèse.

Par conséquent, les proportions des impacts attribuables aux différentes phases reflètent les observations exposées ci-dessus . Ainsi, les impacts liés aux phases ponctuelles diminuent lorsque le nombre de km de durée de vie augmente. La phase matériaux, par exemple, représente dans cette hypothèse 45% des émissions de GES contre 47% dans l'hypothèse 1. A contrario, les phases journalières voient leurs responsabilités dans les impacts totaux générés augmenter. La phase de distribution est alors responsable, par exemple, de 15% (contre 12% dans l'hyp. 1) de l'épuisement des ressources fossiles attribué à un km parcouru par un scooter électrique en libre-partage à Bruxelles.

Hypothèse 3

<u>Tableau 3</u>: Résultats de l'analyse d'impact de l'utilisation d'un scooter électrique en libre partage à Bruxelles selon la troisième hypothèse, pour les quatre catégories d'impacts analysées et par passager-kilomètre (p-km-1). Calculé avec SimaPro 9

Catégories d'impacts	Total	Matériaux	Manufacture	Transport	Distribution	Charge	Maintenance
Réchauffement climatique (kg CO2-eq.*p·km-1)	0,08	0,043	0,005	0,002	0,009	0,007	0,014
Formation de particules fines (kg PM2.5 eq.*p·km-1)	1,93 x 10 ⁻⁴	1,38 x 10 ⁻⁴	1,02 x 10 ⁻⁵	1,11 x 10 ⁻⁵	1,45 x 10 ⁻⁵	5,12 x 10 ⁻⁶	1,38 x 10 ⁻⁵
Epuisement des ressources minérales (kg Cu <u>eq</u> .*p·km-1)	1,51 x 10 ⁻³	1,37 x 10 ⁻³	1,97 x 10 ⁻⁵	2,53 x 10 ⁻⁶	3,42 x 10 ⁻⁵	1,98 x 10 ⁻⁵	5,73 x 10 ⁻⁵
Epuisement des ressources fossiles (kg oil eq.*p'km-1)	2,39 x 10 ⁻²	1,28 x 10 ⁻²	1,40 x 10 ⁻³	6,58 x 10 ⁻⁴	3,18 x 10 ⁻³	1,78 x 10 ⁻³	4,10 x 10 ⁻³

Les résultats de l'analyse des impacts de l'hypothèse 3 appuient la même logique. Dans cette hypothèse, le scooter parcourt près du tiers du nombre de km de l'hypothèse 2. En effet, dans cette hypothèse, le scooter roule 20 km/jour pendant 2 ans et a donc un kilométrage de fin de vie de 14600 km. Ce large écart de km parcourus se reflète dans les résultats obtenus pour les quatre catégories d'impacts sélectionnés. Dans cette hypothèse, le scooter électrique est responsable de 80g de C02 eq. par km, 44g de plus que pour l'hypothèse 1. La formation de particules fines dont le scooter est responsable grimpe à 0,193g de PM2.5 eq. par km. L'épuisement des ressources minérales est alors de 1,51g de Cu eq, et l'épuisement des ressources fossiles est de 23,9g de pétrole par km.

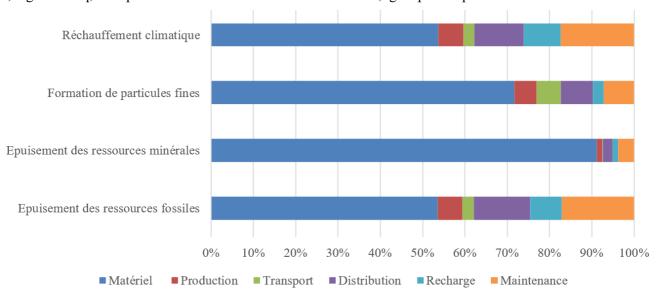


Figure 4:Contribution des six phases sur les impacts d'un kilomètre-passager d'utilisation d'un scooter électrique en librepartage à Bruxelles pour les quatre catégories d'impact analysées selon la troisième hypothèse.

La part de responsabilité des phases ponctuelles représente dans ce cas-là la très grande majorité des impacts attribués au scooter électrique. La phase matériaux par exemple représente 54% de l'émission de C02 attribué au scooter électrique (contre 47% dans le première hypothèse). Et ce, bien que les impacts liés à la distribution et à la maintenance aient augmenté. En effet, dans ce cas-ci, la fréquence d'utilisation est différente que dans les deux autres hypothèses. Le scooter parcourt moins de la moitié de km quotidiens dans l'hypothèse 3 que dans les hypothèses 1 et 2. Les impacts liés à la phase de distribution sont donc générés pour moins de la moitié de km journaliers également, ce qui permet d'observer que la phase de distribution passe de 1,27g de pétrole eq. d'épuisement de ressources fossiles dans les hypothèses 1 et 2 à 3,18g dans l'hypothèse 3.

Décomposition des phases matériaux et production

Phase matériaux

<u>Tableau 4</u>: Résultats de l'analyse d'impact de la phase matériaux des 3 grandes composantes du scooter électrique à sa fabrication pour les quatre catégories d'impacts analysées. Calculé avec SimaPro 9.

A '	112	ıpa	Oto
u	111	wa	LU LO

Réchauffement climatique (kg CO2-eq.*p·km-1)	355,33	168,38	108,89	632,60
Formation de particules fines (kg PM2.5 e.g., *p·km-1)	0,81	0,57	0,64	2,02
Epuisement des ressources minérales (kg Cu eg.*p·km-1)	8,23	4,51	7,32	20,06
Epuisement des ressources fossiles (kg oil eq.*p·km ⁻ 1)	110,32	44,92	31,71	186,96

Les données présentées ici ne sont pas dans l'unité du kilomètre parcouru par un passager mais représentent les coûts environnementaux totaux de la phase matériaux à la fabrication d'un scooter électrique tel qu'il a été modélisé. La phase matériaux émet au total 632,6 kg de CO2 eq., dont 355,33 kg d'émissions de GES est attribué au « Glider », le corps du scooter. Cette phase est également responsable de la formation de 2,02 kg de particules fines 2.5 eq., dont 567g sont attribués au « Powertrain », comprenant le moteur, le guidon et le chargeur. La batterie est responsable de 7,32 kg sur les 20,06 kg totaux de Cu eq. d'épuisement des ressources minérales attribué à la phase matériaux. La phase matériaux est également responsable de 186,96 kg de pétrole eq. d'épuisement des ressources fossiles dont 110,32 kg sont attribués aux matériaux constituant le corps du scooter. Pour rappel, ces impacts attribués à la phase matériaux sont générés lors de l'extraction et le traitement des ressources nécessaires à la formation des composants du scooter électrique.

Cette analyse a été menée pour vérifier les affirmations de l'étude introduite précédemment (42) selon laquelle la batterie est une composante très impactante. En effet, selon cette étude, la fabrication (comprenant les matériaux et la production) de la batterie et les impacts qui y sont liés conditionnent la durabilité des véhicules électriques. Il est à noter que ces études étaient menées sur des voitures électriques. Afin d'observer si les données du scooter électrique permettent d'aboutir à la même conclusion, il est nécessaire de comparer la proportion d'impacts liés à chaque composant, en Figure 5, avec leurs poids.

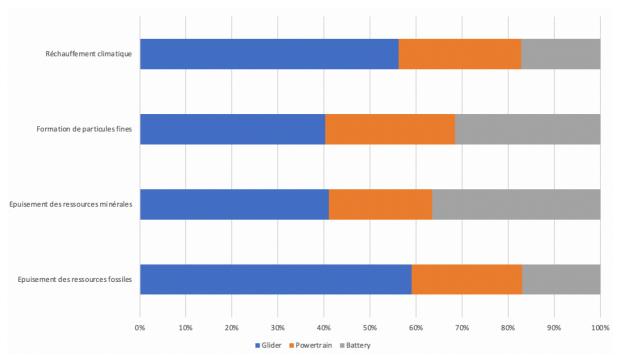


Figure 5 : Proportions de contribution des trois grandes composantes du scooter électrique sur les impacts de la phase matériaux de la fabrication d'un scooter électrique pour les quatre catégories d'impacts analysées.

Le poids total du scooter est de 118 kg dont 85,4 kg (72,5%) de Glider, 12,6 kg (10,5%) de Powertrain et 20 kg (17%) de batteries. Les proportions d'impacts des composants pour chaque catégorie devraient logiquement suivre les mêmes proportions que celles du poids. Dans le cas contraire, ceci nous indiquerait que la composante a un impact important dans la catégorie d'impact.

En se penchant sur les impacts liés à la batterie, ceux-ci représentent 17% de l'impact sur le réchauffement climatique, 31% de la formation de particules fines, 36% de l'épuisement des ressources minérales et 17% de l'épuisement des ressources fossiles. La batterie aurait donc un impact élevé dans l'épuisement des ressources fossiles et en formation de particules fines. La batterie n'est pas le seul composant du scooter électrique à présenter des impacts élevés. En effet, le powertrain représente 26% des émissions de GES, 28% de la formation de particules fines, 22% de l'épuisement des ressources minérales et 24% de l'épuisement des ressources fossiles.

Ces deux parties du scooter électrique sont composés par une grande quantité de métaux rares, ce qui explique les résultats. Ces résultats seront débattus et mis en lien avec la composition de ces parties (disponible en annexe) dans la section discussion générale.

Phase production

<u>Tableau 5</u>: Résultats de l'analyse d'impact de la phase production des 3 grandes composantes du scooter électrique à sa fabrication pour les quatre catégories d'impacts analysée. Calculé avec SimaPro 9.

Catégories d'impacts	« Glider »	« Powertrain »	Batterie Li-ion	TOTAL
Réchauffement climatique (kg CO2-eq.*p·km−1)	47,55	19,97	3,70	71,22
Formation de particules fines (kg PM2.5 eg.*p·km-1)	0,10	0,04	0,01	0,15
Epuisement des ressources minérales (kg Cu eg, *p·km-1)	0,23	0,01	0,05	0,29
Epuisement des ressources fossiles (kg oil eq.*p·km-1)	14,26	5,26	0,93	20,45

Les valeurs présentées ci-dessus représentent également les valeurs absolues des impacts liés à la production d'un scooter électrique. La production des deux batteries est responsable de seulement 5,2% des 71,22 kg de C02 eq. émis lors de cette phase. Les impacts dans les autres catégories sont eux aussi plus bas que ce que représente le poids de la batterie (16% de l'épuisement des ressources minérales, 5% des ressources fossiles et 6% de la formation de particules fines).

Les résultats de l'impact lié à la production et aux matériaux de la batterie ne corroborent donc pas l'étude précédemment introduite qui mettait en garde sur l'importance centrale de la batterie sur les impacts environnementaux d'un véhicule électrique. En effet, cette étude avait conclu que la fabrication de la batterie (matériaux et production) était responsable de près de 40% des impacts environnementaux du VE étudié. Les batteries du scooter ici modélisé ne représente que 16% de l'impact de la fabrication d'un scooter électrique sur le réchauffement climatique. L'impact le plus important des batteries se situent au niveau de l'épuisement des ressources minérales puisque la fabrication des batteries représente 36% des impacts liés à cette catégorie. Une grande différence avec l'étude présentée est le choix de véhicule étudié. Dans l'études menée la Fondation pour la Nature et l'Homme (42), le véhicule d'intérêt était la voiture électrique. Les batteries des voitures électriques actuelles pèsent plus de 250kg (42), contre 20kg pour le scooter électrique. Cette différence de poids est en partie dû à des poids de véhicules différents et à une utilisation complètement différente de ces deux moyens de transports. La voiture est faite pour faire de long trajet et nécessite donc une autonomie importante entre deux charges alors que le scooter est fait pour de petites trajets en milieu urbain.

Comparaison avec d'autres moyens de transport

<u>Tableau 6</u>: Résultats de l'analyse d'impact de l'utilisation de différents moyens de transport à Bruxelles, pour les quatre catégories d'impacts analysées et par passager-kilomètre (p-km-1). Calculé avec SimaPro 9

Catégories d'impacts	E-scooter 1	E-scooter 2	E-scooter 3	E-scooter privé	Report modal	Scooter thermique	Transports en commun	Voiture	Trottinette électrique libre- partage
Réchauffement climatique (kg CO2- eq.*p·km-1)	0,036	0,033	0,08	0,029	0,046	0,108	0,053	0,325	0,131
Formation de particules fines (kg PM2.5 eg.*p·km-1)	8,02 x 10 ⁻⁵	7,11 x 10 ⁻⁵	1,93 x 10 ⁻⁴	6,53 x 10 ⁻⁵	7,66 x 10 ⁻⁵	1,05 x 10 ⁻⁴	8,74 x 10 ⁻⁵	3,83 x 10 ⁻⁴	2,96 x 10 ⁻⁴
Epuisement des ressources minérales (kg Cu eg.*p·km-1)	6,15 x 10 ⁻⁴	5,39 x 10 ⁻⁴	1,51 x 10 ⁻³	5,25 x 10 ⁻⁴	2,7 x 10 ⁻⁴	2,27 x 10 ⁻⁴	2,18 x 10 ⁻⁴	1,796 x 10-3	1,97 x 10 ⁻³
Epuisement des ressources fossiles (kg oil eq.*p·km-1)	0,01	9,64 x 10 ⁻³	0,024	0,008	0,013	0,033	0,016	0,105	0,031

Sans grande surprise, la voiture fait figure de mauvais élève pour chacune des catégories d'impacts calculées. Par exemple, un kilomètre parcouru par une personne en voiture représente plus de six fois les émissions de GES émises lors du même trajet en transport en commun. Cette observation corrobore la situation actuelle bruxelloise qui pousse les dirigeants de la Région à délaisser la voiture au profit d'autres moyens de transports pour se déplacer au sein de la ville (1). Faut-il encore savoir quels moyens de transports privilégier, compte tenu du nombre importants d'alternative qui s'offre aux citoyens. Plusieurs moyens de transports ont été sélectionnés en plus du report modal, afin d'estimer leurs impacts environnementaux et de comparer ces résultats avec les trois hypothèses du scooter électrique en libre-partage.

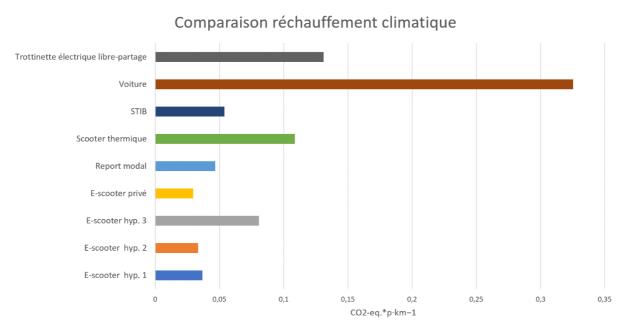


Figure 6 : Comparaison de l'impact de différents moyens de transport à Bruxelles sur le réchauffement climatique, en kg de CO2 eq. par kilomètre.

La comparaison de l'impact sur le réchauffement climatique du report modal et des différentes hypothèses montre premièrement que les hypothèses 1 et 2 (0,036 et 0,033 kg de CO2eq.) présentent des émissions plus faibles en gaz à effet de serres que le report modal (0,046 kg de CO2eq.). Ce n'est pas le cas pour l'hypothèse 3 (0,08 kg de CO2eq.). Le scooter électrique privé présente les impacts les plus faibles sur le réchauffement climatique. En effet, le scooter électrique privé émet 0,029 kg de CO2 eq. par km. Pour rappel, la seule différence entre la deuxième hypothèse et le scooter électrique privé est que les impacts liés à gestion de l'opérateur de location en libre-partage n'est pas comptabilisée pour le scooter privé. Il est ainsi possible d'apprécier la part de responsabilité de la gestion sur l'ensemble des impacts liés à leur service. L'analyse de scénarios permettra d'envisager des pistes afin de réduire ces impacts.

Une observation intéressante est que la trottinette électrique, qui émet 131g de CO2 eq. au km, et le scooter électrique de l'hyp. 3 ont un impact plus important que le scooter à combustion, 108g/km, sur le réchauffement climatique. Ces observations s'expliquent de la même façon. Le scooter électrique en libre-partage et la trottinette électrique en libre-partage sont tous deux des véhicules à moteur électriques. Comme il l'a été introduit, ces véhicules ont la particularité de ne pas émettre de CO2 eq. lors de leur utilisation. Les émissions sur le réchauffement climatique sont dues aux phases de fabrication et de transport ainsi qu'à la production d'électricité. Les émissions liées à ces phases sont importantes et dans le cas de la trottinette électrique en libre-partage ou du scooter électrique de l'hypothèse 3, ne sont pas rentabilisées par le nombre de km qui seront ensuite parcourus par les véhicules au cours de leur vies. Le scooter thermique qui, lui, émet du CO2 à l'utilisation à cause de la combustion de pétrole, a également un coût lié à la fabrication. Cependant, il rentabilise mieux ces coûts que la trottinette électrique ou que le scooter de l'hypothèse 3 puisqu'il est modélisé ici pour parcourir 50000km. C'est pourquoi le scooter de l'hypothèse 3, dont l'unique différence avec les autres hypothèses est un nombre de km parcourus au cours de sa vie bien moins important, n'est pas une meilleure option que le scooter thermique alors que les scooters de l'hyp. 1 et 2 le sont.

Ces résultats démontrent ici que les véhicules électriques ne présentent pas un avantage « vert » sur les véhicules thermiques per se. Une durée de vie minimale est nécessaire afin de présenter un tel avantage. Ce sera l'objet de l'analyse de sensibilité. Cette analyse se penchera sur le nombre de km minimal à parcourir pour que le scooter électrique en libre-partage à Bruxelles présente un avantage en termes d'émissions à GES sur le report modal (qui comprend la voiture et le bus à moteur à combustion).

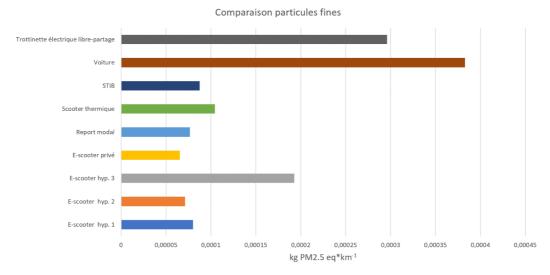


Figure 7 : Emissions de particules fines des différents moyens de transport à Bruxelles, en kg de PM2.5 eq. par kilomètre.

Seule la deuxième hypothèse (7,11 x 10⁻⁵ kg de PM2.5 eq.) présente un avantage sur le report modal (7,66 x 10⁻⁵ kg de PM2.5 eq.) en termes de formation de particules fines. Le scooter électrique privé rapporte les plus basses émissions dans cette catégorie d'impact également (6,53 x 10⁻⁵ kg de PM2.5 eq.). La trottinette électrique (2,96 x 10⁻⁴ kg de PM2.5 eq.) et le scooter de l'hyp.3 (1,93 x 10⁻⁴ kg de PM2.5 eq.) présentent des résultats élevés comparés aux autres moyens de transports dont les transports en commun (STIB, 8,74 x 10⁻⁵ kg de PM2.5 eq.) et le scooter thermique (1,05 x 10⁻⁴ kg de PM2.5 eq.). Les particules fines se forment entre autres lors de la combustion de ressources fossiles (67). La même logique que pour l'émission de GES permet d'expliquer pourquoi le scooter thermique est responsable de moins de formation de particules fines que ces deux moyens de transports électriques. La phase matériaux qui nécessite énormément d'énergie est responsable d'une grande partie de ces émissions car de l'énergie fossile est souvent utilisée pour l'extraction et la transformation des éléments.

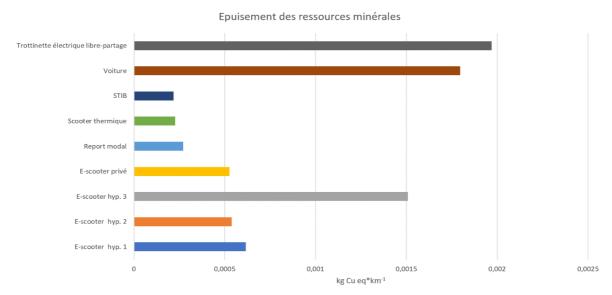


Figure 8 : Épuisement des ressources minérales attribués aux différents moyens de transport à Bruxelles, en kg de Cu eq. par kilomètre.

Aucunes hypothèses modélisées du scooter électrique ne présentent un avantage en termes d'évitement d'épuisement des ressources minérales sur le report modal (2,7 x 10⁻⁴ kg de Cu eq.). Les transports en commun (STIB, 2,18 x 10⁻⁴ kg de Cu eq.) et le scooter thermique (2,27 x 10⁻⁴ kg de Cu eq.) présentent les valeurs les plus faibles. Les poids des scooters ne peuvent pas expliquer cette différence. En effet, le poids d'un scooter électrique et d'un scooter thermique ne varient pas significativement pour expliquer ces observations. Par exemple, le modèle de scooter thermique modélisé dans l'étude de Kerdlap et al. (2016), pesait 112 kg, contre 118 kg pour le scooter électrique à batterie Li-ion. C'est la composition du scooter qu'il faut inspecter pour comprendre les différences d'impacts sur l'épuisement des ressources minérales. Le scooter électrique, comme tous les véhicules électriques, est composé de beaucoup plus de métaux rares que son semblable thermique. Ce point sera discuté plus amplement dans la section Discussion générale. L'avantage des transports en commun, qui nécessitent des quantités gigantesques de ressources minérales, s'explique par la robustesse des véhicules et le nombre de passagers qui voyagent simultanément. La robustesse des véhicules permet de parcourir un grand nombre de km alors que le nombre de passager permet de parcourir ces km pour plusieurs passagers à la fois. Or, l'unité est du km par passager.

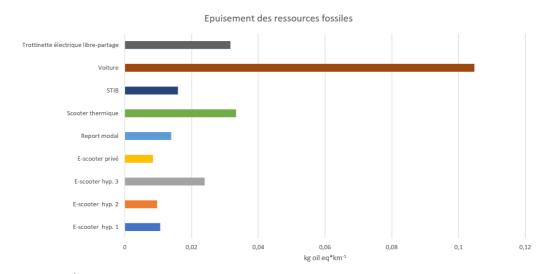


Figure 9 : Épuisement des ressources fossiles attribués aux différents moyens de transport à Bruxelles, en kg de Cu eq. par kilomètre.

Les deux moyens de transports les plus responsables d'épuisement des ressources fossiles sont, sans surprise, les deux moyens de transports qui en consomment le plus à l'utilisation ; à savoir la voiture (0,105 kg de pétrole eq.) et le scooter thermique (0,033 kg de pétrole eq.). Les scooters électriques de l'hypothèse 1 et 2 (0,01 et 0,009 kg de pétrole eq.) présentent de meilleurs résultats que le report modal (0,013 kg de pétrole eq.). Cette observation est certainement due au bus et à la voiture qui sont intégrés dans le report modal. Ici aussi, les ressources fossiles nécessaire à la fabrication du scooter de l'hyp.3 (0,024 kg de pétrole eq.) et de la trottinette en libre-partage (0,031 kg de pétrole eq.) ne sont pas suffisamment rentabilisées, ce qui explique ces médiocres résultats de comparaison.

Analyse de sensibilité : condition de bénéfice sur le report modal

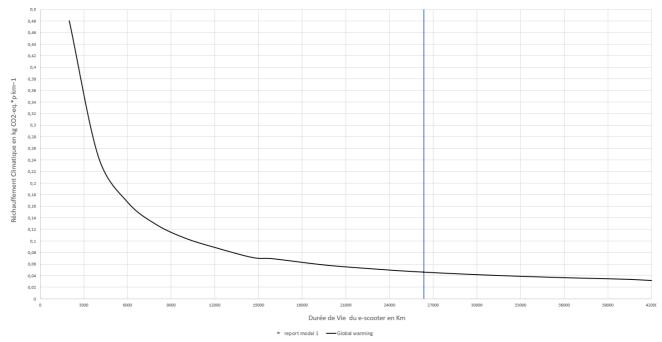


Figure 10 : Analyse de sensibilité de l'émission de kg de C02 eq. émis par kilomètre en fonction du kilométrage de la durée de vie du scooter électrique en libre-partage à Bruxelles. La ligne bleue correspond à l'impact du report modal sur le réchauffement climat

Ce graphe permet d'observer une décroissance exponentielle. En effet, au début de la vie du scooter électrique, les impacts liés aux phases production, matériel et transport sont fort réduit par km parcourus puis la courge se tasse et l'apport de chaque km est de plus en plus faible. L'analyse permet également de situer le nombre de km à parcourir pour que le scooter en libre-service à Bruxelles présente un avantage sur le report modal en termes d'impacts sur le réchauffement climatique. En effet, cette analyse a été conduite pour donner suite aux résultats de la comparaison des impacts de cette même catégories des différents moyens de transports disponibles à Bruxelles. Il était possible d'observer que les hypothèses 1 et 2 avaient de meilleurs résultats que le report modal, ce qui n'était pas le cas de l'hypothèse 3. Le nombre de km que le scooter électrique en libre-partage doit parcourir pour un tel avantage devaient donc se situer entre les 14600 km de l'hyp.3 et les 36500 km de l'hyp. 1. L'analyse de sensibilité permet de situer avec précision où se trouve cette limite en avantage et désavantage, en observant l'intersection de la courbe avec l'impact du report modal. L'intersection avec l'impact du report modal sur le réchauffement climatique, représenté par la ligne bleue, se situe à 26350 km. Il faudrait donc que le scooter parcourt cette distance pour émettre moins que les 46g/km de CO2 eq. du report modal. Le scooter devrait rester alors 537 jours (presque 1 ans et demi) en service dans le cas d'une fréquence d'utilisation de 50km/jours ou 1317,5 (3 ans et 7 mois) pour une fréquence de 20km/jours. A 42000 km, comme le considère l'hypothèse 2 et qui représente le nombre maximum de cycle de la batterie, un changement de batterie sera nécessaire pour étendre la durée de vie du scooter.

Analyse de scénarios de gestion

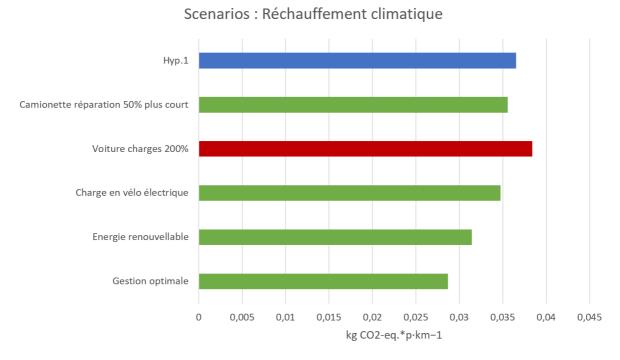


Figure 11 : Analyse de l'impact sur le réchauffement climatique de scenarios envisageant des pistes d'amélioration de gestion en kg de CO2 eq*p-km-1.

La valeur de comparaison est le résultat obtenu de l'hypothèse 1 qui est de 36g de CO2 eq. au km. Une camionnette de réparation qui parcourrait 50km journaliers au lieu des 100km actuels économiserait près d'1g de CO2 eq. par km. Les 20 km parcourus quotidiennement par la voiture de collecte et de changement des batteries paraissaient une distance peu conséquente pour recharger 200 scooters éparpillés dans plusieurs communes bruxelloises. Le double de cette distance, 40 km, a alors été envisagé, le scooter électrique consommerait dans ce cas 2g de CO2eq. au km de plus. La collecte et les changements des batteries effectués à vélo électrique permettrait une réduction d'émissions de GES de 1g/km également. Le scénario qui permet la réduction la plus conséquente est le scénario de l'utilisation d'énergie renouvelable pour la recharge. L'énergie renouvelable est dans ce cas produite grâce à des panneaux photovoltaïques et permet de réduire l'impact de 5g par km.

La gestion optimale, qui associent tous les scénarios présentant une réduction d'émission permet de réduire de 7g/km l'émission de CO2 eq.. Le scooter électrique en libre-partage de l'hypothèse 1 émettrait alors 29g de CO2 eq. au km ce qui correspond à la même valeur que le scooter électrique privé. Il est à noter que le scooter électrique privé est modélisé pour parcourir 42000 km contre 35600km pour le scooter en libre-partage de la première hypothèse. Une gestion optimale permettrait donc de compenser l'avantage du scooter privé.

Discussion générale

Les résultats de cette étude soulèvent de nombreux points sur lesquels il serait pertinent de rebondir. Cependant, par souci de synthèse, cette discussion se focalisera sur deux problématiques : les impacts de la phase matériaux des véhicules électriques et les impacts de la mobilité partagée.

Impacts de la phase matériaux des véhicules électriques

Le premier point qui sera discuté est l'impact conséquent de la phase matériaux. Les émissions liées à cette phase représentent 47% des émissions de GES et 90% de l'épuisement des ressources minérales attribués au scooter électrique en libre-partage estimés selon la première hypothèse. Concernant les émissions de CO2 eq., cette observation est due à la façon dont sont orchestrés actuellement l'extraction et le traitement des minéraux nécessaires à la fabrication des composants. En se penchant sur les compositions exactes de ces matériaux, disponibles en annexe, il s'avère que le scooter-électrique est constitué de 65 kg d'acier et de près de 20 kg d'aluminium, ce qui présente respectivement 55% et 17% du poids total du scooter. Par ailleurs, il est aujourd'hui admis que l'acier et l'aluminium, bien que de mieux en mieux recyclés, sont des ressources dont la production a un grand impact écologique, car elle nécessite une quantité d'énergie très importante (68, 69). L'utilisation d'énergie fossile par les pays producteurs pour l'extraction et le traitement des ressources a une incidence considérable sur le bilan environnemental de cette industrie.

Concernant l'impact de la phase matériaux sur l'épuisement des ressources minérales, un coup de loupe sur les composants exacts permet de comprendre cette situation. En effet, il s'avère que la fabrication d'un scooter électrique nécessite une grande quantité de ressources à disponibilité limitée et de métaux rares. Par exemple, le corps du scooter nécessite plus de 700 g de cuivre ; le moteur en utilise plus d'un kg et près de 400 g d'aimant, et les batteries requièrent plus de 6 kg de lithium manganèse oxyde. La proportion de ces éléments dans les différents composants explique que le Powertrain et les batteries représentent respectivement 22% et 36% de l'impact des matériaux de scooter électrique sur l'épuisement des ressources minérales. Pour rappel, cette catégorie d'impact permet d'estimer ce que l'utilisation présente d'une ressource empêche de la même utilisation dans le futur. Par conséquent, plus un minerai est rare, plus l'utilisation de celleci impacte l'utilisation future. L'utilisation importante de ces ressources, nécessaire à la technologie des véhicules électriques, explique par ailleurs l'épuisement plus important des ressources minérales que leurs équivalents thermiques. C'est pourquoi il était observable dans la comparaison des moyens de transports que le scooter thermique présentait des impacts amoindris de cette catégorie que les scooters électriques modélisés. Or, le poids total et la composition de la partie du corps du scooter (Glider) ne diffèrent pas particulièrement entre ces deux technologies. Kerdlap et Gheewala (2016) (50) avaient, par exemple, créé un corps de scooter commun avant d'ajouter les spécificités de chaque moteur tant cette partie est semblable. Ce qui diffère donc essentiellement sont les matériaux utilisés pour ce qui caractérise la technologie des véhicules électriques, à savoir le Powertrain et les batteries. Bien que les véhicules électriques présentent un avantage sur leurs homologues à combustion dans la grande majorité des catégories d'impacts calculés lors de la comparaison, l'impact des VE sur l'épuisement des ressources minérales représente leur grande part d'ombre. Cette affirmation s'étend à toutes les technologies vertes en général, ce qui soulève de nombreuses questions d'éthique.

En effet, la transition écologique telle qu'elle est imaginée aujourd'hui repose sur l'utilisation massive de ressources à disponibilité limitée et de métaux rares. La question se pose alors de savoir si la disponibilité de ces ressources sera suffisante pour répondre aux besoins que nécessite cette transition. Certains auteurs, tel l'écologue Richard Heinberg, prévoient que les terres rares et le lithium pourraient venir à manquer si les motorisations électriques et hybrides se généralisent (70). La possibilité de remplacer la totalité du parc automobile par des véhicules électriques n'est donc pas évidente bien qu'elle soit actuellement la solution favorisée.

Le cas du cuivre est particulièrement intéressant. Cette denrée, de plus en plus rare, est utilisée massivement pour les technologies vertes. Ceci est le cas entres autres du secteur du transport où, par rapport aux véhicules conventionnels, les électriques contiennent trois à neuf fois plus de cuivre, mais également pour le secteur de la production d'électricité. Pour une même quantité d'énergie produite, les panneaux voltaïques nécessitent près de cinq fois la quantité de cuivre d'une centrale à charbon. En outre, l'extraction et le traitement du cuivre, tels qu'ils sont orchestrés actuellement, ont de grands impacts sur la santé humaine et émettent de grandes quantités de GES. Une grande partie (13%) du cuivre mondial provient de la mine de Chuquicamata au Chili. L'exploitation de cette mine cause la sécheresse de la région de Quillagua et est responsable de nombreuses maladies touchants les habitants avoisinants, causant leur exil (71). De plus, l'énergie utilisée pour l'extraction et le traitement du cuivre provient de centrales à charbon, qui émettent énormément de GES (72). Il est alors nécessaire de se poser de sérieuses questions sur les réelles motivations de la transition verte. Souhaitons-nous une migration aveugle des émissions des pays occidentaux vers les pays en développement ou souhaitons-nous une diminution globale et juste de ces émissions? Cette question est fondamentale quant à la direction que prendront les décisions mondiales futures. En effet, seul un changement systémique, prenant en compte tous les maillons de la chaîne de la transition, permettra de réellement diminuer nos impacts et assurer la santé de tous.

Impacts de la mobilité partagée

Le deuxième point concerne, quant à lui, les impacts environnementaux de la mobilité partagée. Le modèle du scooter privé et celui du scooter en libre-partage ici modélisés sont en tous points identiques. Ceci se justifie par le fait que les différents opérateurs aient choisi un modèle qui est également commercialisé pour les particuliers. De plus, la marque dont ce modèle est le produit phare est actuellement le grand leader du marché des scooters électriques privés. La comparaison des impacts environnementaux des moyens de transports a mis en lumière que les scooters privés présentaient un avantage dans toutes les catégories d'impacts calculées sur le scooter en libre-partage qui parcourait la même distance (hypothèse 2, 42000 km). L'avantage du scooter privé est exclusivement expliqué par les impacts évités liés à la phase de distribution puisque toutes les autres phases sont identiques.

Comme l'exposaient Moreau et al. (2020) (7), la prolongation de la durée de vie de la trottinette électrique en libre-partage est conditionné, entre autres, par l'écoconception et la maintenance du véhicule. Or, comme l'ont montré les résultats de cette étude, la prolongation de la durée de vie est le facteur déterminant de la réduction des impacts environnementaux d'un moyen de transport. D'ailleurs, et toujours concernant les trottinettes électriques en libre-service, la grande différence entre les opérateurs qui ont fait faillite dans les premiers mois et ceux qui ont tenu le coup était le modèle de trottinette choisi. Seulement trois opérateurs ayant opté pour une écoconception, un modèle de trottinette robuste dont les pièces sont facilement entretenables et remplaçables, ont pu survivre plus longtemps. Les opérateurs qui ont choisi un modèle économique, accessible aux particuliers, ont très rapidement fermé boutiques (33). Dans le cas des scooter électriques, la situation actuelle ne permet pas de favoriser le mode de consommation collaborative, la mobilité partagée plus précisément. En effet, le modèle étant en tous points identique aux scooters électriques privés, le libre-partage ne permet pas d'allonger la durée de vie du scooter et donc de diminuer ses impacts. Au contraire, le libre-partage ajoute des impacts inévitables liés à la gestion d'un Product Service System. Ces impacts sont générés lors des déplacements en voiture et en camionnette pour la collecte et le changement des batteries et pour la collecte et le déploiement des scooters pour la maintenance. De plus, le contact chez un opérateur rapportait que le fait que le même modèle de scooter soit utilisé par plusieurs sociétés de location et par les privés causait de nombreux vols de composants du scooter. C'est pourquoi l'opérateur en question évoquait qu'un nouveau modèle de scooter électrique était étudié. Il n'est, à ce jour, pas possible d'estimer si ce modèle sera assez robuste pour le long terme mais il est pourtant déjà évident que celui-ci devra encore circuler longtemps dans les rues bruxelloises pour être rentabilisé, surtout si l'estimation de fréquence d'utilisation (voir méthode) observée s'avère représentative.

La Région de Bruxelles-Capitale, dans le cadre de son plan de mobilité « Good Moove » pour l'horizon 2030 (1), a stoppé les primes à l'achat de véhicules électriques (73). En effet, la Région

souhaite décourager tout achat de véhicule personnel. Le plan de mobilité souhaite, pour ce faire, déplacer l'utilisation de véhicules personnels vers les modes de déplacement actifs, les transports en commun et les mobilités partagées. Cette mesure part d'un principe louable, celui de réduire les impacts environnementaux de la mobilité urbaine bruxelloise. Cependant, comme il a été démontré avec les trottinettes électriques et dans ce mémoire, le libre-partage ne garantit pas nécessairement une baisse des impacts environnementaux des moyens de transport. La mobilité partagée peut permettre des économies d'émission seulement sous certaines conditions telles que l'espérance de vie des véhicules, étroitement liée à l'écoconception des véhicules. Il a ainsi été démontré, grâce à l'analyse de sensibilité, que 26350 km seront nécessaires au scooter électrique pour présenter un avantage sur les moyens de transport qui auraient été utilisés s'il n'était pas disponible. L'avenir nous indiquera si le scooter électrique en libre-partage, tel qu'il est orchestré actuellement et avec le modèle choisi, permettra d'atteindre ce seuil de nombre de kilomètres. Il sera alors possible de conclure si, oui ou non, ce moyen de transport présente une opportunité pour la transition durable de la mobilité urbaine.

Les scénarios de gestion envisagés offrent cependant une éclaircie. En effet, en considérant tous les scénarios permettant une diminution d'impact, le scooter électrique en libre-partage présentait les mêmes émissions de GES que son homologue privé, pour un kilométrage plus bas. En effet, le scooter-électrique en libre-partage géré de la façon optimale émet 29 g de CO2 eq. par km quand une espérance de vie de 36500 km est envisagée. Le scooter privé émet la même quantité de CO2, mais pour une espérance de 42000 km. Il serait possible alors, en restructurant la gestion des opérateurs, que le modèle du libre-partage appliqué au scooter électrique ait un avantage sur le modèle linéaire. L'utilisation d'énergie renouvelable, ici modélisé comme issu de panneaux voltaïques, représentait la presque totalité des gains de gestion. Il serait donc nécessaire que la Région réglemente la mise en service de nouveaux moyens de transport en libre-service. Imposer une écoconception des véhicules, ou imposer l'utilisation d'énergie renouvelable seraient des pistes à approfondir pour garantir que les mobilités partagées sur laquelle se base le plan de mobilité 2030 représentent effectivement une solution durable de mobilité.

La diminution d'émissions de GES n'est pas la seule raison de la dissuasion d'achat de nouveaux véhicules particuliers. Good Moove (1) entend également désengorger les routes bruxelloises. Or, un véhicule électrique prend la même place qu'un véhicule à combustion (73). La mobilité partagée présente une solution de choix à ce dessein. Cependant, la Région de Bruxelles-Capitale devra rester attentive car les solutions à la congestion urbaine sont susceptibles d'effets rebonds importants (5). Il est observable que, dès que le trafic devient plus fluide (et donc que la voiture regagne en efficacité de temps), des personnes qui utilisaient auparavant les transports en commun sont incitées à se rediriger vers la voiture individuelle. Ainsi, l'espace libéré par les efforts de la Région pour réduire le nombre de véhicules sur une route risque d'être rapidement reconquis par la voiture.

Limites et difficultés rencontrées

Les résultats des différentes analyses permettent des estimations des impacts du scooter électrique en libre-partage à Bruxelles et d'identifier les phases les plus impactantes. Ces estimations ont ensuite été utilisées pour comparer ces impacts avec ceux d'autres moyens de transports, et évaluer le nombre de kilomètres à parcourir pour que le scooter électrique apporte un avantage sur le report modal. Nous avons ensuite exploré des pistes d'améliorations de gestion. Cependant, bien que nous ayons essayé de nous approcher le plus possible de la réalité, ces estimations ne peuvent être prises pour argent comptant. En effet, plusieurs facteurs limitent l'étendue de notre étude.

Premièrement, la société Niu, qui produit le modèle de scooter employé par les différents opérateurs, a refusé toute collaboration avec ce travail. Les données requises étaient vraisemblablement confidentielles. De plus, la mise en service des scooters électriques en libre-partage est assez récente et le prix des véhicules est élevé. Les opérateurs ne disposaient donc pas de véhicule à nous confier pour un démantèlement. Les matériaux ainsi que la manufacture du scooter ont alors été estimés sur base des données, gentiment partagées par les auteurs, d'une étude de Kerdlap et Gheewala (2016) (50), de la base de données EcoInvent 3 et des données publiques du modèle disponibles sur le site internet de la marque. Bien que les matériaux et la manufacture du modèle Niu ne diffèrent probablement pas fondamentalement du modèle étudié par Kerdlap et Gheewala (2016), les impacts liés à ces phases se limitent donc à des estimations. Une collaboration avec la marque Niu dans le futur parait fort peu probable. Les prochaines études auront plus de réussite en démantelant un scooter hors-service. Il serait envisageable que celui-ci provienne d'un opérateur quand ceux-ci seront plus facilement accessibles. En effet, pour le moment, les opérateurs ne pouvaient collaborer car les scooters hors-service sont utilisés pour réparer les pièces défectueuses des scooters en service. Il serait également possible d'en chercher dans le secteur privé ou envisageable d'en acheter un.

Deuxièmement, la crise sanitaire actuelle a fortement impacté cette étude. En effet, le secteur de la mobilité a grandement été impacté par la crise du Covid-19. La capitale a été, à deux reprises, contrainte au confinement durant la période d'écriture de ce mémoire. Lors de ces confinements, les citoyens étaient priés de se déplacer un minimum, contraints au télétravail, et de fortement limiter les contacts avec d'autres personnes. Par conséquent, la demande de scooters électriques en libre-partage a chuté. Bruxelles, qui comptait trois sociétés de location de ce moyen de transport, n'en comptait d'ailleurs plus que deux après le premier confinement (74). Notre contact chez l'un des deux opérateurs restants était totalement débordé durant cette période puisque la société était en plein remaniement pour résister à cette crise. Malgré nos demandes insistantes, seule une interview nous a donc pu être accordée. Des précisions, par exemple quant à la fréquence d'utilisation, n'ont donc pas pu être obtenues. Nous avons donc décidé de procéder à deux études d'observations pour permettre la mise en doute des données initialement communiquées. Cependant, ces observations ne peuvent en aucun cas être utilisées pour estimer une fréquence d'utilisation concrète. En effet, la première observation, pour laquelle les

déplacements des scooters étaient enregistrés sur une journée, a été menée en phase de déconfinement et en période de grandes vacances d'été (13 juillet). L'utilisation du scooter à ce moment-là ne représentait donc pas l'usage normal de ce dernier. Les résultats du mémoire complémentaire démontraient, par exemple, que ce mode de transport est normalement utilisé à 39,4% pour des raisons professionnelles et à 21,2% pour des raisons récréatives. Il serait donc nécessaire de procéder à de telles observations en période de travail, hors crise sanitaire. La deuxième observation, qui consistait en le relevé des compteurs des scooters, est également faussée puisque les scooters à ce moment-là avaient vécu près de 6 mois de confinement sur l'année et demie de service qu'ils comptabilisaient. L'estimation de la fréquence d'utilisation, basée sur cette période est, de ce fait, totalement faussée. Ces résultats ont donc été utilisés uniquement pour remettre en cause les valeurs communiquées lors de l'interview et ainsi de justifier l'élaboration d'une hypothèse plus pessimiste. La réitération de cette étude lorsque la situation sera revenue à la normale permettra l'utilisation de données représentative de la fréquence d'utilisation effective. De plus, il sera possible dans le futur d'estimer avec plus de précision la durée de vie du scooter électrique en libre-partage. Ensemble, la fréquence d'utilisation et la durée de vie permettront d'estimer précisément le kilométrage d'espérance de vie du scooter électrique.

La troisième limite de ce mémoire est due à la récente mise en service de ce moyen de transport. Elle concerne la limite du système étudié. En effet, le traitement de fin de vie des scooters électriques n'est pas encore modélisé dans le système étudié pour la simple et bonne raison qu'elle n'est pas encore opérationnelle dans la réalité. L'inclusion de cette phase permettrait la modélisation exhaustive du système. L'ACV pourrait alors être catégorisée comme "du berceau à la tombe". De plus, la prise en compte de cette dernière phase permettrait d'observer les effets d'une bonne gestion des composants et des déchets sur l'ensemble du système étudié. Pour ce faire, l'approche conséquentielle sera préférée. Les matériaux correctement recyclés issus du scooter hors-service permettront d'éviter l'extraction et le traitement de nouvelles ressources. Ainsi, les impacts évités tels que les émissions de GES et l'épuisement des ressources minérales à la fabrication d'un nouveau produit seront crédités au système du scooter électrique. Les impacts de ces catégories du scooter électrique seront alors diminués par rapport à ce qu'ils représentent aujourd'hui. Cet effet sera particulièrement intéressant concernant l'épuisement des ressources minérales. Comme il a été vu dans la section Discussion générale, cet impact représente la grosse part d'ombre des technologies vertes actuellement. Le recyclage optimal des matériaux des produits en fin de vie, surtout des métaux rares et des ressources à disponibilité limitée, représente certainement le réel avenir durable de telles technologies.

Conclusions

Face à la nécessité de diminuer rapidement nos impacts environnementaux, la mobilité est la cible de grands remaniements. La région de Bruxelles Capitale, en vue de répondre aux objectifs fixés par la COP21, a établi un plan stratégique et opérationnel à l'horizon 2030. Ce plan vise principalement la transition de l'usage de la voiture privée vers des modes de transports moins polluants. Parmi ceux-ci, figurent les modes actifs de déplacement, les transports en commun et les transports en libre-partage. Le libre-partage, un concept nouveau en mobilité, offre de nombreuses perspectives quant à la baisse d'émissions de GES et le désengorgement des routes. Ainsi, de plus en plus d'offres de moyens de transport basées sur ce principe voient le jour à Bruxelles. C'est ainsi que, depuis l'automne 2016, des scooters électriques en libre-partage sont disponibles un peu partout dans la capitale. Cependant, peu d'études se sont penchées sur les réels impacts environnementaux qu'engendre ce moyen de transport. Ce mémoire avait donc pour objectif d'en estimer les impacts afin de savoir si les scooters électriques en libre-partage présentent effectivement une solution d'avenir de mobilité urbaine.

Les principaux résultats de cette étude sont que le scooter électrique en libre-partage émet 36g de CO2 eq. par km quand celui-ci parcourt 50 km par jours pendant 2 ans (hypothèse 1). Il émet 33g de CO2 eq. par km quand, en parcourant 50 km/jour, il atteint la limite de kilomètres que permet la batterie, à savoir 42000 km (hypothèse 2). Si celui-ci parcourt 20 km/jours pendant deux ans, les émissions de GES dont il est responsable grimpent à 80 g/km (hypothèse 3). La fréquence d'utilisation et la durée de vie du scooter électrique sont donc des paramètres centraux qui régissent les impacts environnementaux de ce moyen de transport. La phase qui présente la plus grande part des impacts attribués au scooter électrique en libre-partage est celle des matériaux. En effet, cette phase est responsable de 47% des émissions de GES et de 90% de l'épuisement des ressources fossiles attribués au scooter de la première hypothèse. L'importante énergie (souvent fossile) nécessaire à l'extraction et au traitement des matériaux nécessaires à la fabrication du scooter électrique explique la part importante des émissions de GES imputée à la phase matériaux. L'épuisement des ressources minérales est dû, quant à lui, à l'utilisation importante de métaux rares et de minéraux en disponibilité limitée pour les batteries et le moteur électrique. De plus, l'extraction et le traitement de ces minéraux posent de nombreuses questions éthiques quant à la santé humaine et à l'exportation des impacts environnementaux. Seul un changement systémique de la transition verte telle qu'elle est actuellement imaginée permettra de réduire ces émissions. Le recyclage des minéraux de produit en fin de vie représente dans ce contexte une piste viable et essentielle à la transition verte.

Le scooter électrique présente des impacts réduits sur le réchauffement climatique, en comparaison avec le report modal, à condition qu'il parcoure plus de 26350 km. En effet, à partir de ce kilométrage, le scooter électrique en libre-partage présente un avantage en termes d'émissions de GES sur les déplacements qui auraient été effectués s'il n'existait pas. La comparaison des impacts de différents moyens de transport a permis de mettre en lumière un avantage du scooter électrique en libre-

partage dans presque toutes les catégories étudiées. L'épuisement des ressources minérales dont le scooter électrique est responsable est cependant plus important que pour le report modal et pour le scooter thermique pour les raisons expliquées ci-dessus.

Enfin, il a été démontré que le libre-partage du scooter électrique actuel ne permettait pas une plus-value en termes de réduction d'impacts en comparaison avec le modèle linéaire. Le modèle de scooter étant strictement identique dans les deux cas, le scooter électrique privé permet d'éviter les impacts liés à la gestion de ce service. Une écoconception d'un modèle de scooter voué à une utilisation en libre-partage permettrait de pallier ce manquement. Un remaniement de la gestion permettrait également de compenser ces différences d'impacts. L'analyse de scénarios a permis de mettre en lumière que près de 7g de CO2 eq. au km pourraient être évités si la gestion était optimisée. L'utilisation d'énergie renouvelable en serait le principal facteur. Ces observations forcent à constater que la mobilité libre partagée n'est pas une solution d'avenir per se. La Région, qui compte s'y appuyer pour réduire le bilan environnemental de la mobilité, devrait impérativement contrôler les différentes sociétés de ces services qui opèrent en son sein. Certaines conditions doivent, en effet, être remplies pour garantir une diminution d'émissions du libre-partage par rapport au modèle classique de possession individuelle. Ces conditions comprennent l'extension de l'espérance de vie (kilométrage) dont l'écoconception est primordiale, et une gestion réellement dirigée vers le 0 émission.

La récente mise en activité de ce service, ainsi que la situation sanitaire liée au Covid-19, ont imposé d'importantes limites à cette étude. Une évaluation future des impacts environnementaux sera nécessaire. Un démantèlement de scooter associé à des chiffres précis quant à la fréquence d'utilisation et la durée de vie permettront des estimations plus proches des impacts réels du scooter électrique en libre-service à Bruxelles. La prise en compte de la gestion de fin de vie des scooters permettra, de plus, d'analyser ce produit-service sur l'entièreté de ces phases et d'englober les bénéfices qu'entrainerait une bonne gestion des déchets.

Bibliographie

- 1. *Plan Régional de Mobilité 2020-2030*. [en ligne]. Good Move-Bruxelles Mobilité, 2020. Disponible à l'adresse : https://goodmove.brussels/fr/plan-regional- de-mobilite/
- 2. POCHET, Lucas, MOREAU, Hélie et ACHTEN, Wouter M.J. *Mobilité légère* électrique et partagée : une solution durable ? Le cas des scooters électriques en librepartage en Région de Bruxelles-Capitale. Bruxelles : IGEAT-Université Libre de Bruxelles, 2020.
- 3. Chiffres clés du climat France, Europe et Monde Édition 2021. DATALAB. Ministère de la Transition Ecologique, 2020. Données et études statistiques.
- 4. Accord de Paris. Paris: Nations Unies, 2015. UNFCC.
- 5. PIGNEL, Marion et STOKKINK, Denis. *MOBILITÉ DURABLE Enjeux, pratiques et perspectives*. Pour la Solidarité. European think & do tank, 2019. Comprendre pour agir.
- 6. LHUILLIER, Vanessa. Le scooter électrique à partager démarre à Bruxelles. *Le Soir Plus* [en ligne]. 16 novembre 2016. [Consulté le 2 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.lesoir.be/69057/article/2016-11-16/le-scooter-electrique-partager-demarre-bruxelles?referer%3D%2Farchives%2Frecherche%3Fdatefilter%3Danytime%26sort%3Ddate %2Bdesc%26start%3D20%26word%3Dscooty
- 7. MOREAU, Hélie, DE JAMBLINNE DE MEUX, Loïc, ZELLER, Vanessa, D'ANS, Pierre, RUWET, Coline et ACHTEN, Wouter M.J. Dockless E-Scooter: A Green Solution for Mobility? Comparative Case Study between Dockless E-Scooters, Displaced Transport, and Personal E-Scooters. *Sustainability*. 28 février 2020. Vol. 12, n° 5, pp. 1803. DOI 10.3390/su12051803.
- 8. Transports : Mobilité et société. *Encyclopædia Universalis* [en ligne]. [sans date]. [Consulté le 2 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.universalis.fr/encyclopedie/transports-mobilite-et-societe/
- 9. Navigant Total GHG Emissions Worldwide: 53.7 Gt CO2eq. 2017. Disponible à l'adresse : https://guidehouse.com/media/www/site/downloads/energy/2019/asn_navigant_emissionsflo wchart.pdf [Consulté le 2 janvier 2021].
- 10. FABRÉGAT, Sophie. L'impact environnemental des transports à la loupe. *Actu-Environnement* [en ligne]. 31 mars 2009. [Consulté le 2 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.actu-environnement.com/ae/news/impact_environnemental_transport_europe_7081.php4
- 11. Chiffres clés de l'impact environnemental du transport routier de marchandises [en ligne]. FNTR, 2019. Disponible à l'adresse : https://www.fntr.fr/sites/default/files/2019-10/Chiffres-impact-environnemental-TRM-0619.pdf
- 12. DOYEN, Bastien et BRÉCHET, Thierry. *Bruxelles face à la congestion automobile, quelles solutions crédibles?* Univeristé Catholique de Louvain, 2015.

- 13. Question 10 : À Bruxelles, le secteur des transports impacte-t-il fortement l'environnement? Diagnostic de mobilité en Région bruxelloise. Bruxelles : Bruxelles Mobilité, 2019. be Good Moove.
- 14. Question 6 : *Pourquoi y a-t-il plus d'embouteillages à Bruxelles alors que le nombre de véhicules en circulation a tendance à diminuer*? Diagnostic de mobilité en Région bruxelloise |. Bruxelles : Bruxelles Mobilité, 2017. be Good Moove.
- 15. Qualité de l'air ambiant et santé. *Organisation Mondiale de la Santé* [en ligne]. 2 mai 2018. [Consulté le 2 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health
- 16. Chiffres : A Bruxelles. *Bruxelles Environnement* [en ligne]. 16 juin 2015. [Consulté le 2 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://environnement.brussels/thematiques/mobilite/la-mobilite-bruxelles/chiffresA Bruxelles
- 17. Défense des automobilistes Défense des motards | Mauto Défense ASBL. *Mautodefense ASBL* [en ligne]. [Consulté le 2 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.mautodefense.org
- 18. MIGNON, Sophie. Bruxelles investit 1,4 milliard dans la mobilité: voici les projets. *Le Soir Plus* [en ligne]. 24 novembre 2020. [Consulté le 2 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.lesoir.be/339612/article/2020-11-24/bruxelles-investit-14-milliard-dans-la-mobilite-voici-les-projets
- 19. Question 3 : *Pourquoi la Région manque-t-elle d'aménagements cyclables malgré une demande croissante ?* Diagnostic de mobilité en Région bruxelloise. Bruxelles : Bruxelles Mobilité, 2017. be Good Moove.
- 20. Question 4 : *Pourquoi il n'y a pas plus de gens qui utilisent le transport public, même si son usage a beaucoup augmenté* ? Diagnostic de mobilité en Région bruxelloise. Bruxelles : Bruxelles Mobilité, 2017. be Good Moove.
- 21. D'WELLES, Jacques. A propos de circulation urbaine... *Urbanisme*. 1951. Vol. 20, n° 11-12, pp. 56.
- 22. VAN DER ZEE, Renate. Story of cities# 30: how this Amsterdam inventor gave bikesharing to the world. *The Guardian*. 2016. Vol. 26.
- 23. BÉJA, Alice. *Le partage, une nouvelle économie?* Paris : Esprit, 2015. ISBN 978-2-37234-004-5.
- 24. BOTSMAN, Rachel et ROGERS, Roo. *What's mine is yours: the rise of collaborative consumption.* Londres: HarperCollins e-Books, 2014. ISBN 978-0-06-201405-4.
- 25. MONT, O.K. Clarifying the concept of product–service system. *Journal of Cleaner Production*. juin 2002. Vol. 10, n° 3, pp. 237-245. DOI 10.1016/S0959-6526(01)00039-7.
- 26. TUKKER, Arnold. Eight types of product–service system: eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet. *Business Strategy and the Environment*. juillet 2004. Vol. 13, n° 4, pp. 246-260. DOI 10.1002/bse.414.

- 27. BARQUET, Ana Paula, SEIDEL, Johannes, SELIGER, Günther et KOHL, Holger. Sustainability Factors for PSS Business Models. *Procedia CIRP*. 2016. Vol. 47, pp. 436-441. DOI 10.1016/j.procir.2016.03.021.
- 28. KJAER, Louise Laumann, PIGOSSO, Daniela C.A., MCALOONE, Tim C. et BIRKVED, Morten. Guidelines for evaluating the environmental performance of Product/Service-Systems through life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*. juillet 2018. Vol. 190, pp. 666-678. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.04.108.
- 29. NURHADI, Lisiana, BORÉN, Sven, NY, Henrik et LARSSON, Tobias. Competitiveness and sustainability effects of cars and their business models in Swedish small town regions. *Journal of Cleaner Production*. janvier 2017. Vol. 140, pp. 333-348. DOI 10.1016/j.jclepro.2016.04.045.
- 30. SOUSA-ZOMER, Thayla Tavares de, CANTÚ, Vinicius Zago et CAUCHICK MIGUEL, Paulo Augusto. Product-service systems as suitanable alternatives to mobility: a comparative analysis of two bike-sharing systems. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*. 29 septembre 2016. Vol. 13, n° 3, pp. 264. DOI 10.14488/BJOPM.2016.v13.n3.a4.
- 31. LUO, Hao, KOU, Zhaoyu, ZHAO, Fu et CAI, Hua. Comparative life cycle assessment of station-based and dock-less bike sharing systems. *Resources, Conservation and Recycling*. juillet 2019. Vol. 146, pp. 180-189. DOI 10.1016/j.resconrec.2019.03.003.
- 32. JULY, Benoît. Vers une guerre des scooters à Bruxelles? *Le Soir Plus* [en ligne]. 20 juin 2019. [Consulté le 2 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.lesoir.be/231929/article/2019-06-20/vers-une-guerre-des-scooters-bruxelles
- 33. Les opérateurs de trottinettes électriques Hive et Wind quittent Bruxelles. *Belga-Le Soir Plus* [en ligne]. 14 août 2019. [Consulté le 2 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.lesoir.be/242020/article/2019-08-14/les-operateurs-de-trottinettes-electriques-hive-et-wind-quittent-bruxelles?referer%3D%2Farchives%2Frecherche%3Fdatefilter%3Dlastyear%26sort%3Ddate %2520desc%26word%3Dtrottinette%2520%25C3%25A9lectrique%2520vandalisme%22
- 34. Bruxelles: Woluwe-Saint-Lambert donne six mois à la Région pour fixer des règles sur les trottinettes électriques. *Belga-Le Soir Plus* [en ligne]. 30 août 2019. [Consulté le 2 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.lesoir.be/244850/article/2019-08-30/bruxelles-woluwe-saint-lambert-donne-six-mois-la-region-pour-fixer-des-regles?referer%3D%2Farchives%2Frecherche%3Fdatefilter%3Dlastyear%26sort%3Ddate%2 520desc%26word%3Dtrottinette%2520%25C3%25A9lectrique%2520stationnement%22
- 35. COCQUEMPOT, Nathan. Extinction Rébellion justifie le sabotage de trottinettes en libre-service, objets roulants « briseurs de grèves ». *Le Monde.fr* [en ligne]. 6 décembre 2019. [Consulté le 2 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.lemonde.fr/economie/article/2019/12/06/des-trottinettes-en-libre-service-ont-ete-sabotees-lors-des-manifestations-du-5-decembre 6021965 3234.html

- 36. KAMAKATÉ, Fatumata et GORDON, Deborah. *Managing motorcycles: Opportunities to reduce pollution and fuel use from two-and-three wheeled vehicle.* ICCT International Council on Clean Transportation, 2009.
- 37. MINET, Pascaline. Les scooters, ces super pollueurs. *Le Monde* [en ligne]. 16 mai 2014. [Consulté le 2 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.lemonde.fr/planete/article/2014/05/16/les-scooters-ces-super-pollueurs_4420252_3244.html
- 38. Pollution de l'air : une étude alerte sur les émissions des scooters et des voiturettes. *HAL*. janvier 2017. Vol. 01744528.
- 39. DELORME, Pierre. *L'électrification des transports au Québec*. Québec : PUQ, 2011. ISBN 978-2-7605-3098-0. Google-Books-ID: ZHD rjY5WdcC
- 40. GUILLOSSOU, Gaëlle. Synthèse: Voitures électriques et santé: état des connaissances. *Environnement, Risques & Santé*. 2020. Vol. 5, n° 1, pp. 36.
- 41. Les potentiels du véhicule électrique. France : ADEME, 2016. Les avis de l'ADEME.
- 42. CHÉRON, Marie, GILBERT-D'HALLUIN, Abrial et SCHULLER, Aurélien. Quelle contribution du véhicule électrique à la transition écologique en France? Enjeux environnementaux et perspectives d'intégration des écosystèmes. *Fondation pour la Nature et l'Homme et European Climate Foundation*. décembre 2017. pp. 112.
- 43. BOFFI, Nicolas. Extrait de l'étude portant sur l'impact environnemental des trottinettes électriques Étude de cas dans le contexte parisien. *Arcadis*. novembre 2019.
- 44. ERNST, Damien. Electric car: 697,612 km to become green! True or false? *ULg* [en ligne]. 10 mars 2019. [Consulté le 3 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : http://blogs.ulg.ac.be/damien-ernst/electric-697612-km-to-become-green-true-or-false/
- 45. SHENG, N., ZHOU, X. et ZHOU, Y. Environmental impact of electric motorcycles: Evidence from traffic noise assessment by a building-based data mining technique. *Science of The Total Environment*. 1 juin 2016. Vol. 554-555, pp. 73-82. DOI 10.1016/j.scitotenv.2016.02.148.
- 46. Site web Poppy. *Poppy* [en ligne]. [Consulté le 3 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://poppy.be/ol
- 47. Site web Felyx. *felyx* [en ligne]. [Consulté le 3 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://felyx.com/be/fr/
- 48. Environmental Management: Life Cycle Assessment; Principles and Framework. International Organization for Standardization, 2006.
- 49. Qu'est-ce que l'ACV ? *ADEME-expertises* [en ligne]. 18 juin 2018. [Consulté le 3 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/passer-a-laction/dossier/lanalyse-cycle-vie/quest-lacv

- 50. KERDLAP, Piya et GHEEWALA, Shabbir H. Electric Motorcycles in Thailand: A Life Cycle Perspective: A Life Cycle View of e-motorcycles in Thailand. *Journal of Industrial Ecology*. décembre 2016. Vol. 20, n° 6, pp. 1399-1411. DOI 10.1111/jiec.12406.
- 51. Thailand: number of registered motorcycles 2019. *Statista Research Department* [en ligne]. 20 octobre 2020. [Consulté le 3 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.statista.com/statistics/1179962/thailand-number-of-registered-motorcycles/
- 52. Thailand: Balances for 2014. Agence internationale de l'énergie, 2016.
- 53. Data and statistics Belgium : Balances 2019. Agence internationale de l'énergie, 2020.
- 54. KAUFMANN, Vincent. *Mobilité quotidienne et dynamiques urbaines : la question du report modal.* Presses Polytechniques et universitaire romandes. Lausanne, 2000.
- 55. SPRB Bruxelles Mobilité Enquête sur l'usage des trottinettes électriques à Bruxelles. Bruxelles : Service Public de la Région de Bruxelles, 2019.
- 56. SimaPro 9.0.0.49. Amersfoort, Pays-Bas: PRé Sustainability B.V., 2019.
- 57. WERNET, Gregor, BAUER, Christian, STEUBING, Bernhard, REINHARD, Jürgen, MORENO-RUIZ, Emilia et WEIDEMA, Bo. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. septembre 2016. Vol. 21, n° 9, pp. 1218-1230. DOI 10.1007/s11367-016-1087-8.
- 58. HALVGAARD, Rasmus, POULSEN, Niels Kjolstad, MADSEN, Henrik et JORGENSEN, John Bagterp. Economic Model Predictive Control for building climate control in a Smart Grid. In: *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*. Washington, DC, USA: IEEE, janvier 2012. pp. 1-6. ISBN 978-1-4577-2159-5.
- 59. ROUX, Charlotte, SCHALBART, Patrick et PEUPORTIER, Bruno. Analyse de cycle de vie conséquentielle appliquée à l'étude d'une maison individuelle. In : *Proceedings of the Conférence IBPSA*. Marne-la-Vallée, 2016.
- 60. Cut-Off System Model. *EcoInvent* [en ligne]. [Consulté le 3 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.ecoinvent.org/database/system-models-in-ecoinvent-3/cut-off-system-model/allocation-cut-off-by-classification.html
- 61. MAJ, Huijbregts, ZJN, Steinmann, PMF, Elshout, G, Stam, F, Verones, MDM, Vieira, A, Hollander, M, Zijp et R, van Zelm. *ReCiPe 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization*. Report. Netherlands: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM, 2016.
- 62. GOEDKOOP, Mark, HEIJUNGS, Reinout, HUIJBREGTS, Mark, DE SCHRYVER, An, STRUIJS, Jaap et VAN ZELM, Rosalie. *ReCiPe 2008*. Report. Netherlands: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM, 2009.
- 63. HAUSCHILD, Michael Z. et HUIJBREGTS, Mark AJ. Introducing life cycle impact assessment. In: *Life cycle impact assessment*. Springer, 2015. pp. 1-16.

- 64. NIU Official Global Website | NIU Smart Electric Scooter. [en ligne]. [Consulté le 3 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.niu.com/en/
- 65. YUEMING, Wu. A Tour through NIUs factory (2016). *MyNIU.org* [en ligne]. 2 novembre 2017. [Consulté le 3 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.myniu.org/niu-factory-tour-2016/
- 66. Application Logistique Distances et temps. *SeaRates by DP World* [en ligne]. [Consulté le 3 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.searates.com/fr/services/distances-time/Distances et temps
- 67. Pollution de l'air : origines, situation et impacts. *Ministère de la Transition écologique* [en ligne]. 15 décembre 2020. [Consulté le 3 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.ecologie.gouv.fr/pollution-lair-origines-situation-et-impacts
- 68. PARASKEVAS, Dimos, KELLENS, Karel, VAN DE VOORDE, Alexander, DEWULF, Wim et DUFLOU, Joost R. Environmental Impact Analysis of Primary Aluminium Production at Country Level. *Procedia CIRP*. 2016. Vol. 40, pp. 209-213. DOI 10.1016/j.procir.2016.01.104.
- 69. BURCHART-KOROL, Dorota. Life cycle assessment of steel production in Poland: a case study. *Journal of Cleaner Production*. septembre 2013. Vol. 54, pp. 235-243. DOI 10.1016/j.jclepro.2013.04.031.
- 70. HEINBERG, Richard. Museletter #313: Electric Cars to the Rescue? *richardheinberg* [en ligne]. 21 juin 2018. [Consulté le 3 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://richardheinberg.com/museletter-313-electric-cars-rescue
- 71. LEBON, Anne. Chili: quand l'industrie minière assoiffe les villages et pollue l'environnement. *Observatoire des multinationales* [en ligne]. 17 novembre 2015. [Consulté le 3 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://multinationales.org/Chili-quand-l-industrie-minière-assoiffe-les-villages-et-pollue-l-environnement
- 72. PEREZ, Jean-Louis et PITRON, Guillaume. *La face cachée des énergies vertes*. Arte, 2020.
- 73. EVERAET, Benjamin. Pas de primes pour les véhicules électriques en Belgique. *L'Echo* [en ligne]. Belgique, 5 juin 2020. [Consulté le 3 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://www.lecho.be/dossiers/coronavirus/pas-de-primes-pour-les-vehicules-electriques-en-belgique/10231413.html
- 74. Les scooters de Scooty disparaissent de Bruxelles. *BXI* [en ligne]. Bruxelles, 27 juillet 2020. [Consulté le 3 janvier 2021]. Disponible à l'adresse : https://bx1.be/news/les-scooters-de-scooty-disparaissent-de-bruxelles/

Annexe

Entretien avec Monsieur Siaton (Poppy) 05/06/20 :

- <u>Moyen de transport (itinéraire) jusqu'à Bruxelles</u>
 Livraison par palette de deux scooters (déjà montés). Chine-Anvers en bateau puis Anvers-Bruxelles (entrepôt) en Camion. A l'entrepôt, des petits ajustements dont esthétiques avant la mise en service.
- <u>Méthode de déploiement et de récupération des scooters</u>
 Une camionnette pour déploiement-collecte des scooters (quand problème technique + changement de localisation si mauvaise situation). Approximativement 100 km par jour. Camionnette nouvelle, louée chez Avis. Si scooter ne bouge pas pendant 4 jours, ils vont se rendre sur place pour analyser si qqchose ne va pas ou pour changer l'endroit de mise à disposition. Quand le scooter est garé dans une zone à risque de vandalisme il est déplacé.
- *Méthode de charge des batteries* \rightarrow *batterie amovible ? comment se déroule cette* phase et par qui (entreprise ou indépendants)? Moyens de transport pour la charge et distance parcourue moyenne entre chaque charge Chaque scooter a 2 batteries amovibles. Changement des batteries sur place avec une voiture de service. Quand le scooter atteint une autonomie de moins de 5km il est mis hors service et demande un changement de batterie. Batteries rechargées à l'entrepôt à Tour et taxi. 20-30 batteries chargées par jour, 50 au max (capacité max de l'installation). Calcul du temps de recharge pour les retirer du secteur le plus vite possible. Cette voiture de service sert également pour les petites réparations sur place (minimise les déplacement). Fonctionnement par zones, ils font tout ce qu'il faut faire dans une zone avant de passer à la suivante. Les gens qui s'occupent des recharges étaient dans un premier temps des intérimaires souvent étudiants mais ce système coûtait trop chère. Maintenant, demandeur d'emplois et chômeur pour contrats ponctuels en fonction des besoins de la société. Cette voiture de service est en service 24/24 (3 shifts). Cette voiture parcourt moins de kilomètre que la camionnette, environ 20 km par jours grâce à la logistique par zones qui permet de réduire les distances parcourues. Ils ont 400 batteries en tout pour permettre les remplacements.
- <u>Capacité et autonomie de la batterie</u> Autonomie d'environ 70 km (avec les deux batteries) (Dépend de la manière dont le scooter est utilisé). Données site Niu : batterie 29 Ah, 10 kg, 50-80 km d'autonomie
- Électricité utilisée pour la charge (énergie renouvelable ou pas)

 Pas d'infos sur l'électricité. Panneaux solaires sur le toit du bâtiment mais pas sûr que ce soit utilisé pour la recharge des batteries. Probablement, électricité mix du réseau bruxellois.
- <u>Durée de vie d'un scooter</u>
 Pas possible d'estimer pour le moment car service en place depuis seulement 1 an. Il n'y a eu que 5 batteries hors-services pour le moment en 1 an sur les 400 qu'ils possèdent (Bruxelles + Anvers). Les scooters en fin de vie pour le moment le sont dû au vandalisme essentiellement. Les scooters représentent tout de même moins de vandalisme que les trottinettes électriques.
- <u>Données d'utilisation (trajet moyen, fréquence d'utilisation, km par jours)</u>
 Moyenne 15 utilisations avant la recharge. Trajet moyen de 4-5 km. 50 km par jour plus ou moins (très variable en fonction du jour de la semaine et de la saison).

• Fin de vie des scooters : quand ils ne sont plus fonctionnels, où sont-ils stockés ? réparation ? Réutilisation de matériaux ? comment est traité ce qui n'est plus utilisable ?

Quand scooter cassé il est envoyé à l'entrepôt de tour et taxi par camionnette. Vandalisme : 5 scooters cassés en 1 an. Quand la batterie n'est plus fonctionnelle, ils essayent d'abord de la réparer via une société tierce, si pas possible recyclage. Le reste des pièces du scooter est stocké dans l'entrepôt pour réparation des autres scooters. Pour l'instant ils n'ont pas dû commander beaucoup de nouvelles pièces pour les réparations car ils se servent des pièces de ces scooters en fin de vie.

- Nombre de scooter Poppy
 - 200 à Bruxelles (ils ont aussi des voitures essence et bientôt trottinettes électriques → tout sur même appli).
- Modèles du scooter
 - Niu NS2. Mais bientôt changement de modèle car les pièces sont chères et faciles à démanteler. (Beaucoup de vols de pièces car ce modèle est aussi utilisé par des particuliers + par les autres sociétés de sharing).
- Poppy veut rester anonyme. Les données et résultats leurs seront partagés. Intérêt de l'étude pour améliorations logistiques. → anonymiser en cas de publication étude.

Observation 1:

Obconicat	ion doe mountains	nta da cas	otoro álootria	uoo on libro on	nico à D	ruvolloo our llo	nnlination :	do l'anáratour	
	ion des mouveme	nis de sco	ocers electriq	ues en libre-se	i vice a B	ruxelles sur l'a	pplication	ue roperateur	
Le 13 juillet 2	2020								
Scooter	10h	11h30	14h	16h	18h30	20h	22h30	différence km autono	omie
sblt931	rue du trône	idem	idem	idem	idem	idem	idem		
sbkr706	rue de la concorde	idem	idem	idem	idem	idem	idem		
sbkr749	rue lens	idem	idem	idem	idem	idem	idem		
sbkt555	rue des mélèzes	idem	idem	idem	idem	idem	idem		
sbkr739	place Brugmann	idem	idem	Chaussée d'Alse	idem	idem	idem	2,5	
sbkr677	Avenue Ducpétiaux	idem	perdu	perdu	perdu	perdu	perdu		
sbkl321	rue Moris	idem	idem	idem	perdu	perdu	perdu		
sbkt572	Boulevard Waterloo	idem	idem	idem	idem	idem	idem		
sbly803	Avenue Toison d'or	perdu	perdu	perdu	perdu	perdu	perdu		
sbkr688	rue saint-Ghislain	idem	idem	idem	idem	rue Legrelle	idem	5,5	
sbkr789	Rue du midi	perdu	perdu	perdu	perdu	perdu	perdu		
sbkl398	Place Rouppe	idem	idem	perdu	perdu	perdu	perdu		
sbkr584	Rue marché poulets	idem	idem	idem	idem	idem	perdu		
sbkr800	Bvd Anspach	idem	idem	idem	idem	idem	idem		
sbkt566	Quai bois à bruler	idem	idem	idem	perdu	perdu	perdu		
sbkl402	rue du lilas	idem	idem	idem	idem	idem	idem		
sbkr717	quai du commerce	idem	idem	idem	idem	idem	idem		
sbkr702	rue de l'association	perdu	perdu	perdu	perdu	perdu	perdu		
sbkr690	rue Braemt	idem	idem	idem	idem	perdu	perdu		
sbkl386	avenue Clays	perdu	perdu	avenue de la cou	idem	idem	idem	5,5	

Observation 2:

Observati	on des compte	urs de km d	es véhicules	d'une société	é de location	de scooter-e	électrique en	libre partage	à Bruxelle
Le 21 décemb	ore 2020								
Référence	Km								
sbkn887	2620								
sbld434	2794								
sbkp666	2700								
sbld343	1413								
sbkn972	2371								
sblv628	1592								
sbkp053	1941								
sbkp019	2876								
sbkp004	2370								
sbkn911	2531								
sbkn841	2940								
Moyenne	2377,09								

Listes des matériaux

Products			
Glider, for electric scooter {GLO} glider prod Resources	1	kg	85 kg
nessanses			
Materials/fuels			
Alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state {F			0.0772761 kg
Alkyd paint, white, without solvent, in 60% solution state {F		_	0.3668396 kg
Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc	-0.017	_	-1.451917 kg
Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U	0.06	kg	5.1244118 kg
Aluminium, wrought alloy {GLO} market for Cut-off, U	0.1275	•	10.889375 kg
Chromium {GLO} market for Cut-off, U	0.002007	kg	0.1714436 kg
Copper {GLO} market for Cut-off, U	0.008448	kg	0.7215172 kg
Ethylene, average {RER} market for ethylene, average Cı		_	0.4368991 kg
Ethylene, average {RoW} market for ethylene, average C	0.010358	kg	0.8846653 kg
Iron scrap, unsorted {GLO} iron scrap, unsorted, Recycled	-0.20213	kg	-17.26286 kg
Nickel, 99.5% {GLO} market for Cut-off, U	0.001171	kg	0.1000114 kg
Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for C	0.19125	kg	16.334063 kg
Polypropylene, granulate {GLO} market for Cut-off, U	0.091875	kg	7.8467555 kg
Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO} market for	0.003341	kg	0.2853347 kg
Reinforcing steel {GLO} market for Cut-off, U	0.556875	kg	47.560947 kg
Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for Cut-off, L	0.082806	kg	7.072222 kg
Synthetic rubber {GLO} market for Cut-off, U	0.036886	kg	3.1503389 kg
Zinc {GLO} market for Cut-off, U	0.004927	kg	0.4207676 kg
Powertrain, for electric scooter {GLO} produ	ction Cı	ut-off, U	12.593137 kg
•	•	•	J
Products Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources	·	kg	7.87339 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources	·	•	_
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels	1	kg	7.87339 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc	-0.08252	kg	7.87339 kg -0.64969 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U	-0.08252 0.412586	kg kg kg	7.87339 kg -0.64969 kg 3.2484521 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U Copper {GLO} market for Cut-off, U	-0.08252 0.412586 0.175	kg kg kg kg	7.87339 kg -0.64969 kg 3.2484521 kg 1.3778433 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U Copper {GLO} market for Cut-off, U Copper scrap, sorted, pressed {GLO} copper scrap, sorted,	-0.08252 0.412586 0.175 -0.035	kg kg kg kg kg	7.87339 kg -0.64969 kg 3.2484521 kg 1.3778433 kg -0.275569 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U Copper {GLO} market for Cut-off, U Copper scrap, sorted, pressed {GLO} copper scrap, sorted, Iron scrap, unsorted {GLO} iron scrap, unsorted, Recycled	-0.08252 0.412586 0.175 -0.035 -0.09759	kg kg kg kg kg	7.87339 kg -0.64969 kg 3.2484521 kg 1.3778433 kg -0.275569 kg -0.768334 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U Copper {GLO} market for Cut-off, U Copper scrap, sorted, pressed {GLO} copper scrap, sorted, Iron scrap, unsorted {GLO} iron scrap, unsorted, Recycled Permanent magnet, for electric motor {GLO} market for po	-0.08252 0.412586 0.175 -0.035 -0.09759 0.055	kg kg kg kg kg kg	7.87339 kg -0.64969 kg 3.2484521 kg 1.3778433 kg -0.275569 kg -0.768334 kg 0.4330365 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U Copper {GLO} market for Cut-off, U Copper scrap, sorted, pressed {GLO} copper scrap, sorted, Iron scrap, unsorted {GLO} iron scrap, unsorted, Recycled Permanent magnet, for electric motor {GLO} market for po Polyphenylene sulfide {GLO} market for Cut-off, U	-0.08252 0.412586 0.175 -0.035 -0.09759 0.055 0.032931	kg kg kg kg kg kg kg	7.87339 kg -0.64969 kg 3.2484521 kg 1.3778433 kg -0.275569 kg -0.768334 kg 0.4330365 kg 0.2592789 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U Copper {GLO} market for Cut-off, U Copper scrap, sorted, pressed {GLO} copper scrap, sorted, Iron scrap, unsorted {GLO} iron scrap, unsorted, Recycled Permanent magnet, for electric motor {GLO} market for po	-0.08252 0.412586 0.175 -0.035 -0.09759 0.055 0.032931	kg kg kg kg kg kg kg	7.87339 kg -0.64969 kg 3.2484521 kg 1.3778433 kg -0.275569 kg -0.768334 kg 0.4330365 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U Copper {GLO} market for Cut-off, U Copper scrap, sorted, pressed {GLO} copper scrap, sorted, Iron scrap, unsorted {GLO} iron scrap, unsorted, Recycled Permanent magnet, for electric motor {GLO} market for po Polyphenylene sulfide {GLO} market for Cut-off, U	-0.08252 0.412586 0.175 -0.035 -0.09759 0.055 0.032931	kg kg kg kg kg kg kg	7.87339 kg -0.64969 kg 3.2484521 kg 1.3778433 kg -0.275569 kg -0.768334 kg 0.4330365 kg 0.2592789 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U Copper {GLO} market for Cut-off, U Copper scrap, sorted, pressed {GLO} copper scrap, sorted, Iron scrap, unsorted {GLO} iron scrap, unsorted, Recycled Permanent magnet, for electric motor {GLO} market for proper polyphenylene sulfide {GLO} market for Cut-off, U Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for Cut-off, L	-0.08252 0.412586 0.175 -0.035 -0.09759 0.055 0.032931 0.562586	kg kg kg kg kg kg kg	7.87339 kg -0.64969 kg 3.2484521 kg 1.3778433 kg -0.275569 kg -0.768334 kg 0.4330365 kg 0.2592789 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U Copper {GLO} market for Cut-off, U Copper scrap, sorted, pressed {GLO} copper scrap, sorted, Iron scrap, unsorted {GLO} iron scrap, unsorted, Recycled Permanent magnet, for electric motor {GLO} market for pr Polyphenylene sulfide {GLO} market for Cut-off, U Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for Cut-off, L Products Controller, for electric scooter {GLO} production Cut-off Resources	-0.08252 0.412586 0.175 -0.035 -0.09759 0.055 0.032931 0.562586	kg kg kg kg kg kg kg	7.87339 kg -0.64969 kg 3.2484521 kg 1.3778433 kg -0.275569 kg -0.768334 kg 0.4330365 kg 0.2592789 kg 4.4294606 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Curesources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyce Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, Uecopper {GLO} market for Cut-off, Uecopper scrap, sorted, pressed {GLO} copper scrap, sorted, Iron scrap, unsorted {GLO} iron scrap, unsorted, Recycled Permanent magnet, for electric motor {GLO} market for perpolyphenylene sulfide {GLO} market for Cut-off, Uecontroller, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for Cut-off, Uecontroller, for electric scooter {GLO} production Cut-off, Uecontroller, for electric scooter {GLO} prod	-0.08252 0.412586 0.175 -0.035 -0.09759 0.055 0.032931 0.562586	kg kg kg kg kg kg kg	7.87339 kg -0.64969 kg 3.2484521 kg 1.3778433 kg -0.275569 kg -0.768334 kg 0.4330365 kg 0.2592789 kg 4.4294606 kg 1.71661 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U Copper {GLO} market for Cut-off, U Copper scrap, sorted, pressed {GLO} copper scrap, sorted, Iron scrap, unsorted {GLO} iron scrap, unsorted, Recycled Permanent magnet, for electric motor {GLO} market for polyphenylene sulfide {GLO} market for Cut-off, U Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for Cut-off, L Products Controller, for electric scooter {GLO} production Cut-off Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc	-0.08252 0.412586 0.175 -0.035 -0.09759 0.055 0.032931 0.562586	kg	7.87339 kg -0.64969 kg 3.2484521 kg 1.3778433 kg -0.275569 kg -0.768334 kg 0.4330365 kg 0.2592789 kg 4.4294606 kg 1.71661 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U Copper {GLO} market for Cut-off, U Copper scrap, sorted, pressed {GLO} copper scrap, sorted, Iron scrap, unsorted {GLO} iron scrap, unsorted, Recycled Permanent magnet, for electric motor {GLO} market for prolyphenylene sulfide {GLO} market for Cut-off, U Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for Cut-off, L Products Controller, for electric scooter {GLO} production Cut-off Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U	-0.08252 0.412586 0.175 -0.035 -0.09759 0.055 0.032931 0.562586	kg	7.87339 kg -0.64969 kg 3.2484521 kg 1.3778433 kg -0.275569 kg -0.768334 kg 0.4330365 kg 0.2592789 kg 4.4294606 kg 1.71661 kg -0.068935 kg 0.7582821 kg
Electric motor, for electric scooter {GLO} production Cu Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U Copper {GLO} market for Cut-off, U Copper scrap, sorted, pressed {GLO} copper scrap, sorted, Iron scrap, unsorted {GLO} iron scrap, unsorted, Recycled Permanent magnet, for electric motor {GLO} market for polyphenylene sulfide {GLO} market for Cut-off, U Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for Cut-off, L Products Controller, for electric scooter {GLO} production Cut-off Resources Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyc	-0.08252 0.412586 0.175 -0.035 -0.09759 0.055 0.032931 0.562586 1 1 -0.04016 0.441732 0.047244	kg k	7.87339 kg -0.64969 kg 3.2484521 kg 1.3778433 kg -0.275569 kg -0.768334 kg 0.4330365 kg 0.2592789 kg 4.4294606 kg 1.71661 kg

Capacitor, film type, for through-hole mounting {GLO} ma Capacitor, for surface-mounting {GLO} market for Cut-of Copper {GLO} market for Cut-off, U Diode, glass-, for through-hole mounting {GLO} market for Inductor, ring core choke type {GLO} market for Cut-off, Insulated gate bipolar transistor, electric vehicle application Integrated circuit, logic type {GLO} market for Cut-off, U Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for C Resistor, surface-mounted {GLO} market for Cut-off, U Resistor, wirewound, through-hole mounting {GLO} market Synthetic rubber {GLO} market for Cut-off, U Transformer, low voltage use {GLO} market for Cut-off, U Transistor, surface-mounted {GLO} market for Cut-off, U Transistor, surface-mounted {GLO} market for Cut-off, U Transistor, wired, small size, through-hole mounting {GLO}	0.001354 kg 0.002562 kg 0.000454 kg 0.001575 kg 0.581102 kg 0.002063 kg 0.003937 kg 0.00054 kg 0.002362 kg 0.001575 kg 0.007874 kg 0.003937 kg	0.0023249 kg 0.004398 kg 0.0007786 kg 0.0027033 kg 0.9975261 kg 0.0035414 kg 0.0067583 kg 0.0009272 kg 0.004055 kg 0.0027033 kg 0.0135166 kg 0.0067583 kg
Products Charger, for electric scooter {GLO} production Cut-off, Resources	1 kg	3 kg
Materials/fuels Aluminium scrap, new {GLO} aluminium scrap, new, Recyce Aluminium, cast alloy {GLO} market for Cut-off, U Capacitor, electrolyte type, < 2cm height {GLO} market for Capacitor, electrolyte type, > 2cm height {GLO} market for Capacitor, electrolyte type, > 2cm height {GLO} market for Copper {GLO} market for Cut-off, U Fan, for power supply unit, desktop computer {GLO} market for Inductor, miniature radio frequency chip {GLO} market for Inductor, ring core choke type {GLO} market for Cut-off, Integrated circuit, logic type {GLO} market for Cut-off, U Light emitting diode {GLO} market for Cut-off, U Liquid crystal display, unmounted {GLO} market for Cut-off, U Potentiometer, unspecified {GLO} market for Cut-off, U Resistor, surface-mounted {GLO} market for Cut-off, U Switch, toggle type {GLO} market for Cut-off, U Transformer, high voltage use {GLO} market for Cut-off, Transformer, low voltage use {GLO} market for Cut-off, U Transformer, low voltage use {GLO} market for Cut-off, U Transformer, low voltage use {GLO} market for Cut-off, U Transformer, low voltage use {GLO} market for Cut-off, U Transformer, low voltage use {GLO} market for Cut-off, U Transformer, low voltage use {GLO} market for Cut-off, U	0.181818 kg 0.003412 kg 0.033388 kg 0.000162 kg 0.026446 kg 5.55E-06 kg 0.108099 kg 0.000427 kg 0.000347 kg 0.003306 kg 0.134876 kg 0.134876 kg 0.004033 kg 9.72E-05 kg 0.005223 kg 0.165289 kg	0.5454545 kg 0.0102347 kg 0.1001653 kg 0.000486 kg 0.0793388 kg 1.666E-05 kg 0.3242975 kg 0.0012796 kg 0.0010413 kg 0.0099174 kg 0.4046281 kg 0.0120992 kg 0.0120992 kg 0.0012996 kg 0.0156694 kg 0.4958678 kg 0.0297521 kg
Cable, connector for computer, without plugs {GLO} market Cable, printer cable, without plugs {GLO} market for Cut		
Products Battery cell, Li-ion {RoW} production Cut-c Resources	1 kg	20 kg
Materials/fuels Aluminium, wrought alloy {GLO} market for Cut-off, U Anode, graphite, for lithium-ion battery {GLO} market for Battery separator {GLO} market for Cut-off, U	0.016485 kg 0.4011 kg 0.053655 kg	8.022 kg

Cathode, LiMn2O4, for lithium-ion battery {GLO} market f	0.32686 kg	6.5372 kg
Ethylene carbonate {GLO} market for Cut-off, U	0.15957 kg	3.1914 kg
Lithium hexafluorophosphate {GLO} market for Cut-off,	0.019037 kg	0.38074 kg
Nitrogen, liquid {RER} market for Cut-off, U	0.01 kg	0.2 kg
Polyethylene, low density, granulate {GLO} market for C	0.07329 kg	1.4658 kg
Sheet rolling, aluminium {GLO} market for Cut-off, U	0.016485 kg	0.3297 kg