

LES VÉHICULES ÉLECTRIQUES À BATTERIE ONT-ILS UN IMPACT ENVIRONNEMENTAL MOINDRE QUE LES AUTRES TECHNOLOGIES ?

PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES COMPAREES À UNE ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV) .



© Merlin Meunice

laissons
respirer
.brussels 

Septembre 2024

Quel est l'impact des véhicules électriques à batterie (VEB) dans les zones urbaines par rapport aux véhicules fonctionnant avec d'autres carburants ? Une analyse du cycle de vie (ACV) peut être utilisée pour répondre à cette question. Dans une étude préparée dans le cadre des analyses d'impact relatives au retrait progressif des véhicules « conventionnels » au diesel et à essence en Région bruxelloise¹, une analyse ACV compare l'impact environnemental des voitures particulières conventionnelles (essence et diesel) à celui des voitures particulières électriques alimentées par des batteries (VEB), des hybrides essence (VHE), des plug-in hybrides essence (PHEV), des véhicules électriques à pile à combustible (FCEV) et des véhicules au gaz naturel (« Gaz Naturel Comprimé » ou GNC)². Il s'agissait d'analyser différents types d'impact sur l'environnement : impact sur le changement climatique (émissions de CO₂), sur la qualité de l'air (particules fines, qui peuvent être à l'origine de problèmes respiratoires et de maladies cardiovasculaires, et impacter la santé publique) et sur la toxicité humaine. Les analyses ont également examiné l'importance du choix de VEB petits et légers.

Comme son nom l'indique, l'analyse du cycle de vie (ACV) est un outil permettant d'évaluer les performances environnementales et la consommation de ressources tout au long du cycle de vie. Le cycle de vie est divisé en deux parties principales, le cycle Well-to-Wheel (WTW) et le cycle du véhicule:

1. La partie WTW fait référence à la fois à l'impact environnemental de la production et du transport du vecteur énergétique (p.ex. le carburant, l'hydrogène ou l'électricité) dans la partie Well-to-Tank (WTT), et à la transformation en énergie dans les véhicules proprement dits dans la partie Tank-to-Wheel (TTW). Dans le cas des véhicules conventionnels, WTT fait référence à l'extraction, au traitement et au transport du pétrole brut ou du gaz, tandis que dans le cas des VEB, il s'agit de la production d'électricité à partir de diverses sources telles que le nucléaire, le gaz ou les énergies renouvelables, ainsi que de la distribution.
2. Le cycle du véhicule comprend la production de l'ensemble du véhicule, son entretien et enfin son élimination en fin de vie. Les composants spécifiques aux VE, tels que la batterie et le(s) moteur(s) électrique(s), sont traités séparément des autres composants du véhicule.

¹ https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/C1200_Volet_1_Partie_1_Technologie.pdf

² L'étude du retrait progressif des moteurs à combustion interne en Région bruxelloise (2020) est basée sur des études ACV réalisées par le groupe de recherche VUB-MOBI. Les résultats de l'ACV présentés pour les voitures particulières tiennent compte des critères suivants: Marché belge des modèles disponibles en 2018: citadines EURO-5 GNC, diesel ou essence (avec ou sans filtre à particules), et VEB. Voitures moyennes pour les PHEV et FCEV. La durée de vie moyenne des voitures particulières en Belgique est de 14,1 ans et le kilométrage annuel moyen de 14 856 km. Le bouquet électrique belge en 2015, où le nucléaire représentait 30 % du bouquet de production, les centrales au gaz naturel 23 %, l'éolien 6 %, le solaire 4 % et le charbon 3 %. Par ailleurs, 15 % de l'électricité a été importée de France et 10 % des Pays-Bas.

Le cycle de vie complet

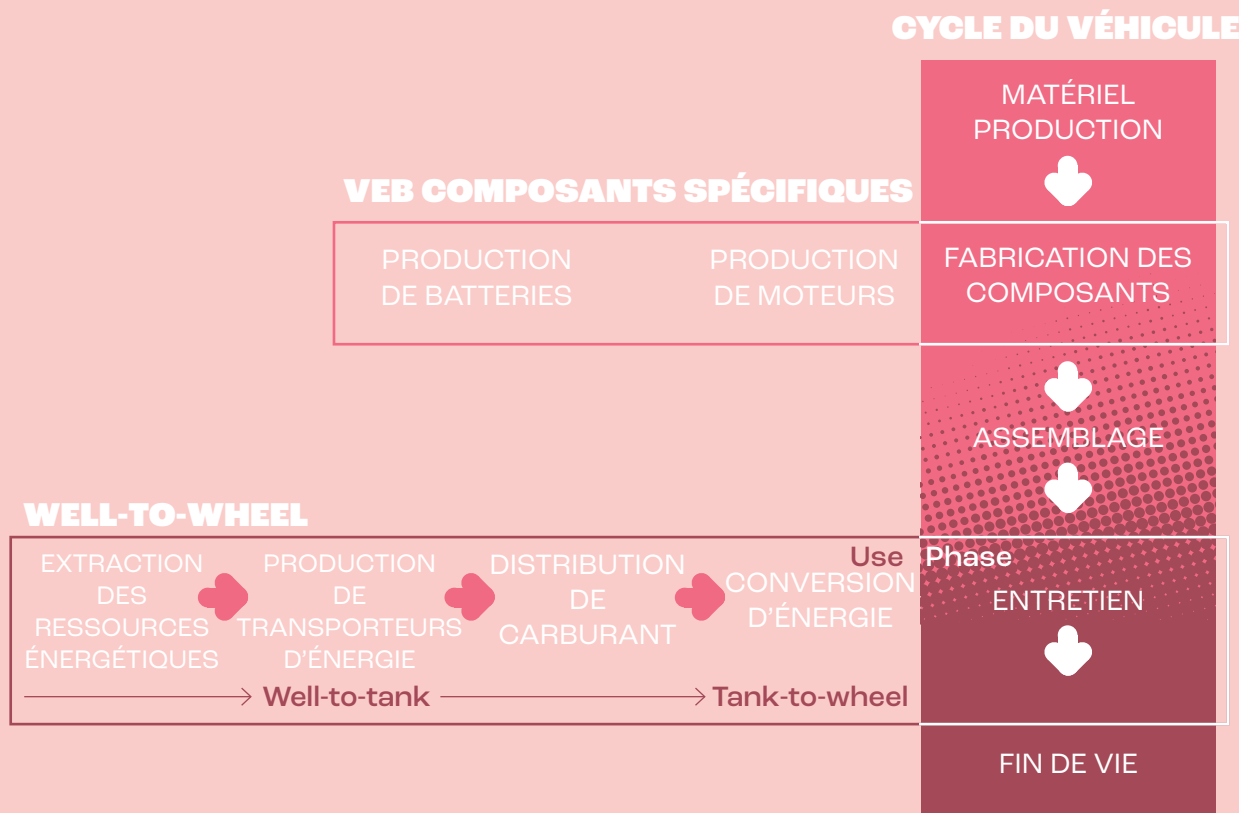


Figure 1: cycle de vie des véhicules particuliers³

La figure 1 montre les limites du système et les parties principales d'une ACV comparant les VEB et les véhicules conventionnels (diesel, essence). La phase d'utilisation se résume à la conduite et à l'entretien des véhicules pendant leur durée de vie. Les émissions des véhicules en phase d'utilisation résultent à la fois du processus de combustion dans les moteurs conventionnels (émissions d'échappement) et de l'usure des freins, des pneus et du revêtement routier (émissions non liées à l'échappement).

Le poids du véhicule est un facteur important pour déterminer la performance énergétique d'une technologie automobile particulière dans un contexte urbain. Un trajet urbain typique se caractérise en effet par des vitesses faibles, et de nombreux démarrages et arrêts. Dans ce dernier

cas en particulier, la masse du véhicule joue un rôle important en raison des accélérations et décélérations successives qui nécessitent plus d'énergie que pour maintenir un véhicule à une vitesse constante. Ce phénomène s'applique à tous les types de véhicules et de motorisations, mais les moteurs électriques présentent un avantage intrinsèque car ils sont pratiquement aussi efficaces à bas qu'à haut régime⁴.

L'étude ACV détermine l'impact sur différents aspects importants pour l'homme et l'environnement, tels que l'impact sur le changement climatique ou sur la production de particules fines, qui sont abordés ci-dessous. Pour les résultats concernant l'impact sur la toxicité humaine et d'autres analyses, veuillez vous référer à l'étude complète.

³ Van Mierlo, J., Messagie, M., & Rangaraju, S. (2017). Comparative environmental assessment of alternative fueled vehicles using a life cycle assessment. In *Transportation Research Procedia* (Vol. 25, pp. 3435–3445).

⁴ Hooftman, N., Messagie, M., Joint, F., Segard, J.-B., Coosemans, T. (2018). In-Life Range Modularity for Electric Vehicles: The Environmental Impact of a Range-Extender Trailer System. In *Appl. Sci.* (Vol. 8, 1016).

Impact sur le changement climatique: Émissions de CO₂ par type de véhicule

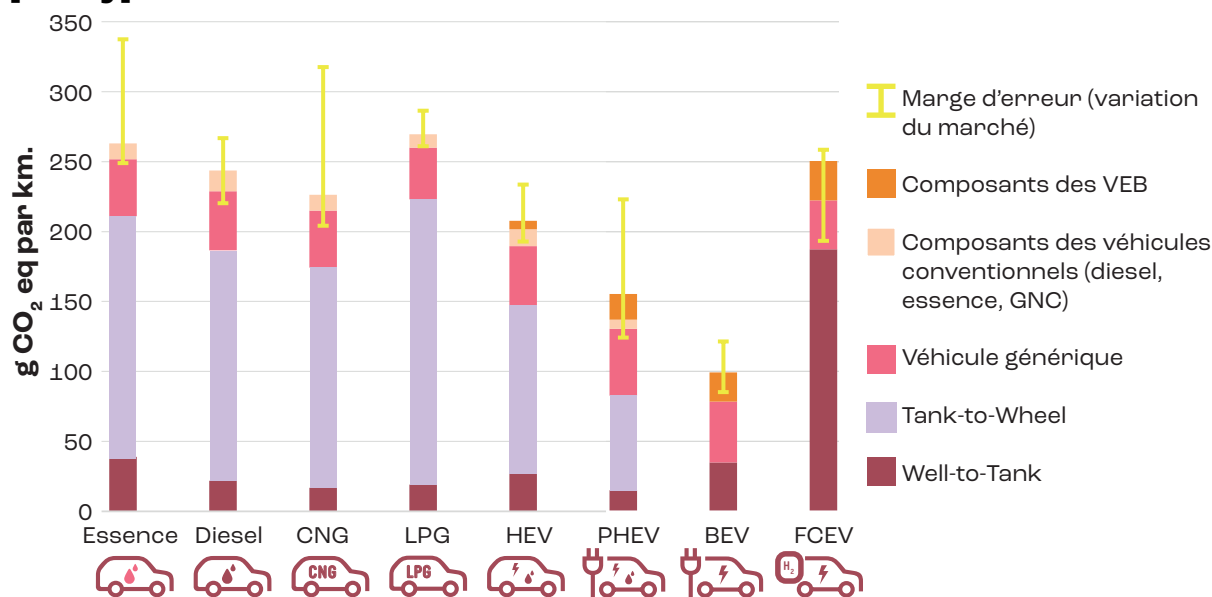


Figure 2: l'impact sur le changement climatique des différentes technologies automobiles exprimées en grammes d'équivalent CO₂ par kilomètre parcouru pour le bouquet électrique belge (en 2015). Pour les FCEV, l'hydrogène est principalement produit à partir de gaz naturel. Pour les VEB, des composants spécifiques sont traités séparément, tels que la batterie et le(s) moteur(s) électrique(s). Les résultats de l'ACV pour les voitures particulières tiennent compte des critères suivants : modèles disponibles sur le marché belge en 2018 : voitures citadines EURO-5 GNC, diesel ou essence (avec ou sans filtre à particules), et VEB; voitures particulières de taille moyenne pour les PHEV et les FCEV.

La figure 2 illustre les émissions de CO₂ des voitures particulières comparées, exprimées par kilomètre parcouru, réparties entre les éléments de la partie WTW et de la production du véhicule de l'ACV.

Il ressort de l'analyse que les citadines électriques à batterie chargées par le bouquet électrique belge obtiennent les meilleurs résultats : pas d'émissions directes à l'échappement et un impact plus limité au niveau des émissions Well-to-Tank. À titre de comparaison, les émissions totales de CO₂ sur l'ensemble du cycle de vie des VEB sont inférieures d'environ 60 % à celles d'une voiture particulière conventionnelle à essence ou au diesel.

Selon l'Agence européenne pour l'environnement⁵, la fréquence de recharge d'un PHEV détermine la réduction potentielle des émissions de CO₂ par rapport aux véhicules conventionnels. C'est ce qu'indique la marge d'erreur du modèle PHEV à la figure 2. Si le modèle ne roule que 30 % du temps en mode électrique, les émissions moyennes

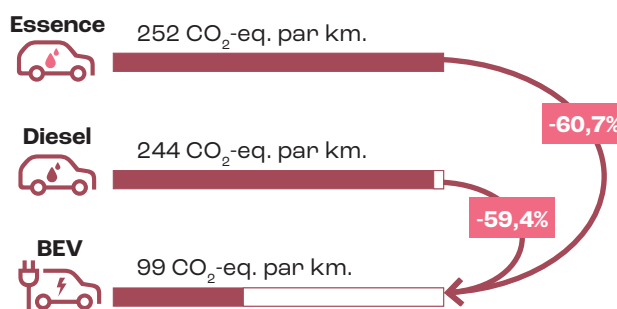


Figure 3: ACV émissions totales de CO₂

de CO₂ peuvent atteindre celles d'une voiture diesel. Pour les VEB, la source d'énergie utilisée pour produire l'électricité servant à les recharger a un impact significatif sur leur impact climatique.

Les véhicules électriques à pile à combustible (FCEV) ont pour l'instant un impact similaire à celui des véhicules conventionnels en raison des émissions substantielles dans la partie Well-to-Tank, car environ 95 % de la production d'hydrogène en Europe est basée sur le gaz naturel⁶. En outre, le méthane contribue jusqu'à 28 fois plus à l'effet de serre que le CO₂⁷.

⁵ Electric vehicles in Europe (2016).

⁶ Le rôle des vecteurs énergétiques gazeux dans une Belgique climatiquement neutre (2020). SPF Economie, P.M.E. Classes Moyennes et Energie.

⁷ Greenhouse Gas Protocol. (2016). Global warming potential values.

Les analyses ACV actuelles des voitures particulières au GNC tendent à sous-estimer les fuites de méthane. Ces fuites de méthane se produisent lors de la production de gaz naturel et lors de son transport (notamment par gazoduc).

Impact sur la qualité de l'air : formation de particules fines (PM₁₀) par type de véhicule

Les véhicules émettent des particules fines lors de la combustion des carburants dans les moteurs conventionnels (émissions d'échappement) ou par l'usure des freins, des revêtements routiers et des pneus (émissions non liées à l'échappement). L'inhalation de particules fines a un impact sur la santé. La figure 4 montre la contribution des différents types de voitures particulières à la formation de particules fines, exprimée en équivalents PM₁₀ par km, c'est-à-dire des particules ("Particulate Matter") dont la taille aérodynamique est inférieure ou égale à 10 micromètres. Les émissions de PM primaires et secondaires sont indiquées. Les particules primaires sont celles émises directement par les véhicules. Les particules fines secon-

dares sont formées par la réaction chimique des gaz d'échappement du véhicule (par exemple des oxydes d'azote) avec d'autres composants chimiques présents dans l'air. Cette fois encore, les émissions de PM sont réparties entre les phases WTW et les phases de production de l'ACV. Il faut tenir compte du fait que les émissions de particules fines provenant de la production des composants des VEB et des véhicules conventionnels, ainsi que de la production de véhicules génériques, se produisent pendant les opérations d'extraction du minerai de fer et du cuivre, par exemple. Cette exploitation n'a pas lieu en Belgique et se produit principalement dans des régions moins peuplées.

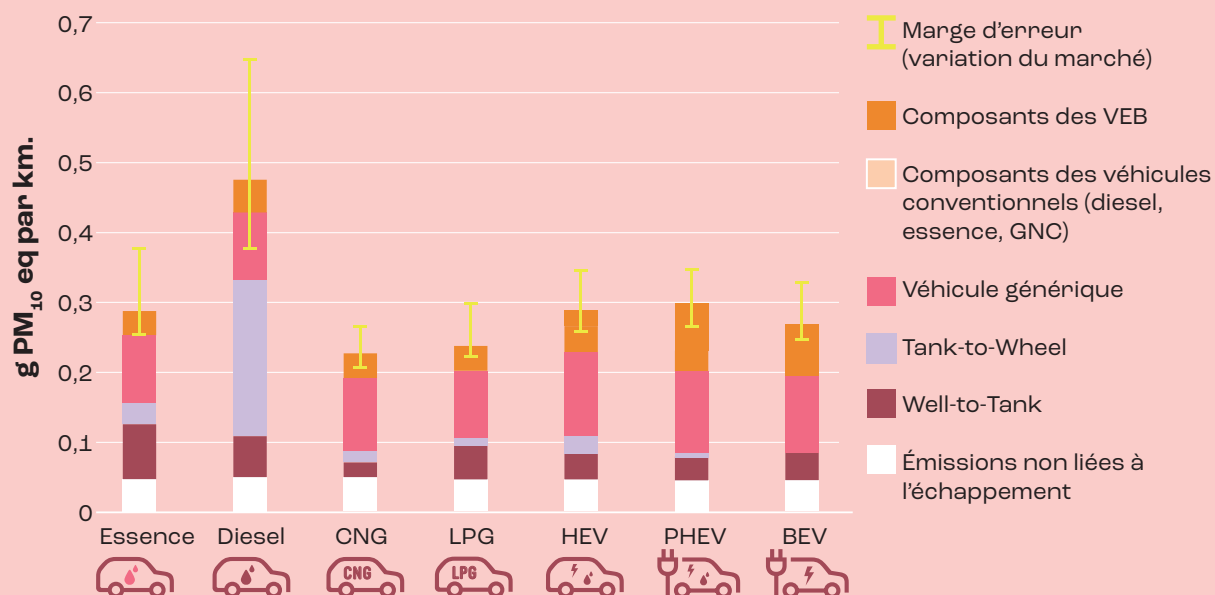


Figure 4 : formation de particules primaires et secondaires pour différentes catégories de véhicules. Dans la phase d'utilisation de l'ACV, les émissions associées aux véhicules résultent à la fois du processus de combustion dans les moteurs conventionnels (émissions d'échappement) et de l'usure des freins, des pneus et du revêtement routier (émissions non liées à l'échappement). Les résultats de l'ACV pour les voitures particulières tiennent compte des critères suivants : modèles disponibles sur le marché belge en 2018 : voitures citadines EURO-5 GNC, diesel ou essence (avec ou sans filtre à particules), et VEB. Voitures particulières de taille moyenne pour les PHEV et les FCEV.

De tous les types de voitures particulières, ce sont les voitures diesel qui contribuent le plus aux émissions de particules fines, principalement en raison des émissions très élevées lors de la phase d'utilisation (Tank-to-Wheel). Depuis l'introduction des filtres à particules dans les voitures au diesel en 2011, les émissions de PM ont diminué de manière significative. Toutefois, l'endommagement ou la suppression illégale d'un tel filtre à particules peut entraîner à nouveau une augmentation de la quantité de particules fines émises. Les véhicules diesel plus récents pourraient enregistrer des réductions plus importantes des émissions directes de PM.

Les véhicules au GNC ont les émissions de particules fines les plus faibles de tous les véhicules à carburant. La partie Tank-to-Wheel des véhicules au GNC est constituée d'émissions secondaires. Les VEB n'ont pas d'émissions d'échappement, la plupart des émissions de PM incluses dans le graphique n'ont pas lieu à Bruxelles, mais pendant les opérations minières nécessaires pour les composants. Les seules émissions directes d'un VEB à Bruxelles proviennent de l'usure des

pneus, des freins et du revêtement routier. Contrairement à ce que l'on pourrait attendre en raison de la masse systématiquement plus élevée du véhicule du fait de la présence de la batterie, les VEB ont en fait une contribution légèrement inférieure aux émissions de particules fines non liées à l'échappement. En effet, les véhicules électriques recourent beaucoup moins au freinage mécanique grâce à la possibilité de récupération du freinage sur le moteur (électrique).

Si l'on se limite à l'impact local (par exemple dans le contexte bruxellois), il suffit de prendre en compte les émissions non liées aux gaz d'échappement et la production de particules fines lors des phases WTT et TTW. Les VEB plus lourds génèrent beaucoup plus de particules fines non liées à l'échappement, étant donné que l'augmentation de la masse du véhicule nécessite des forces de freinage plus importantes, ce qui accroît l'usure des freins, des pneus et du revêtement routier. La figure 5 montre que pour améliorer la qualité de l'air au niveau local, il est important d'opter pour des véhicules plus légers.

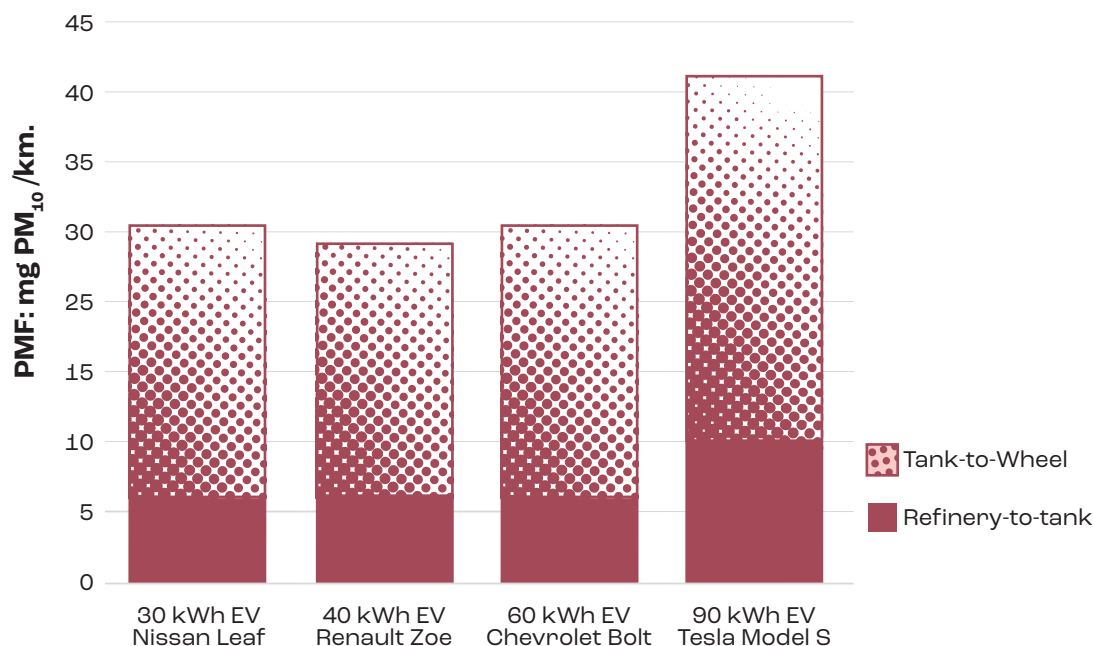


Figure 5: impact local en termes d'émissions de particules fines, en tenant compte uniquement de la production de carburant en Belgique (refinery-to-tank, RTT), des émissions tank-to-wheel et des émissions non liées à l'échappement. La masse totale par véhicule est de : Nissan Leaf 1591 kg (véhicule), 272 kg (batterie) ; Renault Zoe 1450 kg (véhicule), 305 kg (batterie) ; Chevrolet Bolt 1624 kg (véhicule), 435 kg (batterie) ; Tesla Modèle S 2200 kg (véhicule), 540 kg (batterie).⁷

⁷ Hooftman, N., Messagie, M., Joint, F., Segard, J.-B., Coosemans, T. (2018). In-Life Range Modularity for Electric Vehicles: The Environmental Impact of a Range-Extender Trailer System. In Appl. Sci. (Vol. 8, 1016).

Grâce à l'absence d'émissions de gaz d'échappement au niveau local et à un fonctionnement silencieux (à faible vitesse), les véhicules électriques à batterie sont mieux adaptés au contexte urbain. De plus, les VEB, chargés avec le bouquet électrique belge (en 2015), ont le moins d'impact sur les émissions de CO₂. Lorsque la contribution des énergies renouvelables augmente, la contribution des VEB au changement climatique peut être encore réduite. Cependant, comme pour toutes les autres technologies automobiles, le poids du véhicule joue un rôle important dans la performance énergétique. C'est pourquoi le choix de VEB plus petits et plus légers est également important pour l'électrification des flottes. Enfin, le potentiel de réemploi et de recyclage de certaines pièces spécifiques aux VE peut également jouer un rôle important dans l'impact environnemental des VEB.

Pour plus d'informations sur les différentes possibilités de transport et sur l'infrastructure de recharge pour les véhicules électriques en Région bruxelloise, cliquez ici:

- <https://environnement.brussels/citoyen/nos-actions/plans-et-politiques-regionales/low-emission-mobility-ou-mobilite-basses-emissions-rendre-lair-plus-respirable-en-limitant-la-circulation-des-vehicules-polluants?highlight=roadmap>
- <https://electrify.brussels/fr>