

# L'avenir se joue sous tension

**L'électromobilité dans le système de transport des prochaines décennies**

Version abrégée de l'étude de TA-SWISS «Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz»

L'étude «Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz» a été réalisée avec le soutien de l'Office fédéral de l'énergie OFEN, de l'Office fédéral des routes OFROU et de l'Office fédéral de l'environnement OFEV.

Peter de Haan und Rainer Zah

Avec des contributions de Hans-Jörg Althaus, Katrin Bernath, Frank Bruns, Denise Fussen, Marcel Gauch, Patrick Wäger, Rolf Widmer

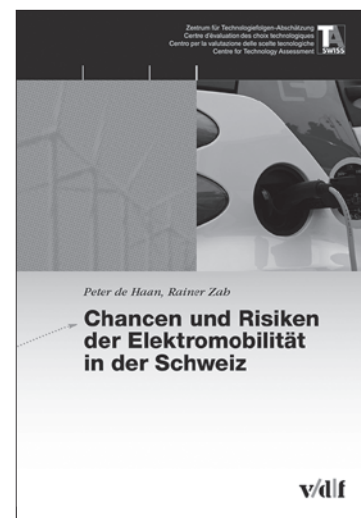
### **Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz**

TA-SWISS, Centre d'évaluation des choix technologiques (éd.). vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 2013.

ISBN 978-3-7281-3487-5

L'étude peut être téléchargée gratuitement en open access: [www.vdf.ethz.ch](http://www.vdf.ethz.ch)

La version abrégée est également disponible en ligne: [www.ta-swiss.ch](http://www.ta-swiss.ch)



## Table des matières

L'électromobilité en bref .....	4
<b>1 Mondes possibles de la politique énergétique .....</b>	<b>5</b>
Une équipe de projet interdisciplinaire – une analyse aux facettes multiples .....	6
<b>2 Du véhicule individuel au trafic global .....</b>	<b>7</b>
Différents niveaux d'électrification .....	8
<b>3 Sur la voie d'une mobilité plus durable? .....</b>	<b>9</b>
<b>4 L'efficacité dirige la circulation .....</b>	<b>12</b>
Impressum .....	14

## L'électromobilité en bref

Les voitures électriques sont porteuses d'espoir d'une mobilité moins nuisible pour l'environnement. Ces nouveaux véhicules remportent déjà un franc succès sur le marché: la Nissan Leaf, par exemple, figure d'ores et déjà parmi les 25 modèles de voiture les plus vendues au monde. Si l'autonomie limitée des batteries freine pour l'heure une dissémination rapide des voitures électriques, cette situation ne devrait pas perdurer au vu des progrès techniques attendus.

### Leurs chances...

L'électromobilité a pour grand avantage de réduire la dépendance vis-à-vis des énergies fossiles et d'abaisser les émissions de substances nocives liées à la circulation, à condition toutefois que l'électricité alimentant les batteries provienne de sources d'énergies renouvelables ou à faible teneur en CO<sub>2</sub>. Le mix énergétique de la Suisse, qui privilégie l'énergie hydraulique, offre par conséquent de bonnes conditions préalables pour une exploitation durable des voitures électriques. Qui plus est, si elles sont utilisées pour stocker de l'énergie à l'échelle locale, elles peuvent même soutenir l'extension massive des énergies renouvelables telle que prévue.

Les technologies de l'information joueront un rôle décisif en matière de sécurité, en particulier dans le cas des voitures électriques légères et de petite taille. L'utilisation systématique de ces technologies pourrait en outre permettre d'établir un trait d'union entre les transports individuels et les transports publics. L'électromobilité pourrait ainsi favoriser la mise en place de modèles innovants du transport combiné.

Les avantages de l'électromobilité pèseront cependant dans la balance surtout à plus long terme car en moyenne, seule une nouvelle voiture sur dix en Suisse

fonctionnera à l'électricité en 2025 et il faudra attendre 2035 pour que ce chiffre passe à un véhicule sur deux. Si les véhicules les plus efficaces s'imposent, indépendamment de leur mode de propulsion, l'ensemble du trafic motorisé émettra d'ici à 2050 deux fois moins de CO<sub>2</sub> qu'aujourd'hui.

### ... leurs risques...

Dans l'euphorie qui entoure les voitures électriques et leurs vertus écologiques au volant, on oublie souvent que leur construction est très nuisible pour l'environnement: tant l'extraction des matières premières que la fabrication de la batterie et de l'électronique pèsent négativement dans le bilan environnemental. L'électromobilité contribue de ce fait à déplacer les effets négatifs des transports suisses vers les pays où les véhicules sont construits ou les matières premières extraites.

Si les véhicules sont propulsés à l'électricité et non plus à l'essence ou au diesel, les recettes publiques provenant des droits sur les carburants diminuent forcément, ce qui réduit les moyens à disposition pour l'entretien du réseau routier. A cela s'ajoute le fait que les moteurs à combustion interne traditionnels deviennent de plus en plus économes. A moyen terme, les fonds pour l'infrastructure des transports devraient donc se tarir.

Enfin, l'existence de voitures qui roulent à bon prix et sont peu polluantes réduit la motivation de renoncer à des trajets superflus ou d'emprunter les transports publics, car l'expérience montre que l'on consomme davantage ce qui est bon marché et ne donne pas mauvaise conscience.

### ... et les principales recommandations

L'étude de TA-SWISS recommande de mettre en place des modèles de mobility pricing afin de compenser la disparition progressive des recettes provenant des droits sur les carburants.

La taxe sur le trafic doit être conçue de manière à promouvoir tant l'emploi de véhicules efficaces que l'utilisation combinée des moyens de transport publics et individuels.

En ce qui concerne l'autorisation de mise sur le marché de nouvelles voitures de tourisme, les véhicules efficaces doivent également bénéficier d'un traitement préférentiel. A cet égard, il faudra tenir compte non seulement de la consommation d'énergie pendant la phase de fonctionnement, mais aussi de l'impact environnemental exercé par les véhicules sur l'ensemble de leur cycle de vie.

Afin d'éviter les effets de rétroaction négatif, la mobilité doit être renchérie dans son ensemble de manière à ce que les véhicules plus écologiques et moins chers ne conduisent pas à une augmentation généralisée de la circulation.

Enfin, il faudra établir des directives en matière de conception et d'élimination afin de pouvoir recycler les matériaux utilisés et réduire la dépendance vis-à-vis des matières premières de base.

# 1 Mondes possibles de la politique énergétique

L'avenir est lourd d'incertitudes. L'étude sur les chances et les risques de l'électromobilité pour la Suisse tient compte de ces circonstances, puisqu'elle examine le système de transport de notre pays d'ici à l'an 2050 selon trois scénarios.

Depuis l'avènement du transport de masse des personnes et des marchandises, l'évolution future du système n'a cessé de faire l'objet de supputations. On citera volontiers une estimation du London Times de 1894 qui, face à l'augmentation fulgurante du nombre de calèches, prédisait que la ville se retrouverait sous deux mètres et demi de fumier en l'espace de cinquante ans. Un pronostic qui sera rapidement démenti, comme on le sait, par les innovations techniques. La prédiction de Gottlieb Daimler n'a pas connu un meilleur sort: ce dernier estimait en effet qu'au tournant du XX<sup>e</sup> siècle, on construirait 5000 automobiles au maximum car il n'y aurait plus de chauffeurs pour les conduire.

Malgré les incertitudes qui pèsent sur l'avenir, l'étude sur l'électromobilité en Suisse mandatée par TA-SWISS émet des hypothèses sur le système de transport pour ces quarante prochaines années. L'analyse ne se contente pas de prolonger simplement la tendance actuelle, bien au contraire, puisque la projection de l'évolution actuelle à l'avenir ne constitue que l'un des trois scénarios envisagés. Ces visions d'avenir sont toutes du domaine du possible et dépendent des conditions-cadres que les décideurs politiques mettront en place. En outre, l'étude teste la solidité de ses conclusions en modifiant l'évolution d'importantes variables par rapport à ses prévisions de base, par exemple l'interruption du progrès technique des voitures ou au contraire, un développement plus rapide («analyse de sensibilité»).

## Scénario 1: tout continue comme avant

Le scénario «Fonctionnement normal» prolonge les tendances du passé et part du principe que l'avenir automobile de la Suisse dépendra principalement du progrès technique et des forces du marché. L'Etat prescrit des normes d'efficacité plus élevées pour les voitures neuves conformément aux progrès techniques – le consommateur n'a donc pas besoin de s'habituer à des voitures de plus petite taille. Il s'agit là d'une avancée déjà considérable pour les moteurs à combustible interne traditionnels. Comme les voitures à essence gagnent en efficacité, elles roulent dans l'ensemble à moindre prix, bien que leur taille ne diminue pas. Autrement dit, même si le cours du pétrole, qui est de quelque 120 dollars le baril aujourd'hui, devait atteindre 200 dollars au plus, le prix par kilomètre parcouru diminue. L'optimisation technique des moteurs à combustion interne, qui est envisagée dans le scénario du «Fonctionnement normal», vaut également pour les deux autres visions d'avenir.

Dans le contexte du «Fonctionnement normal», les grosses berlines et les véhicules tout terrain équipés de moteurs à combustion interne traditionnels sont bien représentés. Les voitures électriques s'imposent dans des niches de marché, comme par exemple la circulation en ville ou les voitures de location. On ne voit guère de petits véhicules novateurs à propulsion électrique, mais de nombreux vélos sont électrifiés.

Du fait de la prospérité croissante dans le monde, de plus en plus de personnes se déplacent augmentant ainsi la demande d'électricité et d'essence avec les conséquences que l'on sait pour l'environnement. A l'instar des autres pays industrialisés, la Suisse Suisse n'accorde qu'une importance secondaire à la protection du climat et prend en compte le fait que l'objectif d'un

réchauffement maximal de la planète de deux degrés ne soit pas atteint.

L'infrastructure technique pour les véhicules électriques, c'est à dire. les stations-service électriques et les bornes de recharge rapide, fait son apparition en Suisse sans l'intervention de l'Etat. Une politique énergétique axée sur la durabilité est timidement mise en œuvre: conformément au scénario du «tout continue comme avant» de l'Office fédéral de l'énergie, les centrales nucléaires restent dans le réseau et les sources d'énergies renouvelables ne sont développées qu'avec réticence et avant tout à l'étranger.

## Scénario 2: l'efficacité en ligne de mire

Comme son nom l'indique, le scénario «Efficacité» met l'accent sur des voitures aussi efficaces que possible, indépendamment de leur mode de propulsion. L'objectif principal ici est que les transports doivent contribuer plus que par le passé aux économies d'énergie. Les véhicules sont en moyenne plus petits qu'aujourd'hui et les voitures hybrides sont largement répandues; le parc automobile se différencie peu à peu en berlines, qui sont utilisées sur les longues distances, et en véhicules électriques de plus petite taille, voire même à trois roues, pour les trajets courts.

L'impératif public de l'efficacité s'appuie sur une politique climatique largement acceptée dans la société. Conformément au paquet de mesures adoptées par le Conseil fédéral sur la stratégie énergétique 2050, la Suisse essaie de réduire sa dépendance vis-à-vis des importations de l'étranger par le biais d'une utilisation économe des carburants et de l'électricité. En ce qui concerne les prescriptions relatives à l'efficacité énergétique des bâtiments, des appareils et des processus, elle fait figure de précurseur à l'échelle internationale

et poursuit le développement des sources d'énergies renouvelables au plan national.

Le fisc garantit l'efficacité des véhicules en octroyant des conditions avantageuses, et la hausse des prix de l'énergie favorise l'achat de voitures économes, bien que leurs coûts d'achat soient plus élevés. L'infrastructure de recharge pour les véhicules électriques se met en place largement sans l'intervention de l'Etat, qui renonce aussi à établir des programmes de développement de la recherche consacrée aux différentes formes de propulsion.

### **Scénario 3: un monde connecté et une mobilité flexible**

Le monde autour de nous devient plus sophistiqué et même le système de transport ne cesse de gagner en intelligence: les smartphones, qui peuvent se connecter à Internet, se sont depuis longtemps imposés face aux simples portables en Suisse, permettant aux usagers des trains ou des bus de consulter par exemple les horaires en tout temps et en tout lieu. On peut facilement aujourd'hui réserver une voiture de location en ligne, que ce soit de chez soi ou en déplacement, et l'informatique assure un niveau de sécurité et de confort supérieur dans le véhicule même. Le scénario de développement «Mobilité connectée» se fonde sur ces principes de la télématique des transports et décrit ce à quoi ressemblerait le système de transport d'une société technologiquement sophistiquée: les différents moyens de transport sont de plus en plus combinés, le train ou le bus étant utilisé pour les trajets plus longs, tandis que des véhicules électriques légers, voire même à trois roues, entrent en jeu pour les trajets courts, l'autonomie limitée de leur batterie ne posant ici aucun problème.

Des systèmes d'information sophistiqués permettent en outre à tous de se tenir informé en temps réel des dernières informations concernant les places de parking disponibles, les stations de recharge électrique à proximité et les horaires en vigueur. Les technologies de l'information sont également utilisées pour calculer les tarifs de l'électricité à la borne en fonction de l'offre et de la demande, la même technologie permettant de recharger chez soi la batterie de son véhicule lorsque les prix de l'électricité sont au plus bas.

En raison du grand nombre de voitures électriques, l'Etat collecte les fonds dont il a besoin pour les infrastructures, non plus via l'impôt sur les hydrocarbures, mais par le biais d'un «road pricing» (péage routier) dynamique: quiconque emprunte une rue fortement fréquentée aux heures de pointe devra payer plus. Les voitures inefficaces s'acquittent également de tarifs plus élevés que les véhicules efficaces.

Dans ce scénario, l'Etat s'engage pour mettre en place l'infrastructure nécessaire: il définit les normes pour les prises de recharge rapide et prévoit d'installer des stations de recharge rapide le long des autoroutes. Il accorde une grande importance à la politique climatique et encourage le développement de sources d'énergies renouvelables.

### **Une équipe de projet interdisciplinaire – une analyse aux facettes multiples**

L'étude de TA-SWISS sur les «Chances et risques de l'électromobilité en Suisse» regroupe les compétences du bureau d'ingénieurs-conseil Ernst Basler und Partner (EBP) et l'institution fédérale de recherche interdisciplinaire sur les matériaux (EMPA). Sous la direction de Peter de Haan (EBP) et de Rainer Zah (EMPA), l'équipe du projet a modélisé plusieurs variantes du système de transport futur et a déterminé les nuisances environnementales qui en découleraient. Pour ce faire, elle s'est appuyée non seulement sur ses propres calculs, mais aussi sur des statistiques et prévisions de l'administration fédérale, notamment les dernières perspectives en matière d'énergie de l'Office fédéral de l'énergie que ces calculs viennent concrétiser.

## 2 Du véhicule individuel au trafic global

Les conséquences de l'électromobilité sur l'environnement et la société sont complexes. Il s'ensuit que l'étude présente de nombreuses facettes: elle analyse par exemple les données techniques de différents modèles de voiture et formes de propulsion, tient compte de l'évolution prévisible de la construction automobile et prend également en considération la production d'électricité.

On trouve déjà plusieurs modèles de voitures électriques sur le marché. L'autonomie limitée de leurs batteries et leur coût d'achat comparativement élevé entravent pour l'heure leur diffusion, mais cette situation est amenée à changer eu égard aux progrès techniques prévisibles.

### Des batteries plus performantes

Les voitures électriques sont le plus souvent équipées d'accumulateurs lithium-ion, mais on trouve aussi des batteries sodium-chlorure de nickel dans certains modèles. Les batteries sont les composantes les plus chères d'une voiture électrique. L'évolution de leur autonomie et de leurs coûts influe donc fortement la diffusion de ces véhicules novateurs.

Les batteries lithium-ion ont été introduites sur le marché de l'électromobilité en 2011, leur durée de vie étant estimée à 10-12 ans. Opel offre ainsi une garantie de huit ans ou 160 000 kilomètres pour sa voiture hybride Ampera, tandis que Nissan et Mitsubishi offrent une garantie de cinq ans ou de 100 000 kilomètres pour les petites voitures Leaf et iMiev.

Il faudra quatre à cinq ans pour développer et produire la prochaine génération d'accumulateurs, dont la densité énergétique devrait être plus élevée et les coûts de fabrication plus bas. Les experts prévoient que d'ici

à l'an 2035, la capacité des batteries aura augmenté de 100 à l'heure actuelle à 300 Wh/kg et les coûts auront diminué de 900 à 250 USD par kilowattheure de capacité de stockage. Autrement dit, l'autonomie d'un accumulateur de 300 kilos passera de 150 kilomètres aujourd'hui à 600, ce qui constitue une amélioration considérable.

Si les voitures électriques sont alimentées à l'électricité provenant de sources d'énergies renouvelables ou à faible teneur en CO<sub>2</sub>, elles émettront peu de polluants. La fabrication des batteries est en revanche très nuisible pour l'environnement, puisqu'elle peut représenter jusqu'à un cinquième des émissions de CO<sub>2</sub> totales. D'où l'importance de tenir compte de l'ensemble du cycle de vie du véhicule – de sa construction à son élimination – dans le bilan écologique de l'électromobilité.

### Un potentiel d'optimisation variable

A la différence des batteries, les moteurs et les systèmes de gestion des moteurs de voitures électriques ont largement atteint leur niveau de maturité. Les calculs de l'étude reposent sur l'hypothèse selon laquelle le rendement de la propulsion électrique hors agglomération, qui s'élève aujourd'hui à 89%, augmentera progressivement de 3 points de pourcentage d'ici à l'an 2050 pour atteindre 92% hors agglomération et 87% en ville où les démarrages et arrêts sont nombreux.

A la différence des moteurs à propulsion électrique, les moteurs à combustion interne traditionnels présentent encore un potentiel d'amélioration considérable. Le rendement moyen des voitures à essence s'élève aujourd'hui à 17% en ville et à 27% hors agglomération. S'appuyant sur l'abondante littérature spécialisée sur ce sujet, la modélisation de la présente analyse

suppose que le rendement augmentera tous les quinze ans de 3 et 2 points de pourcentage respectivement de sorte qu'il atteindra 26% en ville et 33% hors agglomération en 2050.

### L'efficacité ne cesse de croître

Mais les moteurs ne sont pas les seuls à offrir un potentiel d'amélioration: songeons par exemple à la carrosserie et aux systèmes de sécurité et de confort, comme les phares, les essuie-glaces, la climatisation et l'entretien. Si, pendant des décennies, les voitures des différentes classes n'ont cessé de devenir plus lourdes, on observe ces dernières années un renversement de tendance. L'étude anticipe que l'amélioration des constructions, des matériaux et des procédés utilisés conduira à des véhicules encore plus légers. Le besoin d'énergie pour la sécurité et le confort va également reculer.

S'appuyant sur une combinaison plausible des différentes améliorations, l'analyse modélise le gain d'efficacité de la voiture de demain: la consommation d'une voiture électrique compacte, qui s'élève aujourd'hui à 24 kilowattheures pour 100 kilomètres, passera à 16 kilowattheures en 2035, ce qui constitue une économie de 30%. Les progrès des voitures à essence de la même classe sont encore plus remarquables: la consommation d'une voiture compacte, qui est aujourd'hui de 7,5 litres pour 100 kilomètres, tombera à 4,8 litres en 2035, ce qui correspond à une réduction de 36%. Le potentiel d'optimisation plus important des moteurs à combustion interne se traduit donc par un gain d'efficacité plus élevé.

### Offre et demande – fabrication et achat

Afin de calculer l'impact du trafic global sur l'environnement, il est nécessaire d'élargir l'analyse de la voiture individuelle au parc automobile dans son ensemble. L'étude modélise donc la diffusion des différents types de véhicules, de la petite voiture au grand véhicule lourd en passant par la berline compacte. Les véhicules légers comme la Renault Twizy sont également pris en compte dans le segment des voitures électriques.

L'évolution de la demande de voitures neuves et l'augmentation des capacités de production pour les voitures électriques, qui prend du temps, sont prises en compte dans la modélisation. Cela permet de garantir que les valeurs estimatives du futur parc automobile de la Suisse reposent sur des hypothèses réalistes. En estimant l'évolution technique annuelle, construisant hypothétiquement les voitures lancées sur le marché et proposant des acheteurs virtuels, l'étude de TA-SWISS se distingue d'autres analyses qui définissent la part de marché des véhicules électriques de manière spé-

lative sans tenir compte des préférences des consommateurs et de l'amélioration constante des voitures à essence.

### Evolution des transports et production d'énergie

L'impact que les transports auront sur l'environnement à l'avenir dépend, d'une part, du nombre de véhicules sur les routes et, d'autre part, de la forme d'énergie qui les propulse.

L'étude s'appuie donc sur des statistiques et des prévisions de l'administration fédérale. Les calculs concernant l'évolution attendue de la population, les prévisions relatives aux transports ainsi que les perspectives et stratégies des Offices fédéraux de la statistique, du développement territorial et de l'énergie constituent un fondement essentiel de la modélisation du trafic individuel futur et de son besoin en énergie.

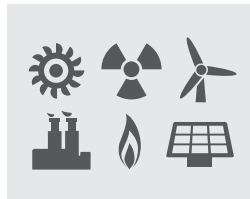
### Différents niveaux d'électrification

Dans l'étude de TA-SWISS, sont considérés comme électromobiles les véhicules qui sont essentiellement mus par un moteur électrique et qui tirent leur courant principalement d'une source stationnaire. Sont également pris en compte les très petits véhicules qui sont considérés du point de vue réglementaire comme des motos ou voitures légères. Outre les voitures dont la propulsion est exclusivement électrique, il existe aussi les véhicules hybrides qui disposent à la fois d'un moteur électrique et d'un moteur à combustion interne. L'étude ne retient que les modèles dont le chargement se fait directement sur le réseau électrique et qui peuvent parcourir au moins 40 kilomètres à la seule force de leur batterie. L'expérience montre qu'une telle autonomie en agglomération suffit déjà pour couvrir plus de la moitié de la performance routière assurée par l'électricité du réseau.

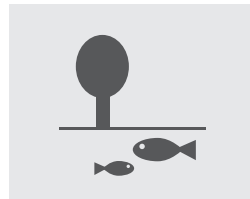
### Etude sur l'électromobilité: un développement complexe en plusieurs étapes



Développement de composants d'automobiles



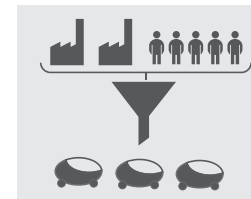
Développement du mix électrique



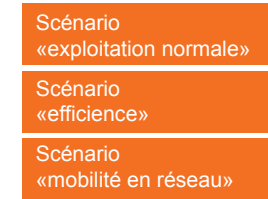
Impacts sur l'environnement



Conséquences écologiques de véhicules



Simulation de la flotte (capacité de production x clients prêts à acheter)



Nuisances environnementales de l'ensemble du trafic

Scénario  
«exploitation normale»

Scénario  
«efficacité»

Scénario  
«mobilité en réseau»

### 3 Sur la voie d'une mobilité plus durable?

Les moteurs à combustion interne deviennent de plus en plus économes et les voitures électriques sont d'ores et déjà peu polluantes. La condition sine qua non est toutefois que l'électricité qui les alimente provienne de sources non fossiles.

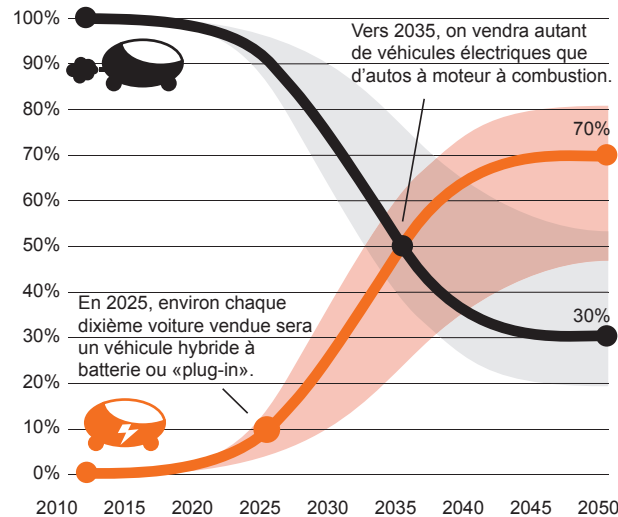
Même si la voiture devient plus économe à l'avenir, cela ne veut pas dire pour autant que la mobilité dans son ensemble sera moins nuisible pour l'environnement. Aussi des analyses de cycle de vie séparées sont-elles effectuées pour les véhicules individuels et les transports dans leur ensemble. L'analyse complète de la mobilité s'articule autour des trois scénarios mentionnés au début.

L'analyse du cycle de vie décrit le parcours d'un produit, de sa fabrication à son élimination. Elle distingue différentes «étapes de la vie» et détermine notamment quels matériaux et combien d'énergie seront nécessaires à la production, l'exploitation et l'élimination d'un bien. La présente étude met en lumière les modifications intervenant au fil du temps en analysant le cycle de vie des différents types de véhicules et de la mobilité dans son ensemble à quatre moments précis – 2012, 2020, 2035 et 2050 – dans le cadre des trois scénarios.

#### D'autres étapes de la vie pèsent dans la balance selon le moteur

Sur l'ensemble du cycle de vie, l'empreinte GES des moteurs à combustion interne traditionnels est supérieure de quelque 70% à celle des voitures électriques qui sont propulsées à l'électricité produite en Suisse. Le mix d'électricité helvétique produit en grande partie par l'énergie hydraulique et l'énergie nucléaire et qui ne provient qu'en faible quantité des sources fossiles contribue largement à cet état de fait. En effet, si l'on

#### Part des ventes



Avec les années, toujours plus de véhicules électriques rouleront sur les routes suisses, tandis que la part d'autos classiques à moteur à combustion diminuera peu à peu.

applique le mix d'électricité moyen de l'UE, qui repose à 52% sur les énergies fossiles, la réduction de CO<sub>2</sub> par rapport à une voiture de tourisme traditionnelle n'est que de 20%. Avec ce genre de courant, les voitures électriques ne sont guère plus écologiques et respectueuses du climat que les véhicules équipés d'un moteur à combustion interne optimisé.

Comme les moteurs à combustion interne traditionnels présentent encore un important potentiel d'amélioration, ils rattraperont leur retard par rapport aux moteurs électriques au fil du temps. L'écart dans la consommation de ressources entre la voiture électrique et le

modèle compact traditionnel est ainsi appelé à diminuer de moitié d'ici à 2050.

Tandis que les voitures à propulsion traditionnelle émettent le plus de CO<sub>2</sub> en phase de fonctionnement, c'est-à-dire pendant la conduite, la pollution causée par les voitures électriques se produit avant, à savoir lorsque l'électricité qui les alimente est mise à disposition. Les charges de fabrication des batteries entrent également en ligne de compte. Vu sous cet angle, 90% des émissions de gaz à effet de serre interviennent lors de la construction des véhicules électriques, qui est dès lors quatre fois plus nocive que celle des voitures à essence traditionnelles. Mais ici aussi, il faut s'attendre à un changement progressif: alors que 25% des émissions nocives interviennent durant la phase de production des voitures traditionnelles, ce chiffre passera à 40% à terme car la plus grande efficacité des moteurs permettra de réduire la pollution en phase de fonctionnement, laquelle augmentera comparativement durant les autres étapes de la vie.

#### Consommation de matériaux et conséquences pour la santé et l'environnement

La progression de l'électromobilité a pour corollaire une hausse de la demande de lithium, qui est une composante importante des batteries courantes. Des terres rares sont également indispensables pour la construction de voitures électriques: songeons par exemple au néodyme et au dysprosium utilisés dans les aimants permanents des moteurs électriques ou au lanthane que l'on retrouve dans certains types d'accumulateurs.

Le problème ici réside moins dans la disponibilité géologique de ces matériaux que dans leur concentration sur quelques rares sites, ce qui conduit à des situations de quasi-monopole où l'offre est déterminée par une

poignée de pays et d'entreprises. Les faibles taux de recyclage et l'absence de substituts à ces matériaux compliquent encore davantage la question. Plusieurs stratégies permettent de répondre à une augmentation de la demande. Du point de vue des constructeurs automobiles, il s'agira notamment d'accorder une attention particulière à une amélioration des possibilités de recyclage, à une utilisation plus efficace des matières premières ou à la recherche de matériaux de remplacement.

Une augmentation du nombre de voitures électriques en circulation devrait se traduire par un renforcement de la sécurité routière, car ces dernières tendent à être plus petites et plus légères. Des systèmes de sécurité plus actifs pourraient être utilisés pour compenser d'éventuelles lacunes en matière de solidité et de stabilité de la carrosserie, comme par exemple les logiciels de détection des piétons ou d'autres systèmes d'assistance électroniques. Par ailleurs, les moteurs électriques sont plus petits que leurs homologues traditionnels, ce qui permet de modifier l'aménagement de l'avant du véhicule afin de réduire les risques de blessures graves à la tête en cas de collision avec des piétons. Un niveau d'électrification croissant s'accompagne également d'une baisse des vitesses maximales de sorte que les accidents dus aux chauffards devraient être plus rares dans l'avenir électromobile. En revanche, la nature plus silencieuse des voitures électriques a des conséquences à double tranchant: si les habitants des rues très fréquentées peuvent s'en réjouir, la diminution du bruit de la circulation accroît le danger pour les malvoyants, qui s'orientent principalement par l'ouïe. Même dans les quartiers tranquilles avec peu de circulation, l'orientation à l'aide des sons joue un rôle important. C'est pourquoi on discute à l'heure actuelle aux Etats-Unis de la possibilité d'équiper les voitures hybrides d'un système d'avertissement

acoustique, et une directive sur des mesures visant à l'amélioration de l'audibilité a été mise en œuvre le 1er janvier 2010 au Japon.

L'environnement subira les répercussions de notre mobilité à plusieurs égards. En ce qui concerne les atteintes aux paysages et aux établissements humains, les voitures roulant à l'essence ou au diesel ont les mêmes besoins en termes d'infrastructure routière que les voitures électriques. La production des carburants a également une incidence qui diffère peu: s'agissant des énergies fossiles, c'est avant tout l'extraction du brut qui cause de graves dommages au terrain, alors que dans le cas de l'électricité, ce sont les grandes usines décentralisées ou les nombreuses installations locales de taille plus petite qui altèrent le paysage.

L'un des gros avantages écologiques de l'électromobilité réside dans le fait que le rendement des voitures à propulsion électrique est beaucoup plus élevé que celui des moteurs à combustion interne. Aussi les moteurs électriques ont-ils le potentiel de réduire les émissions de gaz à effet de serre. L'analyse du cycle de vie des véhicules individuels confirme que l'impact des voitures électriques sur l'environnement est de 40 à 50% inférieur à celui des véhicules fonctionnant aux carburants fossiles, une différence qui va toutefois aller en s'atténuant. La consommation de ressources par les voitures électriques est également la moitié de celle des véhicules dotés d'un moteur à combustion interne. Soulignons par ailleurs que l'appréciation générale en faveur de l'électromobilité est liée au mix énergétique avantageux de la Suisse.

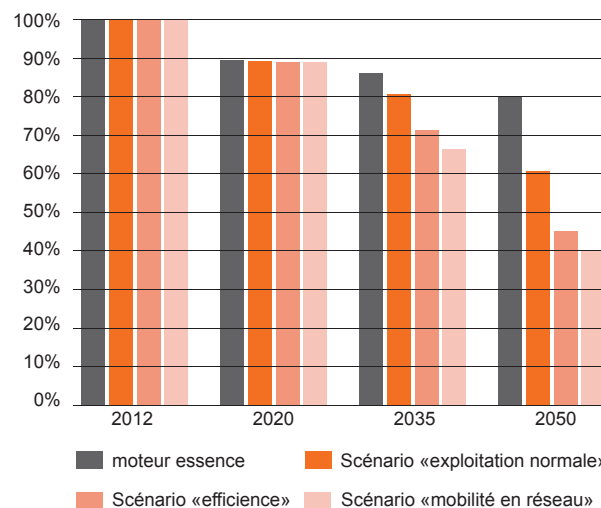
Il faut toutefois tenir compte du fait que les principales nuisances environnementales causées par les véhicules électriques interviennent non pas en mode de fonctionnement, mais durant la phase de production.

Dans un pays comme la Suisse qui elle-même ne construit pas de voitures, l'électromobilité contribue donc à exporter les conséquences négatives des transports à l'étranger.

### L'analyse du cycle de vie des transports en général

Outre ses propres calculs, l'étude utilise différentes prévisions de l'administration fédérale concernant les transports et l'énergie dans son analyse du cycle de vie de la mobilité dans son ensemble. La stratégie énergétique 2050 de la Confédération (état fin 2012) et ses analyses sur le mix énergétique futur de la Suisse sont particulièrement déterminantes à cet égard.

### Emissions de CO<sub>2</sub> (flotte), comparaison avec 2012



Les progrès techniques normaux font déjà diminuer les émissions de CO<sub>2</sub>. Un pourcentage important de véhicules électriques conduit à des réductions plus sensibles des rejets de gaz à effet de serre.

Le parc automobile influe fortement sur la performance des différents scénarios. Dans la vision d'avenir «Fonctionnement normal», la part respective des différentes classes de voitures (petites voitures, berlines compactes et grandes voitures) reste constante. En revanche, dans le scénario «Efficacité», le nombre de petites voitures tend à augmenter, une évolution qui est encore plus prononcée dans le contexte de la «Mobilité connectée». Le kilométrage du parc automobile découle de sa composition: dans le cadre du «Fonctionnement normal», 59% des trajets seront encore effectués par des moteurs à combustion interne en 2050. Ce taux est de 46% dans le scénario «Efficacité», mais tombe à 39% dans le cas de la «Mobilité connectée».

Les trois scénarios affichent un recul massif – d'au moins 40 à 60% – des émissions totales des gaz à effet de serre d'ici à 2050, et ce malgré le fait que la mobilité augmente de 24% durant cette période. Cette baisse des émissions de substances nocives tient d'une part aux énormes progrès techniques accomplis dans le domaine des moteurs à combustion interne et d'autre part, à la part croissante des voitures électriques.

Même si l'on constate des disparités marquées au fil du temps, les trois scénarios diffèrent relativement peu jusqu'en 2020. Jusqu'en 2035, la différence constatée au niveau de la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> entre le scénario conservateur «Fonctionnement normal» et le scénario optimiste «Mobilité connectée» est de 17%; à ce moment-là, une nouvelle voiture sur deux sera une voiture électrique. Comme les véhicules plus anciens ne disparaissent que progressivement du parc automobile, la rupture de tendance technologique se manifeste avec un décalage de cinq ans, et il faut attendre plus de dix ans pour que l'ensemble du parc automobile soit renouvelé.

Les contrastes entre les scénarios ne commencent à apparaître au grand jour que vers le milieu du XXI<sup>e</sup> siècle, à un moment donc où l'électromobilité s'est imposée sur le marché et où plus de deux tiers des voitures neuves disposent d'une propulsion électrique. La réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le scénario «Efficacité» sera alors supérieur de 25% à celle observée dans la vision d'avenir «Fonctionnement normal». En revanche, la différence avec les conditions de la «Mobilité connectée» ne sera que de 13%.

### Les résultats sont-ils fiables?

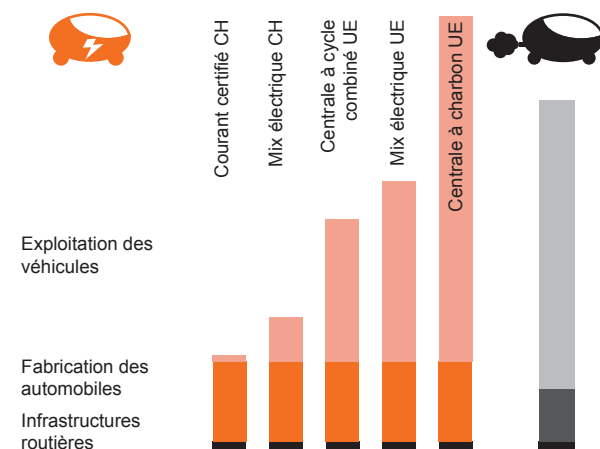
L'étude compare, d'une part, les résultats découlant de ses calculs avec les valeurs tirées de la littérature spécialisée et, d'autre part, modifie certaines hypothèses qui servent de base à la modélisation dans une analyse de sensibilité.

La présente analyse estime que la réduction des émissions de gaz à effet de serre rendue possible par l'électromobilité est légèrement inférieure à ce que prévoient d'autres publications spécialisées. Cela s'explique par le fait que la plupart des études n'examinent que la phase de fonctionnement des véhicules. Une analyse qui tient également compte des nuisances causées lors de la fabrication des voitures débouche donc forcément sur une appréciation plus pessimiste ou plus réaliste.

La fiabilité de la simulation a également été testée en modifiant certaines des hypothèses de base. Dans un cas, il a par exemple été supposé que les innovations technologiques attendues pour les voitures électriques ne se réalisent pas. Or, même ici, l'empreinte GES des voitures électriques est toujours nettement meilleure que celle des véhicules dotés d'un moteur à combustion interne.

Enfin, l'incidence de l'énergie utilisée pour la propulsion a également été évaluée. Les résultats confirment que la performance écologique des voitures électriques dépend directement de l'électricité utilisée. Tandis que les émissions de CO<sub>2</sub> d'une voiture électrique de la classe compacte fonctionnant au mix énergétique suisse sont aujourd'hui inférieures de 70% à celles d'une voiture à essence comparable, cette avance diminue à 20%, si on utilise le mix énergétique européen qui comprend une part plus élevée d'énergies fossiles. Les effets négatifs de ce dernier sont encore plus marqués à l'avenir: en 2050, l'économie de CO<sub>2</sub> réalisée par une voiture fonctionnant à ce type d'électricité ne serait que de 10% par rapport à un véhicule traditionnel.

### Gaz à effet de serre par kilomètre



Si des voitures électriques sont alimentées en électricité fossile, elles ne font pas mieux que des véhicules à moteur à combustion.

## 4 L'efficacité dirige la circulation

Les avantages de l'électromobilité l'emportent pour la Suisse du fait de son mix énergétique spécifique. Ses risques peuvent être réduits par les mesures adéquates.

Les émissions des gaz à effet de serre causées par les transports vont diminuer au cours des prochaines décennies et l'électromobilité pourrait contribuer en Suisse à les réduire encore davantage. En effet, le mix énergétique helvétique repose en grande partie sur l'énergie hydraulique et l'énergie nucléaire. Certes, les prévisions officielles en matière d'énergie tablent sur une hausse des importations d'électricité produite par des centrales à gaz jusqu'à 2035 afin de compenser les pertes découlant de la fermeture des centrales nucléaires. Mais même durant cette période, les voitures électriques s'en sortent bien et après 2035, la part d'électricité produite par des centrales à gaz reculera en faveur d'une électricité provenant de sources renouvelables.

D'après les prévisions en matière d'énergie, même si le nombre de voitures électriques en circulation augmente, l'électricité disponible suffit largement à répondre à la demande qui en résulte, car ces véhicules ont besoin de relativement peu d'électricité du fait de leur grande efficacité. Ainsi, 9% de la production d'électricité suisse permettrait de couvrir 65% de la mobilité individuelle motorisée en 2050.

L'électromobilité présente aussi de grands avantages pour l'économie. Les entreprises suisses produisent dès à présent des composants spécifiques pour les voitures électriques. Il s'agit là de branches proches de la recherche destinées à une main-d'œuvre qualifiée, ce qui accroît l'attractivité de la Suisse. L'économie suisse doit toutefois veiller à ne pas se laisser prendre de vitesse afin de ne pas manquer le coche d'autres

chantiers économiques innovants. Une diffusion rapide de l'électromobilité doit par conséquent être saluée du point de vue non seulement écologique, mais aussi économique.

### Modèles de financement alternatifs pour l'infrastructure

Outre les opportunités qu'elle crée, l'électromobilité accentue aussi les difficultés de financement de l'infrastructure routière. Jusqu'à présent, les droits sur les carburants apportaient aux caisses de l'Etat les fonds nécessaires pour l'entretien des routes. Ce modèle de financement est désormais remis en question. Les voitures électriques ont en effet besoin d'une infrastructure à laquelle elles ne contribuent rien. Et comme les voitures traditionnelles utilisent de moins en moins d'essence ou de diesel, cette source de recettes menace de disparaître complètement.

Du point de vue technique, il n'est guère possible de saisir et d'imposer séparément l'électricité chargée sur les voitures électriques, comme c'est le cas avec les carburants fossiles. Le passage à une imposition qui dépendrait du kilométrage s'impose donc. Idéalement, la taxe sur le trafic serait fonction de l'efficacité du véhicule afin de promouvoir les voitures particulièrement économes. Une telle approche produirait également l'effet souhaité pour les voitures dotées d'un moteur à combustion interne, les modèles efficaces bénéficiant d'un traitement préférentiel, ce qui les rendrait attrayants aux yeux des acheteurs.

### Aucune promotion de formes de propulsion spécifiques

La comparaison des trois scénarios montre clairement que les gains les plus importants pour l'environnement

s'obtiennent grâce à une augmentation de l'efficacité: le scénario de la «Mobilité connectée», qui vise une promotion accrue de l'électromobilité, n'affiche qu'une légère avance par rapport au scénario «Efficacité», signe s'il en est qu'il faut renoncer aux mesures de promotion axées sur une technologie spécifique car leur utilité marginale est limitée.

En revanche, les mesures technologiquement neutres comme les prescriptions minimales, les valeurs maximales et les valeurs moyennes relatives à l'efficacité énergétique globale des voitures de tourisme pondérées en fonction des ventes sont judicieuses. De telles mesures préventives contribuent indirectement à promouvoir l'électromobilité. Qui plus est, il n'y a pas lieu de craindre que cette stratégie, en conjonction avec des innovations technologiques qui ne peuvent pas être précisément planifiées, entraîne des effets indésirables voire contreproductifs.

### Tenir compte de l'ensemble du cycle de vie

L'enthousiasme suscité par la propulsion électrique et ses vertus écologiques fait oublier les nuisances environnementales causées par la fabrication des voitures électriques. Les labels énergétiques permettant d'évaluer l'efficacité d'un véhicule devraient donc tenir du cycle de vie dans son ensemble.

Afin de réduire la dépendance vis-à-vis des matières premières, il convient de réfléchir, dès la phase de conception du véhicule, au recyclage des matériaux employés. La location ou la réutilisation de batteries pourrait donner naissance à de nouveaux domaines d'activité dont la promotion devrait être examinée, du moins dans un premier temps.

Si l'on veut toutefois que les voitures électriques contribuent à un système de transport plus durable, il faut parvenir à empêcher que la circulation n'augmente plus rapidement que les gains écologiques qui découlent de leur efficacité accrue. Cet objectif requerra le courage de prendre des mesures impopulaires, comme la renonciation aux subventions accordées aux transports pendulaires. Un large débat sur l'avenir du système de transport pourrait renforcer l'acceptation de telles mesures au sein de la société.

### Etude «Chances et risques de l'électromobilité en Suisse»

#### Groupe d'accompagnement

Ruedi Jörg-Fromm, Zurich, Comité directeur de TA-SWISS (Président du groupe d'accompagnement)

- Heidi Blattmann, Journaliste scientifique, Herrliberg, Comité directeur de TA-SWISS
- Christian Bühlmann, Office fédéral de l'énergie OFEN, Ittigen
- Volker Fröse, Office fédéral des routes OFROU, Berne
- Lino Guzzella, ETH Zurich,
- Stefan Hirschberg, Institut Paul Scherrer PSI, Villigen
- Kurt Hug, Haute école spécialisée bernoise, Vaufflin
- Christian Jahn, Office fédéral des routes OFROU, Berne
- Mario Keller, INFRAS, Berne
- Dieter Kraft, Bosch, Stuttgart
- Cornelia Moser, Office fédéral des routes OFROU, Berne
- Tobias Ott, ETH Zurich
- Felix Reutimann, Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne

- Martin Schiess, Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne
- Fridolin Stähli, Université des Sciences Appliquées de la Suisse du Nord-Ouest, Windisch
- Daniel Wachter, Office fédéral du développement territorial ARE, Berne
- Michael Weber, Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne

#### Responsable du projet

Lucienne Rey, TA-SWISS, Berne

### Impressum

TA-SWISS (éd). L'avenir se joue sous tension. L'électromobilité dans le système de transport des prochaines décennies.

Version abrégée de l'étude de TA-SWISS «Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz», TA-SWISS, Berne 2013.  
TA 59A/2013

Auteure: Lucienne Rey, Berne

Rédaction: Christine D'Anna-Huber, TA-SWISS, Berne

Traduction: CLS Communication Bâle; Jean-Jacques Daetwyler, Berne

Graphisme et mise en pages: Hannes Saxer, Berne

Impression: Jordi AG – Das Medienhaus, Belp

## **TA-SWISS – Centre d'évaluation des choix technologiques**

Souvent susceptibles d'avoir une influence décisive sur la qualité de vie des gens, les nouvelles technologies peuvent en même temps comporter des risques nouveaux, qu'il est parfois difficile de percevoir d'emblée. Le Centre d'évaluation des choix technologiques TA-SWISS s'intéresse aux avantages et aux risques potentiels des nouvelles technologies qui se développent dans les domaines «biotechnologie et médecine», «société de l'information», «nanotechnologies» et «mobilité/énergie/climat». Ses études s'adressent tant aux décideurs du monde politique et économique qu'à l'opinion publique. TA-SWISS s'attache, en outre, à favoriser par des méthodes dites participatives, telles que les PubliForums et publifocus, l'échange d'informations et d'opinions entre les spécialistes du monde scientifique, économique et politique et la population. TA-SWISS se doit, dans toutes ses projets sur les avantages et les risques potentiels des nouvelles technologies, de fournir des informations aussi factuelles, indépendantes et étayées que possible. Il y parvient en mettant chaque fois sur pied un groupe d'accompagnement composé d'experts choisis de manière à ce que leurs compétences respectives couvrent ensemble la plupart des aspects du sujet à traiter.

TA-SWISS est rattaché aux Académies suisses des sciences.



TA-SWISS  
Centre d'évaluation des choix technologiques  
Brunngasse 36  
CH-3011 Berne  
[info@ta-swiss.ch](mailto:info@ta-swiss.ch)  
[www.ta-swiss.ch](http://www.ta-swiss.ch)

**a<sup>+</sup>** Un centre de compétence des  
Académies suisses des sciences



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Office fédéral de l'énergie OFEN**  
**Office fédéral des routes OFROU**  
**Office fédéral de l'environnement OFEV**