

> sur la route au lieu de 125 grammes. Et ceux qui, à l'avenir, équiperont le toit de leur maison de cellules solaires capables de fournir toute l'énergie d'une voiture n'émettraient plus que 10 grammes, au lieu des 76 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre émis en rechargeant la batterie avec de l'électricité allemande de 2016.

Beaucoup d'écobilans sérieux présentent les voitures électriques rechargées avec de l'électricité allemande actuelle comme à peu près aussi polluantes que les voitures à moteurs thermiques économiques. Cependant, la Plate-forme nationale pour l'électromobilité et le ministère de l'Environnement accordent un avantage de 12 à 16% à la propulsion par batterie, et, dans une étude récente, Eckart Helmers considère les voitures électriques comme moins polluantes que les voitures thermiques. Selon lui, c'est déjà le cas si l'on tient compte du mix électrique allemand de 2013; or, depuis, les émissions par kilowattheure ont diminué de quelque 10%.

## LES ÉTUDES SE SUIVENT ET NE SE RESSEMBLENT PAS

Dans un rapport publié en 2017, Dieter Teufel et son équipe de l'UPI donnaient un léger avantage écologique aux véhicules électriques. Récemment, seuls ses collègues de l'Ifeu attribuaient encore une meilleure note au diesel économique. Dans une étude de 2016, l'Agence fédérale de l'environnement montre par des calculs – que ses chercheurs ont mis à jour en août 2017 – que les véhicules électriques ont de l'avance si l'on suppose que la transition énergétique va se poursuivre. Les avantages écologiques de l'électromobilité ne seraient toutefois acquis que vers la neuvième année d'utilisation...

Ce qui sépare ces études tient à des détails: si l'on compare des véhicules de taille similaire, le diesel, qui émet plus de particules et d'oxydes d'azote, mais moins de CO<sub>2</sub> que l'essence, se rapproche des voitures électriques, du moins quand la batterie de celles-ci est assez importante. En revanche, lorsque c'est le nombre moyen de voitures immatriculées que l'on examine, alors l'influence des nombreuses voitures thermiques massives et surpuissantes se fait sentir: plus petites en moyenne, les voitures Tesla ont alors un avantage intrinsèque. Les présupposés des études et les années qui y sont prises en référence influent aussi beaucoup sur les conclusions. «Lorsque des travaux sont publiés, leurs hypothèses de départ sont souvent déjà dépassées, tant la situation évolue vite sur le marché des voitures électriques», pointe Peter Kasten.

Comme on l'a déjà mentionné, le bilan écologique est très différent si l'on ne recharge son véhicule électrique qu'avec de l'électricité verte produite par une installation spéciale.



Dans ce cas, les voitures électriques deviennent insurpassables, quels que soient les bilans existants. Selon une étude de l'Ifeu, une fois que l'on a tenu compte de tous les facteurs, rouler au diesel produit environ 190 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre parcouru pendant le cycle de vie d'un véhicule, tandis qu'une voiture électrique alimentée à l'électricité éolienne n'en produit que 60 grammes.

Soit dit en passant, en Allemagne, ces chiffres portent en eux-mêmes une tentation: le pays pourrait améliorer son bilan carbone en réduisant les émissions sur la route à l'aide de ses éoliennes, et en passant sous silence les émissions importantes entraînées par la fabrication à distance – des batteries qu'il utilise. Où qu'ils soient produits, les gaz à effet de serre ont cependant le même effet sur le climat. Une telle approche n'aurait rien de sérieux.

## DE NOMBREUX AUTRES FACTEURS À CONSIDÉRER

Nombre de facteurs modifient par ailleurs le bilan écologique des véhicules électriques. Des inconvénients se font jour, par exemple, si l'on souhaite que les voitures électriques aient une autonomie de 400 kilomètres au lieu des 150 à 200 kilomètres habituels. Pour ce faire, une batterie deux fois plus grosse est nécessaire, et il faudra parcourir un trajet irréaliste de 300 000 kilomètres pour compenser l'empreinte écologique initiale. En outre, un tel véhicule devra transporter une batterie deux fois plus lourde et consommera donc plus d'énergie.

En Allemagne, le climat, froid et brumeux pendant l'hiver, est un autre facteur à

La Chine est un important fabricant de batteries. Or une grande partie de son électricité, qui sert notamment à cette fabrication, est produite par des centrales thermiques au charbon. Cela détériore gravement le bilan écologique des véhicules électriques.

considérer. Le chauffage et le ventilateur du véhicule puiseront dans la batterie, alors que dans une voiture à moteur thermique, la chaleur utilisée pour chauffer l'habitacle est un sous-produit du fonctionnement du moteur thermique. C'est pour cette raison que des chercheurs de l'université technique de Munich ont envisagé sérieusement de chauffer l'habitacle en brûlant du bioéthanol.

Lorsque des millions de véhicules électriques seront en circulation, des problèmes surgiront aussi si ces voitures sont rechargées à un moment défavorable. L'augmentation de la demande en énergie à des moments où il y a peu d'électricité renouvelable disponible aurait un impact négatif sur le mix électrique. Les voitures devront donc être dotées d'un système intelligent de contrôle de la charge, qui communique avec le réseau électrique afin de déterminer quand faire le plein d'énergie.

Dans des pays où le mix énergétique contient une proportion élevée d'énergie renouvelable, comme le Danemark, l'Autriche ou la Suisse, les bilans écologiques des véhicules électriques sont bien meilleurs. En Autriche, par exemple, environ 150 grammes de dioxyde de carbone sont libérés par kilowattheure, soit seulement 28% de la valeur allemande d'après 2016, ce qui réduit les émissions calculées d'une BMW i3 de 66 à 19 grammes par kilomètre parcouru.

démarrages et de freinages fréquents, elles récupèrent une grande part de l'énergie cinétique, contrairement aux moteurs thermiques, particulièrement inefficaces sur ce point. Leur inconvénient est cependant de devoir propulser un poids plus important.

En Allemagne, tout indique que les voitures électriques deviendront de plus en plus propres, non pas en raison des progrès techniques à venir, mais plutôt grâce à l'amélioration prévisible du mix énergétique. Même un véhicule électrique acheté en 2017 contribuera probablement à la baisse des émissions calculées en 2025. Selon le Ministère fédéral de l'environnement, le bilan écologique au kilomètre d'une voiture électrique pourrait s'améliorer d'environ un tiers au cours de 12 ans de durée de vie. En 2029, le facteur d'émission de l'électricité devrait tomber à environ 350 grammes d'émissions de CO<sub>2</sub> par kilowattheure. Un ordre de grandeur considéré comme réaliste selon plusieurs scénarios. Ainsi, l'Öko-Institut et l'Institut Fraunhofer pour la recherche sur les systèmes et l'innovation (ISI) ont compilé huit de ces prévisions et trouvé des facteurs d'émission variant de 233 à 376 grammes de CO<sub>2</sub> par kilowattheure produit.

## LA GIGAFACTORY DE TESLA RÉDUIRA-T-ELLE L'IMPACT DE LA FABRICATION DES BATTERIES ?

La production de batteries augmentera aussi beaucoup dans les années à venir. Dès que le fondateur de Tesla, Elon Musk, aura achevé au Nevada sa Gigafactory pour batteries, conçue pour une production moins émettrice de gaz à effet de serre, les experts s'attendent à une réduction de moitié des émissions associées à la fabrication des batteries. Bien entendu, produire dans des pays comme la Norvège ou l'Islande, où beaucoup d'électricité propre est disponible grâce à l'hydroélectricité et à la géothermie serait encore mieux. En revanche, des usines allemandes de batteries n'auraient qu'un léger avantage sur des usines chinoises.

Tout cela ne joue aucun rôle dans le bilan écologique d'une voiture électrique immatriculée aujourd'hui, puisque sa batterie est déjà produite. Pour autant, de nombreux constructeurs ne vendent pas les batteries, mais les louent, afin d'apaiser les inquiétudes des acheteurs de voitures au sujet de cette nouvelle technologie. Dès lors, si ce composant essentiel d'un véhicule électrique devait être remplacé, il faudra ajouter une nouvelle empreinte écologique à l'analyse du cycle de vie, mais sur la base de conditions de production améliorées.

La batterie remplacée ne serait donc pas qu'une perte sur le plan écologique, mais pourrait amener un gain. Par ailleurs, de nombreux ➤

## Une batterie chauffe quand on en tire du courant au-delà de 85 % de sa charge

Il est aussi important de tenir compte de la façon dont les batteries sont employées : les utiliser presque vides ou les charger à plein diminue leur durée de vie. Autre aspect : une batterie chauffe quand on en tire du courant au-delà de 85% de sa capacité de charge. Le premier retour d'expérience acquis avec les modèles Tesla suggère cependant qu'il est possible de faire durer les batteries plus longtemps qu'on ne le craignait.

Les voitures électriques ont aussi beaucoup d'avantages en usage urbain. En cas de



Dans un projet pilote visant à donner une seconde vie aux batteries de voitures électriques, le constructeur automobile Daimler a constitué, à partir de celles des Smart électriques, un stockage d'électricité de 13 kilowattheures, qu'il a relié au réseau électrique.

► experts pensent aujourd'hui qu'il est aussi possible de donner une seconde vie aux batteries de voiture. Si une batterie a des performances dégradées, cela ne tient peut-être qu'à quelques dizaines d'éléments parmi les milliers dont elle est composée. Des réparateurs pourraient les remplacer puis vendre des batteries « révisées ». Ou bien on pourrait réutiliser les batteries usagées pour stocker l'électricité produite sur les panneaux photovoltaïques des toits pendant la journée, afin de s'en servir le soir.

## IL N'Y A PAS QUE LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

Jusqu'à présent, nous n'avons parlé que des émissions de gaz à effet de serre. La prise en compte d'autres polluants ou dégradations environnementales conduirait à des chiffres très différents. À cet égard, le cas des pneumatiques est typique : l'abrasion des pneus est en effet une source importante de particules fines, et c'est parfois un problème sur les carrefours fréquentés. Or le conducteur d'un véhicule électrique peut, dès le démarrage, exploiter tout le couple moteur. Il en résulte d'importantes forces au niveau du contact pneu-chaussée, et donc le dégagement de davantage de poussières fines. Les quinze experts de Klaus Beckmann proposent pour cette raison de régler les moteurs électriques de façon à éviter les accélérations trop violentes.

Autre point à considérer : les véhicules électriques ne fonctionnent pas tous avec une batterie. Dans les voitures à pile à combustible, de l'hydrogène est transformé en électricité pour entraîner un moteur électrique. À l'avenir, cet hydrogène, aujourd'hui obtenu surtout à partir de gaz naturel, pourrait être produit à partir de l'énergie éolienne excédentaire. Or le ravitaillement d'une voiture à pile à combustible est

rapide, ce qui est un gros avantage. Toutefois, pour que des voitures ainsi équipées deviennent utilisables au quotidien, il faudrait créer tout un réseau de stations-service à l'hydrogène, un gaz hautement explosif, et les investissements nécessaires seraient énormes.

Une autre possibilité serait de transformer l'hydrogène en méthane par hydrogénation du CO<sub>2</sub>, puis de stocker ce méthane de synthèse dans le réseau de gaz. Les voitures à gaz naturel pourraient fonctionner à partir de ce gaz produit pour ainsi dire à l'électricité. Une telle expérience est en cours chez Audi. Dans des projets similaires, on tente de produire des combustibles artificiels liquides à partir de l'électricité. En novembre 2017, le président du Club de Rome, Ernst Ulrich von Weizsäcker, évoquant ces deux possibilités, a mis en garde contre l'adoption prématurée des moteurs électriques fonctionnant sur batterie.

Ainsi, les voitures électriques ne sont pas automatiquement la panacée climatique que présentent les industriels et les politiques. Elles pourront cependant contribuer de façon significative à rendre le transport routier plus respectueux de l'environnement. Certains pensent même que l'électromobilité représente la seule stratégie réaliste. Pour que cela soit le cas, il faut dès aujourd'hui tracer la bonne voie : la production et l'utilisation des véhicules alimentés par batterie doivent devenir plus efficaces ; l'électricité nécessaire doit provenir de davantage de sources d'énergie renouvelables ; et les voitures de luxe équipées de moteurs et de batteries surpuissantes doivent être réglementées. Les automobilistes habitués à pouvoir à tout moment se déplacer confortablement en voiture devront aussi faire évoluer leurs attentes et limiter le kilométrage parcouru. ■

## BIBLIOGRAPHIE

D. Hall et Nic Lutsey (dir.), **Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions**, International Council on Clean transportation (ICCT), février 2018.

E. Helmers et M. Weiss, **Advances and critical aspects in the life-cycle assessment of battery electric cars**, *Energy and Emission Control Technologies*, vol. 5, pp. 1-18, 2017.

M. Chéron et al., **Quelle contribution du véhicule électrique à la transition écologique en France ?**, Fondation pour la nature et l'homme, décembre 2017 (rapport téléchargeable sur <https://bit.ly/2EeQUN4>).

J. F. Peters et al., **The environmental impact of Li-ion batteries and the role of key parameters – A review**, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, pp. 491-506, 2017.