

A FOND LES GAZ VERS L'OBJECTIF ZERO

Urs Steiner

Zéro émission de CO₂ générée par le trafic: un objectif à atteindre le plus rapidement possible. Faudrait-il donc utiliser uniquement des véhicules automobiles électriques et ce, dès aujourd'hui? Ce n'est pas si simple, car la mobilité durable dépend moins de la technologie de propulsion que de la source d'énergie utilisée.

Ce n'est pas un sophisme: si l'électricité est produite en brûlant du charbon ou du gaz, les véhicules électriques ne sont guère plus respectueux de l'environnement que ceux fonctionnant aux énergies fossiles. Même les véhicules à pile à combustible ne sont climatiquement neutres que si l'hydrogène est extrait de manière durable.

Compte tenu des plus de six millions de véhicules automobiles immatriculés en Suisse, d'une infrastructure largement construite autour de l'essence et du diesel, et de l'autonomie limitée des voitures électriques, il serait peu pertinent de se concentrer uniquement sur l'électromobilité. Cette publication montre que l'électrification de l'ensemble du parc automobile est une utopie – surtout si le milliard de voitures dans le monde devaient être propulsées avec de l'électricité durable.

Une politique climatique efficace et performante nécessite donc une approche technologique ouverte, d'autant plus que des sources d'énergie neutres en CO₂ sont disponibles en quantité suffisante. Mais comment l'électricité produite par les énergies photovoltaïque et éolienne se retrouve-t-elle sur les routes? Outre les véhicules électriques ou hybrides, la solution à ce problème réside dans les voitures équipées de piles à combustible et de moteurs

à combustion. Ces derniers sont neutres pour le climat s'ils sont alimentés par de l'essence, du diesel ou du gaz synthétiques. La combustion émet la même quantité de dioxyde de carbone que celle émise lors de la production d'électricité verte.

Les avantages des carburants synthétiques sont évidents, puisqu'ils peuvent alimenter les véhicules existants. Ils pourront être progressivement mélangés à l'essence ou au diesel fossiles, mais aussi au kérosène. Cependant, le plus grand avantage de ces carburants par rapport à l'électricité est leur stockage et leur transport. Ils peuvent être utilisés sans avoir à changer les infrastructures, les modes de commerce, les normes, les stations-service et les véhicules. C'est une bonne nouvelle pour l'économie, pour les consommateurs et pour l'environnement. Enfin, les hydrocarbures liquides ou gazeux peuvent être stockés et ainsi lisser les pics de consommation prévisibles d'un approvisionnement durable en électricité – tout comme l'hydrogène.

Cette publication montre comment l'objectif zéro net pour les transports peut être atteint grâce aux technologies existantes et avec un minimum de réglementations – neutres sur le plan technologique. Dans l'état actuel de nos connaissances, vouloir remplacer tous les moteurs à combustion du monde par des moteurs électriques aurait peu d'intérêt d'un point de vue économique et écologique. La réalisation de nos objectifs climatiques sera plus rapide si nous restons ouverts à toutes les technologies qui nous permettront de faire un pas de plus vers l'objectif de la neutralité climatique des transports d'ici à 2050.



Mettre en lumière les évidences

Jürg Müller

«Pour ce qui est de l'avenir, il ne s'agit pas de le prévoir, mais de le rendre possible.» Cette citation tirée de l'œuvre d'Antoine de Saint-Exupéry est un formidable conseil pour la politique économique en général, et la politique climatique en particulier. Elle implique de l'humilité, sans défaitisme: l'avenir peut et doit être façonné par la création de conditions-cadre optimales, mais décider de son déroulement final n'est pas en notre pouvoir. Malheureusement, ce fait indéniable est souvent oublié – surtout lorsqu'il s'agit de promouvoir certaines technologies.

Par exemple, les politiciens en Suisse et à l'étranger ont récemment découvert le thème de l'électromobilité. Cela n'est pas surprenant, étant donné que les transports privés motorisés représentent une part importante des émissions mondiales de CO₂. La logique est étonnamment simple: utiliser uniquement des véhicules électriques fera disparaître les émissions de CO₂ dues au trafic routier; il faut donc les promouvoir autant que possible. Aussi évident que soit cet argument, il ne va pas assez loin, comme nous le montrons dans cette publication.

Premièrement, dans le contexte du débat sur le climat, le transport routier doit être considéré comme faisant partie du système énergétique global. D'où viendra l'énergie pour les futurs véhicules à moteur? Comment mettre sur pied une in-

frastructure nationale pour l'approvisionnement en énergie? Et quelles sont les possibilités de stockage? Dans quatre contributions, Peter Richner et Christian Bach de l'institut interdisciplinaire de recherche pour les sciences des matériaux et le développement de technologies des Ecoles polytechniques fédérales (Empa) présentent des réponses possibles à ces questions.

Deuxièmement, la réalisation des objectifs climatiques doit être abordée avec efficacité, y compris dans le domaine de la circulation routière. L'économie, comprise comme la science de l'allocation optimale de ressources rares, joue ici un rôle central. Dans une interview détaillée, Morten Hannesbo, CEO d'Amag, explique le point de vue de l'industrie automobile. Enfin, Avenir Suisse aborde le sujet sous l'angle de l'économie et de la politique économique dans deux articles de conclusion.

Dans le contexte du changement climatique, la nécessité d'une mobilité durable est incontestée. Cela implique un cadre orienté vers des objectifs. Cependant, les pratiques futures de mobilité ne sont pas prévisibles. Même si préparer l'avenir fait partie de l'ADN (et du nom) d'Avenir Suisse, nous n'avons pas non plus cette prétention. Cette publication n'est donc pas un plaidoyer pour ou contre une technologie spécifique. Elle vise plutôt à mettre en lumière des technologies de propulsion neutres en CO₂ et à identifier les éventuels obstacles. La conclusion est claire: la mobilité durable doit être facilitée, mais sa mise en œuvre technologique ne doit en aucun cas être prescrite.

A quel point sommes-nous proches de la neutralité climatique en Suisse? – Peter Richner, Empa	3 – 4
Augmentation de la demande d'électricité – Peter Richner, Empa	4 – 6
Mobilité routière: comment atteindre la neutralité climatique? – Christian Bach, Empa	7 – 9
Les carburants synthétiques à 2 francs 40 le litre – Christian Bach, Empa	9 – 11
Vue d'ensemble – Basil Ammann	12 – 13
«Au final, le client décide avec son cœur et son portefeuille» – Entretien de Morten Hannesbo avec Urs Steiner et Patrick Dümmler	14 – 16
Comparaison des technologies de propulsion de véhicules – Christian Bach, Empa	17
Vitesse, puanteur, bruit – et ennuis – Marc Tribelhorn	18 – 19
Atteindre son but grâce au système de navigation économique – Patrick Dümmler, Jürg Müller	20 – 22
Plus de clarté et moins de contradictions – Peter Grünenfelder	23 – 24

A quel point sommes-nous proches de la neutralité climatique en Suisse?

L'avenir de la mobilité ne peut être considéré sans tenir compte de l'ensemble de l'approvisionnement en énergie. L'objectif d'une mobilité climatiquement neutre ne peut être atteint qu'avec des concepts de propulsion sans énergies fossiles. Cela s'applique non seulement aux moteurs à combustion, mais aussi aux moteurs électriques.

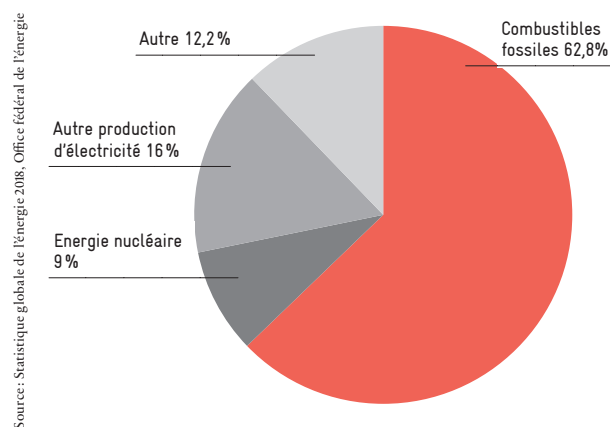
Peter Richner, Empa

La nécessité de ralentir le changement climatique exige de transformer le système énergétique, qui doit se détourner des combustibles fossiles et s'orienter vers une plus grande efficacité énergétique et le recours aux énergies renouvelables. Cela équivaut à une opération à cœur ouvert pour notre société, car une énergie accessible et abordable nous est indispensable.

En 2018, 63 % de l'énergie disponible en Suisse était couverte par les combustibles fossiles (voir figure 1), principalement pour le chauffage, l'eau chaude et la mobilité. Cela correspond à l'émission de 31,8 millions de tonnes de CO₂¹. Dans le cadre de l'Accord de Paris, la Suisse s'est engagée à réduire de moitié ses émissions d'ici 2030 par rapport à 1990, et le Conseil fédéral a également fixé l'objectif d'atteindre la neutralité climatique en Suisse d'ici 2050. Etant donné que, malgré tous les efforts déployés jusqu'à présent, les émissions de tous les gaz à effet de serre en Suisse n'ont diminué que de 13,6 % entre 1990 et 2018, il devient urgent d'accélérer la transition énergétique.

L'abandon progressif de l'énergie nucléaire décidé dans le sillage de Fukushima accentue encore les défis, puisque celle-ci fournit 9 % de l'énergie disponible et environ 40 % de l'électricité en Suisse. Au total, nous avons besoin de nouvelles solutions pour remplacer 72 % de l'approvisionnement énergétique actuel au cours des 30 prochaines années. A première vue, cela peut sembler impossible, mais le passé donne des raisons d'espérer : entre 1945 et 1975, la consommation finale d'énergie de la Suisse a augmenté de 600 %. Dans le même temps, la part des deux sources d'énergie les plus importantes, le charbon et le bois, qui couvraient encore 70 % de la demande en 1945, a été divisée par dix. Ce changement a été rendu possible par l'augmentation constante des importations de combustibles fossiles (pétrole et gaz), le développement de l'hydroélectricité nationale et la mise en service des centrales nucléaires de Beznau I

Figure 1_ Consommation finale d'énergie en Suisse, 2018



et II. A l'époque, il s'agissait de consolider l'approvisionnement en énergie. Aujourd'hui, il est prévu de le transformer, mais l'ampleur des changements est tout à fait comparable.

Trois tendances sont d'ores et déjà prévisibles pour les années à venir. Du côté de la production, il s'agit de la suppression des installations centralisées de production d'électricité en Suisse et à l'étranger (centrales nucléaires en Suisse et en Allemagne, centrales à combustibles fossiles à l'étranger). En 2018, la part de l'énergie nucléaire dans la production d'électricité en Suisse était de 36 %. Fin 2019, Mühleberg est devenue la première centrale nucléaire à être mise hors service. Elle représentait alors environ 4 % de la production totale d'électricité en Suisse. On ne sait pas encore exactement quand les autres centrales suivront.

Les plans de démantèlement en Allemagne sont plus concrets. Il est prévu que toutes les centrales nucléaires soient mises à l'arrêt d'ici la fin de 2022, ce qui correspond à une perte de 72 000 de GWh par an, soit 14 % de la production totale. L'électricité produite au charbon, qui couvre actuellement environ 30 % des besoins en électricité de l'Allemagne, doit également être retirée du réseau d'ici 2038.

La situation en France est différente. L'énergie nucléaire représente environ 70 % de la production d'électricité et l'ancienneté du parc de centrales équivaut à celle de la Suisse. Reste à savoir combien de réacteurs seront remplacés et quelle proportion de

¹ Emissions de gaz à effet de serre selon la loi révisée sur le CO₂ et le Protocole de Kyoto, Office fédéral de l'environnement, avril 2020.

la production peut être fournie par des énergies renouvelables. Il faut supposer qu'en France aussi, la part de la production de l'énergie en ruban diminuera au profit de sources fluctuantes. On pourra donc exporter moins d'énergie en ruban.

La perte de production en ruban doit être compensée par des installations de production décentralisées et renouvelables. Cette évolution est assez avancée en Allemagne, où les énergies éolienne et solaire représentaient déjà 33 % de la production totale d'électricité en 2019. En Suisse, le photovoltaïque et l'éolien n'ont contribué qu'à hauteur de 3,2 % à la production d'électricité en 2018. Cela signifie qu'ils ne peuvent même pas remplacer la production de Mühleberg sur une année, sans compter que leur contribution est encore plus faible en hiver. L'énergie hydroélectrique peut compenser une partie de la production, mais de manière limitée pour des raisons écologiques (volumes d'eau résiduels, etc.). Il est peu probable que l'énergie géothermique ou même la fusion nucléaire puissent jouer un rôle significatif dans un avenir proche.

Du côté de la demande, l'électrification des bâtiments et la mobilité sont prioritaires. Les pompes à chaleur sont déjà prédominantes dans les nouveaux bâtiments. Mais en 2018, 66 % du chauffage était encore couvert par les combustibles fossiles. La nouvelle loi sur le CO₂ prévoit de limiter les émissions de CO₂ à 20 kg par mètre carré et par an lors des renouvellements des systèmes de chauffage, ce qui rendra impossible le remplacement 1:1 des systèmes de chauffage à combustibles fossiles dans la plupart des cas. Comme les réseaux de chauffage ne sont pas très étendus et que le potentiel des systèmes de chauffage au bois est également limité, les pompes à chaleur continueront à être utilisées dans la plupart des cas.

Même si la part des véhicules purement électriques représente encore moins de 1 % des véhicules, leur proportion augmente rapidement. Cette tendance est alimentée par le renforcement des réglementations en matière d'émissions pour les nouvelles immatriculations, qui sont passées à 95 g/km depuis 2020, et par le fait que tous les grands constructeurs automobiles s'efforcent d'élargir leur gamme de véhicules à propulsion purement électrique. La dynamique potentielle de cette évolution ne doit pas être sous-estimée. L'âge moyen des voitures en Suisse est de neuf ans. Environ 10 % du parc automobile est donc renouvelé chaque année. Si la gamme de modèles de voitures électriques s'élargit rapidement et devient attractive, le degré d'électrification du parc pourrait augmenter fortement dans quelques années. Du point de vue climatique, le passage d'une source d'énergie à une autre n'a un sens que si la nouvelle contient une très forte proportion d'énergie renouvelable. Utiliser de l'électricité provenant de sources fossiles pour l'électromobilité n'aide pas à lutter contre le changement climatique.

Augmentation de la demande d'électricité

Importer de l'électricité en hiver et l'exporter en été, comme cela se fait actuellement, ne sera que partiellement possible à l'avenir.

Peter Richner, Empa

Comme l'importance de l'électricité dans notre système énergétique augmente et que celle-ci diffère fondamentalement des sources d'énergie telles que le pétrole et le gaz, il est nécessaire d'examiner certaines caractéristiques spécifiques de l'approvisionnement en électricité. Il implique de maintenir un équilibre permanent entre la production et la consommation d'électricité et de relever le défi que représente le stockage efficace et économique de l'énergie électrique sur de longues périodes.

En 2018, 25 % des besoins énergétiques de la Suisse étaient couverts par l'électricité provenant de centrales hydroélectriques et nucléaires. Le bilan annuel fait apparaître un excédent d'exportation de 1,6 milliard de kWh. Toutefois, ces chiffres n'ont qu'une importance limitée. Pendant les mois d'hiver, la Suisse est dépendante d'importations supérieures à 5000 GWh et son degré d'autosuffisance tombe à environ 80 %. Inversement, la Suisse produit en été un surplus d'électricité qui est exporté. Par conséquent, la teneur en CO₂ de l'électricité consommée en Suisse change également au cours de l'année: comme, en hiver, le pays importe en partie de l'électricité produite à partir de combustibles fossiles d'Allemagne, la quantité de CO₂ par kWh augmente et peut passer, en cas de forte demande, d'une valeur moyenne d'environ 50 g CO₂/kWh à plus de 250 g CO₂/kWh. Il convient de noter que pendant les mois d'été, la demande actuelle serait couverte même sans l'énergie nucléaire.

Ces considérations temporelles sont d'une grande importance. Pour que le réseau électrique reste stable dans toute l'Europe, la production et la demande doivent être en équilibre à tout moment. Par conséquent, les pics de production ou de demande constituent toujours une charge pour le système et doivent être contenus à un niveau peu élevé.

Ce problème découle de la difficulté à stocker l'électricité. Si le pétrole, le gaz ou la biomasse peuvent être stockés pendant une longue période, ce n'est pas le cas de l'électricité. L'énergie électrique peut être convertie en énergie chimique,

par exemple en chargeant une batterie ou en utilisant un électrolyseur pour produire de l'hydrogène à partir de l'eau. Il est également possible de stocker de l'électricité dans des centrales de pompage-turbinage ou de convertir l'électricité en chaleur. Dans les deux cas, les processus de stockage et la reconversion ultérieure en électricité – pour autant qu'ils soient possibles et raisonnables – sont associés à des pertes. En général, les capacités de stockage sont actuellement limitées. Les batteries et les centrales de pompage-turbinage ne peuvent être utilisées de manière économique que comme installations de stockage à court terme. Les réservoirs, l'hydrogène et éventuellement le méthane synthétique produit à partir de celui-ci (power-to-gas), ainsi que les installations de stockage de chaleur, ont le potentiel d'un stockage à plus long terme.

Il ne faut pas oublier le réseau électrique, qui est aujourd'hui fortement orienté vers la production d'électricité dans de grandes centrales et sa distribution ultérieure au niveau continental, régional et local. Avec l'augmentation prévisible de la production d'électricité décentralisée, des ajustements seront nécessaires. La Suisse joue ici un rôle important dans le contexte européen, car de grandes quantités d'électricité transitent par notre pays. Compte tenu de la dépendance croissante à l'égard des importations d'électricité, une bonne intégration institutionnelle dans le réseau électrique européen serait avantageuse.

En résumé, les défis découlant des changements du côté de l'offre et de la demande, d'une part, et des caractéristiques spécifiques de l'électricité, d'autre part, sont illustrés dans la figure 2 : pour l'année 2015, la production des centrales nucléaires a été déduite et la moitié des toits compatibles en Suisse ont été couverts par des modules photovoltaïques. Cela montre qu'il serait possible de produire la même quantité d'électricité sur toute l'année qu'avec les centrales nucléaires², mais qu'il existerait un écart énorme entre l'offre et la demande. La production d'électricité atteindrait son maximum en été (colonnes du graphique), tandis que la consommation maximale aurait lieu en hiver (courbe). De plus, l'électrification de l'approvisionnement en chaleur des bâtiments augmenterait

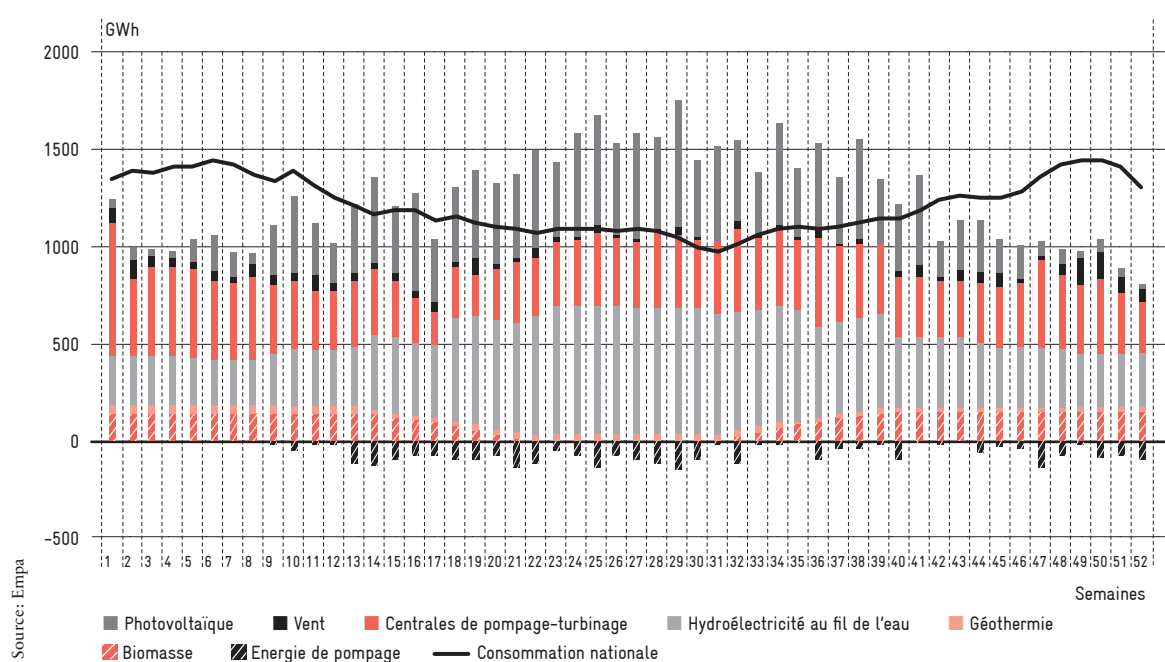
massivement la demande en électricité durant l'hiver. Une électrification partielle de la mobilité ferait elle aussi monter la courbe de la demande tout au long de l'année.

Importer la quantité d'électricité nécessaire de l'étranger en hiver et exporter le surplus en été, comme cela se fait actuellement, ne sera probablement que partiellement possible à l'avenir. Avec l'expansion du photovoltaïque et le déclin de la production en ruban, les pays voisins aligneront leur profil sur celui de la Suisse, c'est-à-dire qu'ils produiront des excédents en été et pourront au mieux couvrir leurs propres besoins en hiver. De nombreux pays qui exportent actuellement en hiver deviendront donc dépendants des importations en hiver à l'avenir. Un important excédent saisonnier de la demande est prévisible.

Afin de pouvoir atteindre les objectifs fixés dans le cadre de la politique climatique, une politique énergétique coordonnée est nécessaire. Les différentes options peuvent être discutées sur la base de l'équation de Kaya légèrement modifiée (voir plus loin). Pour que la Suisse atteigne la neutralité climatique ($\text{CO}_2 = 0$), l'un des quatre facteurs de l'équation de Kaya doit devenir nul, ou alors le produit restant doit être compensé par des technologies réduisant le CO_2 (par exemple, le captage et le stockage du carbone).

Une réduction significative grâce au facteur population est très peu probable. Dans pratiquement tous les scénarios, on suppose une légère croissance démographique dans les prochaines décennies. Une stratégie de sobriété pourrait entraîner une réduction du produit intérieur brut (PIB) par habitant – un

Figure 2 _ Offre et demande d'électricité durant une année, en Suisse



effet indésirable que l'on peut observer de près dans la crise du coronavirus actuelle: la production économique diminue, la mobilité a chuté massivement, la plupart des loisirs se déroulent à la maison ou dans le voisinage immédiat, et les émissions de CO₂ sont donc automatiquement réduites. Toutefois, les restrictions qui y sont associées sont massives et la question de savoir si le défi du changement climatique peut déclencher un changement comparable et permanent reste ouverte. En outre, une stratégie de sobriété conduit également à une diminution des moyens disponibles pour les ajustements technologiques nécessaires.

Equation de Kaya

$$CO_2 = pop \times \frac{PIB}{pop} \times \frac{E}{PIB} \times \frac{CO_2}{E} - SEQ_{CO_2}$$

CO₂: Emissions de CO₂

pop: Population

PIB/pop: Produit intérieur brut par habitant

E/PIB: Intensité énergétique du PIB

CO₂/E: Part de l'énergie fossile dans le mix énergétique

SEQCO₂: Emissions négatives par l'absorption de CO₂ dans l'atmosphère

Les deux facteurs technologiques que sont l'efficacité énergétique et la décarbonisation ainsi que le stockage du CO₂ (capture et stockage du carbone) restent donc des options d'action. Traiter en détail le stockage de CO₂ dépasserait le cadre de cet article, mais celui-ci sera essentiel pour atteindre les objectifs.

L'amélioration de l'efficacité énergétique est une priorité absolue dans la stratégie énergétique du gouvernement fédéral et son potentiel est loin d'être épuisé. L'efficacité consiste à obtenir un bénéfice donné avec le moins d'énergie possible, par exemple pour le chauffage des locaux, le transport des passagers ou la fabrication de produits.

Alors que dans le secteur du bâtiment, la demande de chauffage par mètre carré de surface de référence énergétique a diminué de 38 % entre 1990 et 2018, la situation est très insatisfaisante pour le transport routier de passagers. Outre l'augmentation du volume due à la croissance démographique, les gains d'efficacité technique du côté de la propulsion ont été plus que compensés par l'augmentation du trafic. De plus, la décarbonisation de l'approvisionnement en énergie des véhicules n'a pas encore eu lieu dans une mesure significative, de sorte qu'en 2018, les émissions de CO₂ des carburants étaient de 3 % supérieures à celles de 1990³. Une comparaison entre la route et le rail est intéressante: par personne-kilomètre, le rail consomme environ 4,5 fois moins d'énergie que la voiture⁴. L'efficacité énergétique est au mieux un critère parmi de nombreux autres qui déterminent notre comportement en

matière de mobilité. Le confort, l'individualité, la disponibilité et autres sont au moins aussi importants.

Le plus grand potentiel de réduction des émissions de CO₂ est le quatrième facteur de l'équation de Kaya: la fourniture d'une énergie sans CO₂. Au niveau mondial, il y a plus qu'assez d'énergie renouvelable disponible pour répondre à nos besoins. En Suisse, le photovoltaïque a un potentiel énorme. En utilisant 50 % des surfaces de toit compatibles, il serait possible de produire la même quantité d'électricité qu'avec les centrales nucléaires. En outre, les 50 % restants des toits pourraient également être utilisés, et il existe déjà des solutions intéressantes pour intégrer le photovoltaïque dans les façades. Ces solutions ont également l'avantage de produire un bon rendement en hiver. Il est important que ce développement commence immédiatement, alors que les centrales nucléaires sont encore en service. Dans le même temps, cependant, il faut trouver une solution pour garantir que la plus grande partie possible de l'excédent de production puisse être recyclée, tant sur une base quotidienne que saisonnière. Différentes options sont disponibles à cet effet:

- L'augmentation de la flexibilité grâce au «stockage quotidien», que ce soit avec des batteries ou de l'hydrogène, et la possibilité de déplacer des charges (par exemple, charger des chauffe-eau pendant la journée).
- La création d'une flexibilité dans la consommation et la production pouvant être exploitée à partir de différents points du réseau est une condition préalable à un approvisionnement efficace et sûr. La numérisation offre des possibilités à cet égard.
- En été, la conversion de l'électricité excédentaire en hydrogène et éventuellement, avec le CO₂ de l'air, en méthane ou en hydrocarbures synthétiques liquides. Les sources d'énergie chimique sont facilement stockables et peuvent être utilisées de nombreuses manières.
- Recharger les installations de stockage de chaleur saisonnières avec le surplus d'électricité afin de réduire les besoins en énergie en hiver.

Bien qu'une production solaire plus élevée génère des excédents plus importants en été, elle génère également un apport plus important en hiver, réduisant ainsi le problème du stockage saisonnier. En fin de compte, ces déséquilibres doivent être traduits en effets de prix afin d'être incitatifs.

2 Impact of an Increased Substitution of Fossil Energy Carriers with Electricity-Based Technologies on the Swiss Electricity System; Rüdisüli M., Teske S. L., Elber U; *Energies* 2019, 12, 2399; doi:10.3390/en12122399

3 Émissions de gaz à effet de serre visées par la loi sur le CO₂ révisée et par le Protocole de Kyoto, 2e période d'engagement (2013–2020), Ofev (2019).

4 Analyse de la consommation énergétique 2000–2018 en fonction de l'application, Ofen (2019); Prestations du transport privé de personnes par route, OFS (2019).

Mobilité routière: comment atteindre la neutralité climatique?

Les émissions de CO₂ rejetées par le trafic automobile peuvent être réduites soit par l'électrification de la propulsion, avec des véhicules entièrement et partiellement électriques, soit par l'électrification des carburants. Les deux sont nécessaires pour atteindre l'objectif du zéro net d'ici 2050.

Christian Bach, Empa

L'utilisation de l'énergie fossile a permis un progrès social et économique remarquable au cours du siècle dernier. Cela se traduit également dans le nombre de véhicules (voir figure 1), qui croît rapidement dans pratiquement tous les pays du monde à mesure que la capacité économique augmente.

Selon l'Organisation internationale des constructeurs automobiles (Oica), environ 90 millions de véhicules ont été vendus en 2019. A titre de comparaison, ce chiffre était de 50 millions en 2000. Selon des études sur le marché automobile, le nombre de véhicules produits va croître jusqu'à 120 millions d'ici 2030^[5], soit 30 millions de nouvelles voitures de plus qu'aujourd'hui. La croissance économique dans les Brics (Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud) est particulièrement décisive à cet égard. Dans le même temps, la part des véhicules rechargeables (électriques et hybrides rechargeables) devrait augmenter fortement - pour atteindre environ 30 millions d'ici 2030^[6].

Aujourd'hui, environ 1,3 milliard de voitures sont immatriculées dans le monde^[7]. Celles-ci émettent environ 6 milliards de tonnes de CO₂ par an (sur un total de 33 milliards de tonnes dans le monde)^[8]. Selon l'Office fédéral de la statistique, 6,2 millions de véhicules sont immatriculés en Suisse, avec des émissions directes de 16 millions de tonnes de CO₂^[9]. A cela s'ajoutent 20 à 30% d'émissions provenant de la production des carburants ainsi que de la fabrication et de l'élimination des véhicules. Selon l'Agence internationale

de l'énergie, les émissions de CO₂ continuent d'augmenter dans le monde entier dans tous les secteurs de l'énergie, la plus forte hausse étant enregistrée dans le secteur des transports. En Suisse, les émissions directes de CO₂ ont été réduites dans tous les secteurs; depuis 2008, cela a également été le cas pour le transport routier.

Un examen plus détaillé de l'exploitation des véhicules en Suisse montre qu'il existe des différences significatives entre les différents véhicules en termes de kilométrage annuel et donc aussi en termes d'émissions réelles de CO₂. L'évaluation par l'Empa de 1,5 million d'annonces automobiles dans Autoscout24 (sans les voitures de société) a montré que 50% du kilométrage est couvert par les 30% de véhicules ayant le kilométrage le plus élevé (voir figure 2). Ces véhicules sont responsables de la même quantité d'émissions de CO₂ que les 70% de voitures restantes. Les conducteurs roulant fréquemment et ceux circulant sur de longues distances ont donc une importance supérieure à la moyenne en termes d'émissions de CO₂.

Figure 1 – Nombre de véhicules pour 1000 habitants par rapport au PIB corrigé du pouvoir d'achat

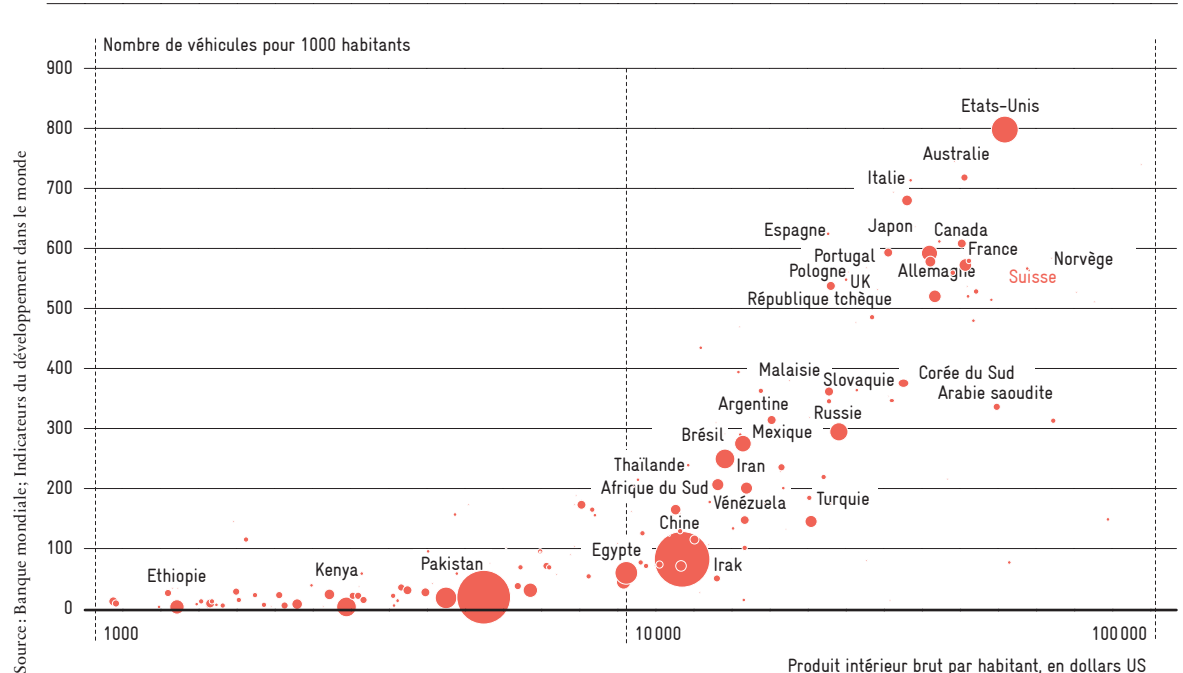
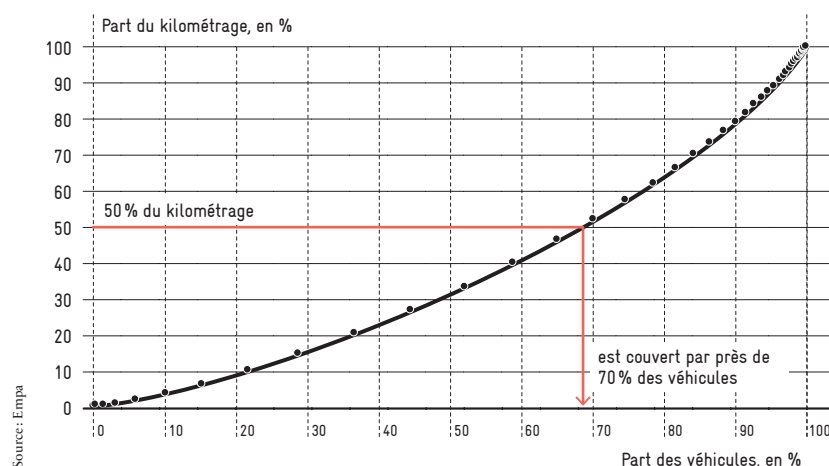


Figure 2 – Part du kilométrage en fonction de la part de véhicules

50 % du kilométrage est couvert par 70 % des véhicules. Les 30 % de véhicules roulant fréquemment ou sur de longues distances sont donc responsables de la moitié des émissions.



Dans le cas de la mobilité à longue distance, les effets de rebond ne doivent pas être sous-estimés. Ce serait le cas, par exemple, si les voyages de vacances d'une famille n'étaient plus effectués en voiture mais en avion après le passage à un véhicule électrique. Un seul voyage en avion d'une famille peut dépasser largement les émissions de CO₂ d'un véhicule à essence ou diesel pendant toute une année.

Les évaluations du cycle de vie des véhicules avec différents concepts de propulsion font l'objet de nombreuses études. En ce qui concerne les émissions de CO₂, la source de l'énergie est déterminante. Deux développements principaux sont discutés aujourd'hui : l'électrification du système de propulsion (c'est-à-dire des véhicules entièrement et partiellement électrifiés), et l'électrification des carburants (c'est-à-dire l'hydrogène et les carburants synthétiques). Pour produire des combustibles synthétiques, l'eau est décomposée dans un premier temps en oxygène et en hydrogène au moyen de l'électricité renouvelable qui ne peut être utilisée sur le marché de l'électricité en raison

LES SOURCES DE CARBURANT SYNTHÉTIQUE

La production de carburant synthétique nécessite de l'électricité renouvelable, de l'eau et du dioxyde de carbone (CO₂). Les procédés techniques sont connus et les premières installations industrielles à grande échelle sont planifiées. Les coûts de production dépendent surtout de la taille de l'usine et du prix de l'électricité, résultant des conditions locales, de la conception du marché de l'électricité et de la proportion d'électricité renouvelable.

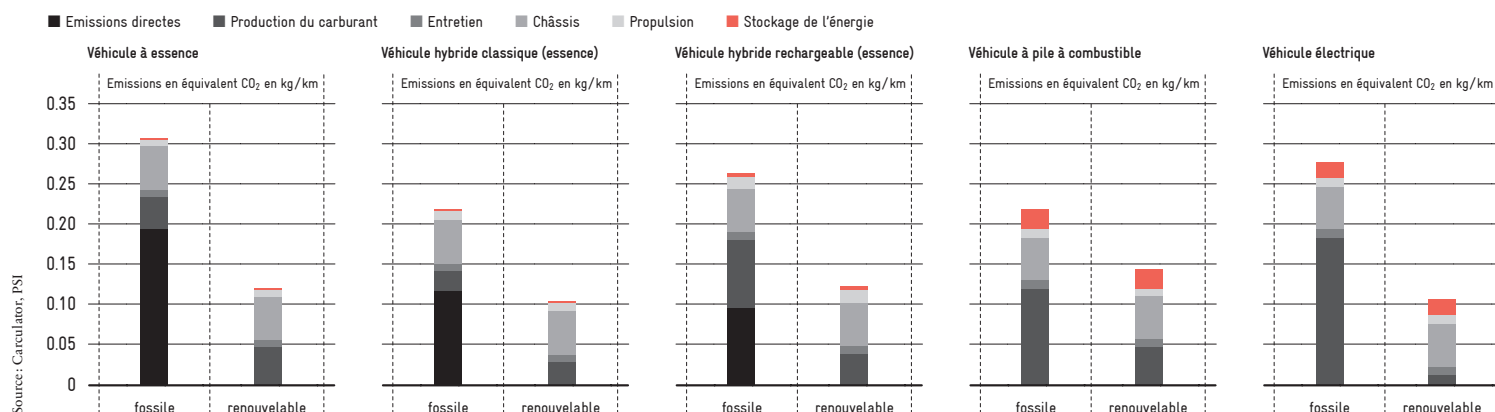
La production de carburant synthétique peut être garantie soit par des petites installations décentralisées en Suisse soit par des installations de production à l'étranger. Les installations en Suisse sont précieuses pour l'ensemble du système énergétique national – par exemple, en augmentant la part utilisable d'électricité renouvelable. Les grandes entreprises étrangères n'offrent certes aucun avantage direct pour la production électrique suisse, mais peuvent assurer l'approvisionnement en énergie renouvelable en hiver ou le transport routier et aérien longue distance.

Pour couvrir les besoins énergétiques non couverts par l'énergie hydraulique pendant le semestre d'hiver, ainsi que le trafic longue distance exclusivement avec du carburant synthétique importé, il faudrait une surface photovoltaïque d'environ 700 km² dans un désert, soit 27 x 27 km ou 0,008 % de la superficie du Sahara. L'eau et le CO₂ pourraient être extraits localement de l'atmosphère. Les mécanismes commerciaux, les infrastructures de transport, les normes et l'expertise existants pourraient être utilisés.

- 5 McKinsey; Automotive revolution – perspective towards 2030 (2016)
- 6 Bloomberg NEF; Electric Vehicle Outlook 2019.
- 7 Wards Auto, World Vehicle Population (2017).
- 8 IEA Tracking Transport (2019).
- 9 Office fédéral de l'environnement; Émissions des gaz à effet de serre d'après la loi sur le CO₂ et d'après le Protocole de Kyoto (2020).

Figure 3 – Émissions de gaz à effet de serre durant le cycle de vie de concepts de propulsion utilisant des énergies fossiles et renouvelables

Les émissions de CO₂ des voitures diffèrent moins en raison de la technologie de propulsion que de la source de l'énergie qu'elles utilisent. Avec des carburants fonctionnant aux énergies renouvelables, les différences d'émissions de CO₂ sont marginales.



d'une offre excédentaire ou d'un manque de capacité de transport – les autres types d'électricité sont trop chers. L'hydrogène peut alors être utilisé dans des véhicules ou être converti en hydrocarbures avec du CO₂, puis utilisé dans des véhicules à moteur à combustion ou hybrides.

L'hydrogène et les carburants synthétiques représentent un complément nécessaire à l'électromobilité, en particulier pour les utilisations sur de longues distances ou avec des charges. Ne pas prendre ces technologies au sérieux en raison du degré d'efficacité réduit qu'elles présentent dans certains sous-systèmes ne leur rend pas justice. En effet, le moment et le lieu où

l'électricité renouvelable est produite et demandée ainsi que la possibilité de stocker et/ou transporter l'énergie sont plus importants dans un système électrique renouvelable.

Si l'on compare les émissions de CO₂ des moteurs électriques et des carburants électrifiés, il apparaît clairement que celles-ci dépendent principalement de l'empreinte carbone de l'électricité utilisée. Des études de l'Institut Paul Scherrer montrent (voir figure 3) que le passage aux énergies renouvelables est avant tout décisif pour la réduction de CO₂. Le type de propulsion joue seulement un rôle secondaire à cet égard.

Les carburants synthétiques à 2 francs 40 le litre

Compte tenu de leurs coûts de production élevés, la question de la viabilité économique des carburants synthétiques se pose.

Christian Bach, Empa

Il est clair que les carburants synthétiques renouvelables sont beaucoup plus chers à produire que les carburants fossiles (voir figure 1): leurs coûts de production sont aujourd'hui huit fois plus élevés¹⁰. Cependant, grâce aux effets dus aux courbes d'apprentissage et aux économies d'échelle, il devrait être possible de réduire progressivement ces coûts – probablement à un niveau quatre fois plus élevé que celui de l'essence, du diesel et du gaz d'ici 2050. Les coûts de production représentent au-

jourd'hui un quart environ des prix à la pompe. Près de la moitié du prix est constituée de taxes et de prélèvements, le reste est destiné à la distribution, à la station-service et à la marge de profit. Les coûts de production plus hauts de ces carburants ont donc un effet moindre sur le prix à la pompe.

Le prix de production des carburants synthétiques se traduirait par des prix à la pompe de 3.90 francs par litre (sans taxe sur les huiles minérales et sans ajout à la taxe sur les huiles minérales) ou de 4.60 francs par litre (avec la taxe). En 2050, ces prix atteindraient un peu moins de 2 francs par litre (sans la taxe) ou 2.70 francs par litre (avec la taxe) (voir figure 1, diagramme de droite). Les équi-

Figure 1 _ Coûts des carburants synthétiques

Coûts de production des carburants synthétiques (à gauche); prix résultant à la pompe des carburants synthétiques (en rouge) et des carburants fossiles (en noir, à droite).

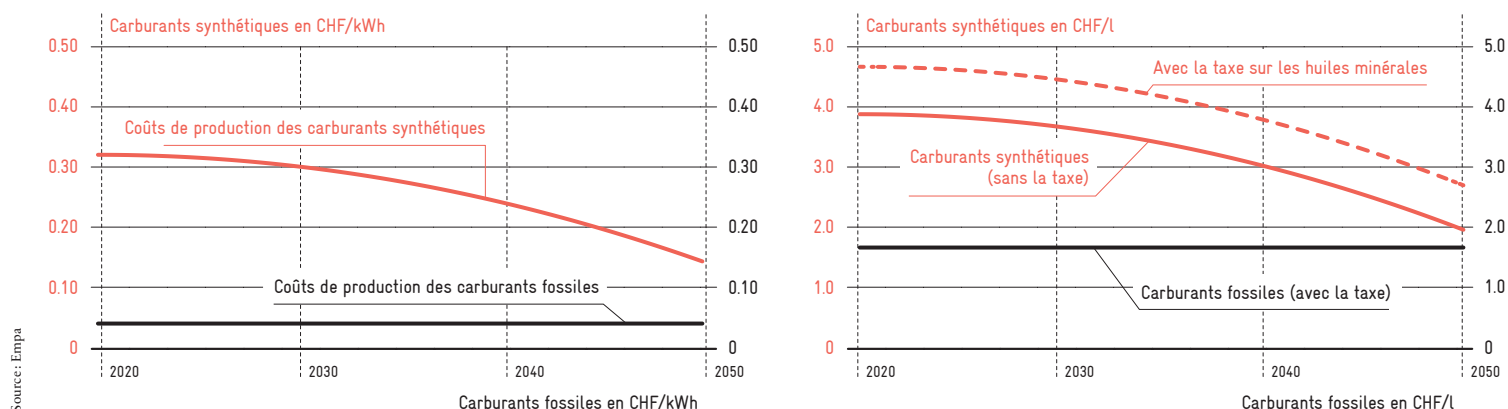
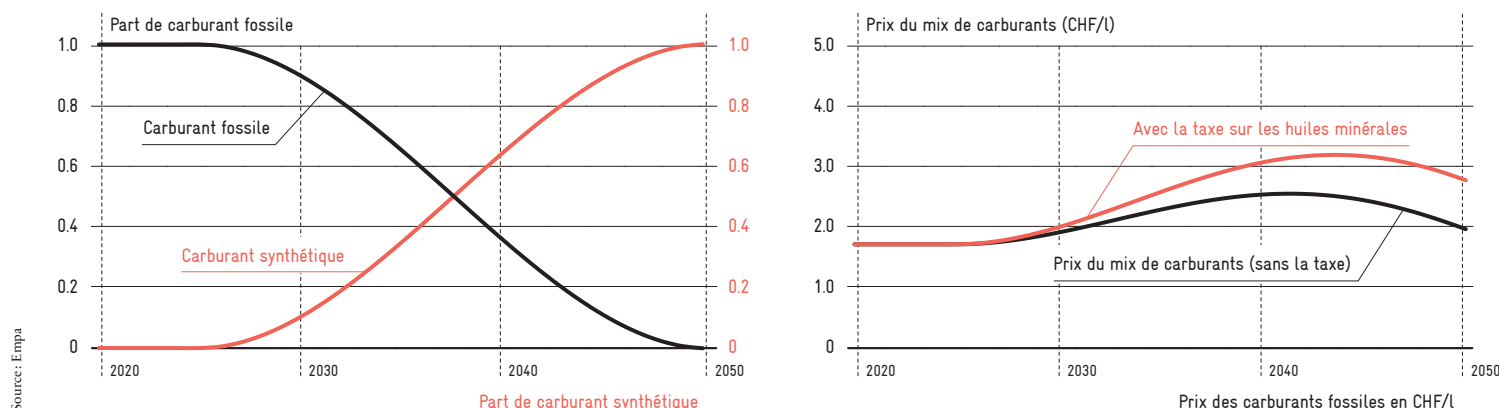


Figure 2. Remplacement des carburants fossiles et évolution des prix

Remplacement des carburants fossiles par des carburants synthétiques (à gauche) et prix résultant à la pompe pour le mix de carburants correspondant (droite); sans mesure supplémentaire.



valents diesel sont donnés en supposant des taux d'imposition constants sur les huiles minérales et d'autres coûts constants. L'énergie fossile est comptabilisée avec des coûts de production de 0.04 franc/kWh ou un prix à la pompe de 1.68 franc par litre, taxe sur les huiles minérales toujours incluse.

Si les coûts supplémentaires des carburants synthétiques devaient être compensés par une taxe sur le CO₂, celle-ci devrait s'élever au départ à plus de 700 francs par tonne de CO₂, ou être perçue sous la forme d'un supplément sur les carburants fossiles de plus de 2 francs par litre d'équivalent diesel – même si les carburants synthétiques étaient exemptés de la taxe sur les huiles minérales. En raison de l'évolution des coûts de production, cette taxe sur le CO₂ pourrait être progressivement réduite à 150 francs par tonne de CO₂ ou 0.40 franc par litre (avec une taxe sur les huiles minérales de 450 francs par tonne de CO₂ ou 1.20 franc par litre d'équivalent diesel). Etant donné qu'un tel projet n'aurait politiquement ou économiquement que très peu de chances, une autre approche est présentée ci-dessous.

Si l'on suppose que les carburants fossiles seront remplacés à 100% par des carburants synthétiques renouvelables entre 2025 et 2050 (voir figure 2, diagramme de gauche), le prix à la pompe pour le carburant mixte (équivalent diesel-litre) passerait à 2.60 francs par litre (sans taxe pour les carburants synthétiques) ou à 3.20 francs par litre (avec taxe) d'ici 2040, ce qui correspondrait encore à environ deux fois le prix actuel à la pompe (voir figure 2, diagramme de droite). Après 2040, une réduction des prix aura lieu en raison de la baisse des coûts de production des carburants synthétiques. En 2050, le prix à la pompe pour le carburant alors purement synthétique serait d'environ 2 francs par litre (sans la taxe sur les huiles minérales), et de 2.80 francs par litre avec la taxe.

Cependant, la mise en œuvre d'une telle évolution des coûts est elle aussi irréaliste – ce qui est recherché, c'est une approche avec une évolution des prix constante. Deux mesures peuvent rendre cela possible. La première est l'option de créditer la ré-

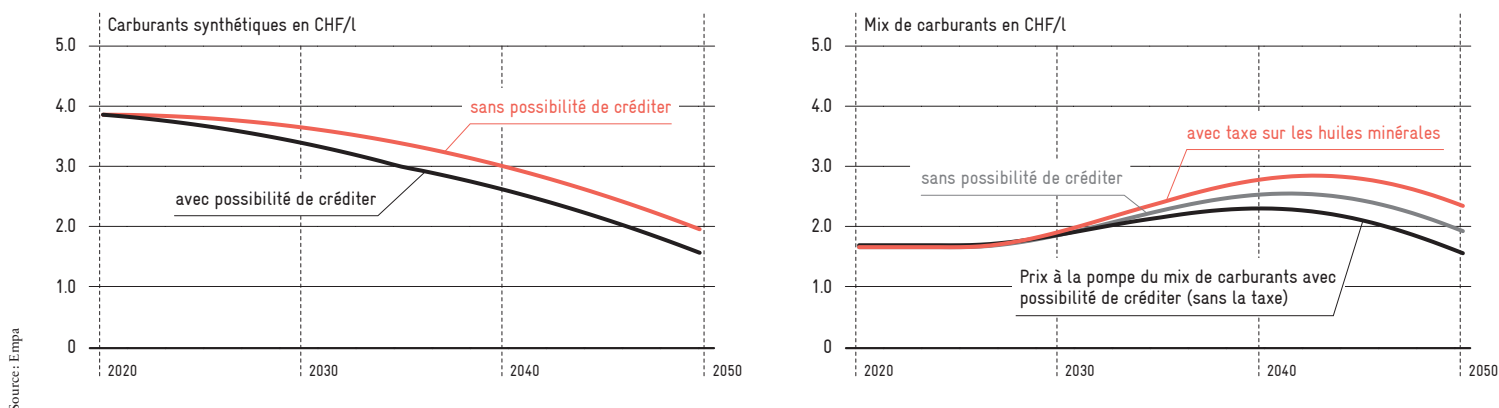
duction de CO₂ par les carburants synthétiques dans le cadre de l'immatriculation des véhicules, telle que présentée dans la révision de la loi sur le CO₂. Des valeurs cibles individuelles de CO₂ sont fixées chaque année pour les importateurs ou les constructeurs suisses de véhicules.^[11] Si ces valeurs sont dépassées, une pénalité est due. Pour l'année de référence 2020, cela représente 109 francs par gramme de dépassement de la valeur cible et par véhicule vendu. Pour un kilométrage supposé de 200000 km d'un véhicule, cela correspond à une sanction pour 200 kg de CO₂. Converti en consommation de diesel, cela représente 0.15 franc/kWh.

Concrètement, cela signifie que les importateurs ou les constructeurs suisses de véhicules devront payer des pénalités moins élevées s'ils mettent sur le marché des carburants synthétiques parallèlement à la vente de véhicules à combustion ou de véhicules hybrides. Cela pourrait par exemple être prouvé au moyen d'attestations d'origine certifiant que les carburants synthétiques sont basés sur des énergies renouvelables. On suppose ici que les attestations d'origine sont cédées à la moitié des frais de pénalités correspondants. Ces pénalités ne sont perçues que pour les émissions supérieures aux valeurs-cibles, ce qui est pris en compte dans le calcul. La législation européenne joue ici un rôle clé vis-à-vis de l'immatriculation des véhicules et de l'évolution du marché, par exemple en ce qui concerne la part de véhicules électriques. Les attestations d'origine pour les carburants synthétiques doivent être présentées dans l'année d'immatriculation des véhicules respectifs pour toute leur durée de vie, ici supposée être de quinze ans. Dans le même temps, on suppose qu'un quinzième du parc automobile est remplacé chaque année.

Dans l'ensemble, une telle prise en compte de la réduction de CO₂ fera baisser les prix des carburants synthétiques de 0.36 franc par litre d'équivalent diesel jusqu'en 2050 (voir figure 3, à gauche). Correspondant à la part des carburants synthétiques dans le mélange de carburants, cela conduit à une réduction du

Figure 3 – Effet sur les prix de la possibilité de créditer la réduction de CO₂

Impact de la possibilité de créditer la réduction de CO₂ sur les prix des carburants synthétiques (gauche) et des prix résultants à la pompe pour le mix de carburants correspondant (droite).



prix à la pompe jusqu'au remplacement complet des combustibles fossiles en 2050 (voir figure 3, à droite). Le prix à la pompe ainsi calculé pour 2050 représente le prix minimum qu'il est possible d'atteindre à long terme pour les carburants synthétiques.

Etant donné qu'il y aura encore une augmentation significative des prix durant la phase de transition jusqu'en 2040, avant que ceux-ci ne baissent par la suite, il est proposé comme seconde mesure de prélever une taxe sur les combustibles fossiles. Cela signifierait renchérir les prix des carburants fossiles pour pouvoir abaisser ceux des carburants synthétiques. Le but est d'abaisser le prix à la pompe des carburants synthétiques à la hauteur du prix minimum réalisable à long terme dès le début (voir figure 4, à gauche). Selon les hypothèses formulées ici, cela nécessiterait une redevance de 30 francs par tonne de CO₂ ou 0.008 franc/kWh (voir figure 4, au centre). Il en résulte un prix à la pompe final légèrement décroissant sans taxe et légèrement croissant avec taxe (voir figure 4, à droite). D'ici 2050, cela se traduirait par un prix à la pompe pour les carburants synthétiques 100% renou-

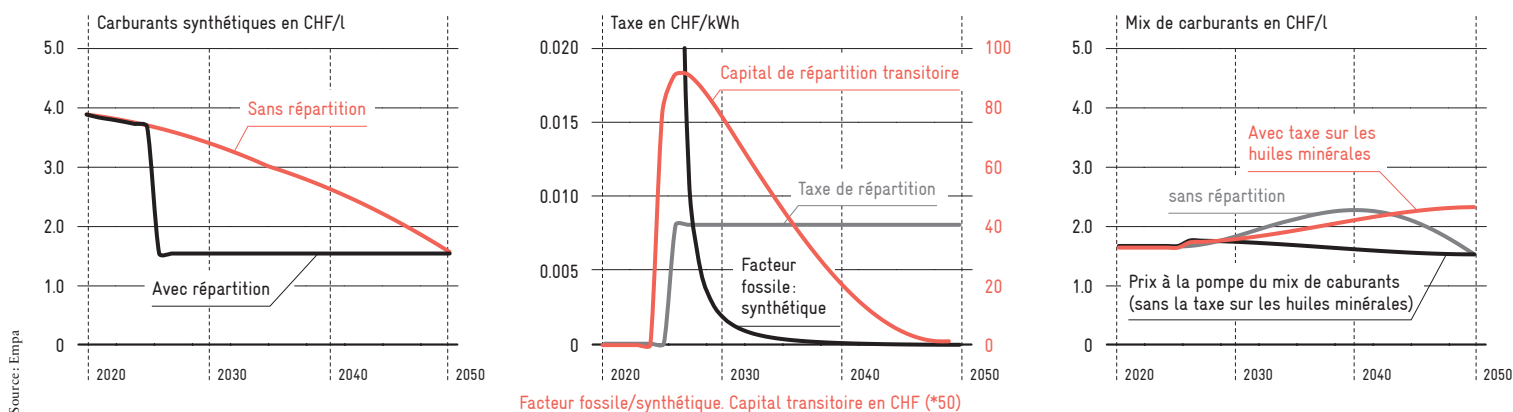
velables de 2.40 francs par litre d'équivalent diesel, y compris le montant de la taxe sur les huiles minérales.

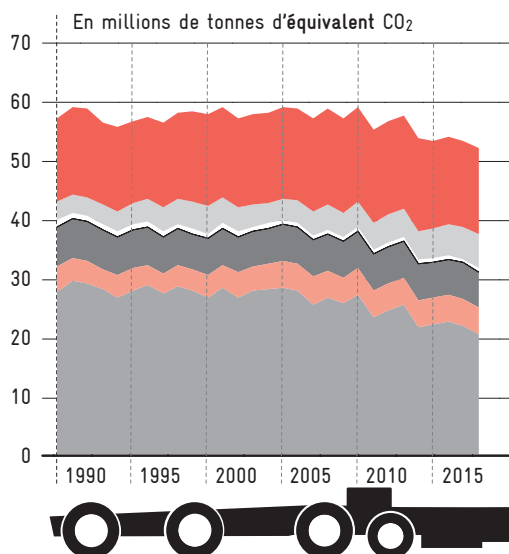
Outre l'électrification des systèmes de propulsion, la réalisation des objectifs de la Suisse en matière de CO₂ passe par l'électrification des carburants – en particulier pour les utilisations de longue distance et de charge. Bien que celles-ci ne soient pas particulièrement pertinentes en termes de nombre de véhicules, leur kilométrage élevé les rend cruciales pour les émissions de CO₂. La conversion complète des carburants fossiles aux carburants renouvelables ne concernera pas seulement le nouveau parc automobile, mais l'ensemble des véhicules, ce qui rend la mesure très efficace. La teneur en CO₂ du système de carburant serait réduite continuellement, comme sur le marché de l'électricité.

- 10 Zapf M. et al; Kosteneffiziente und nachhaltige Automobile, Bewertung der realen Klimabelastung und der Gesamtkosten – Heute und in Zukunft, Springer Verlag (2019).
- 11 Ordonnance sur le CO₂, Art. 17ff (2020).

Figure 4 – Prix sur le marché des carburants synthétiques avec un système de répartition

Impact de la répartition sur les prix des carburants synthétiques.





EMISSIONS

Emissions de gaz à effet de serre de la Suisse 1990-2018

Les émissions de gaz à effet de serre provenant du trafic routier ont quelque peu diminué depuis 2008, mais il reste encore beaucoup de chemin à parcourir avant d'atteindre l'objectif zéro. Aujourd'hui, le transport routier est responsable d'environ 30% des émissions de gaz à effet de serre produites au niveau national.

Source: Ofev (2020)

* A l'exclusion des émissions résultant de la production de biens importés. Sans LULUCF.



Hydrogène

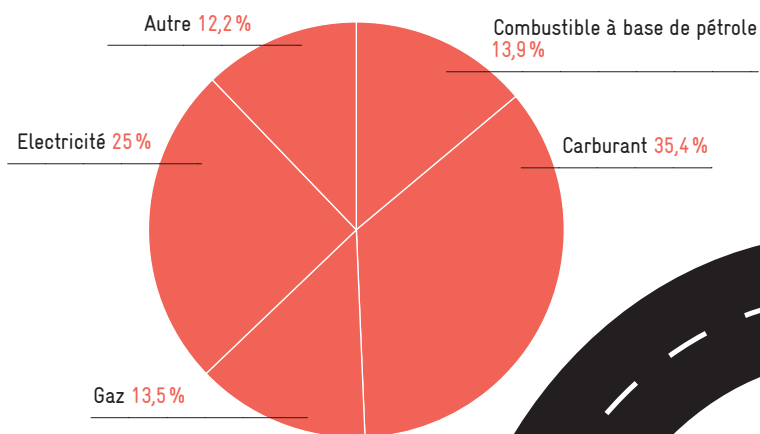
RESEAU ROUTIER SUISSE

Routes
71 555 kmRoutes nationales
1859 km
dont autoroutes
1462 km

Source: OFS (2019)



■ Trafic routier ■ Trafic aérien et fluvial international □ Déchets ■ Autres
■ Agriculture ■ Processus industriels et solvants ■ Energie (sans trafic routier)



CONSOMMATION D'ENERGIE

Consommation finale d'énergie en Suisse 2018

En 2018, la Suisse a consommé environ 831 000 térajoules d'énergie finale*, dont un bon tiers de carburants fossiles. Pour les remplacer efficacement par des carburants alternatifs ou de l'électricité, il faut d'énormes quantités d'énergie renouvelable.

Source: OFS (2019)

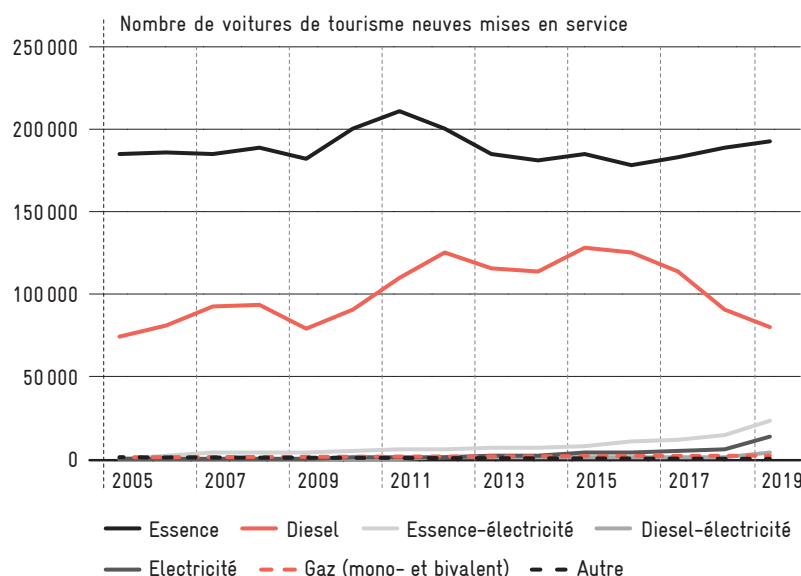
* Pertes d'énergie par conversion et distribution non incluses.

MISE SUR LE MARCHÉ

Mise sur le marché de voitures de tourisme selon le système de propulsion

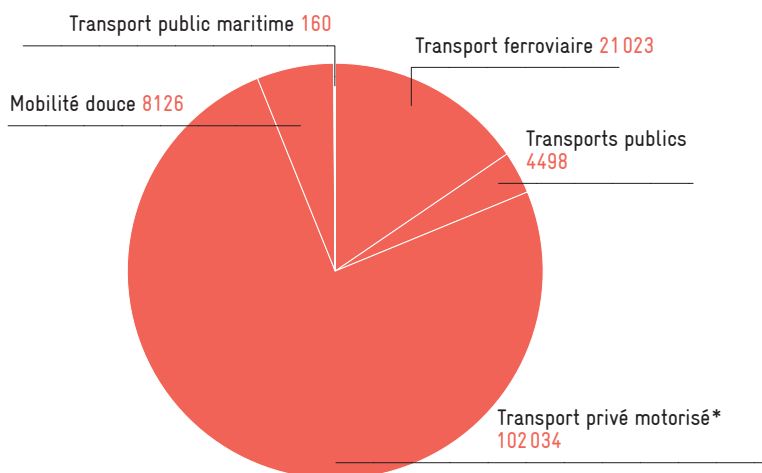
L'essence et le diesel continuent de dominer en Suisse. Les voitures de tourisme équipées de systèmes de propulsion alternatifs sont maintenant plus courantes sur les routes, mais elles représentent encore une proportion relativement faible.

Source: OFS (2019)



Routes cantonales
17 816 km

Routes communales
51 880 km



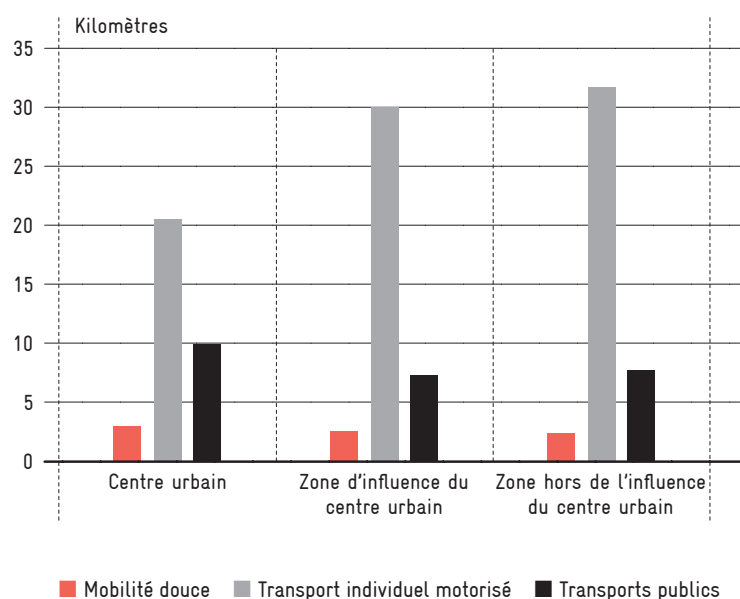
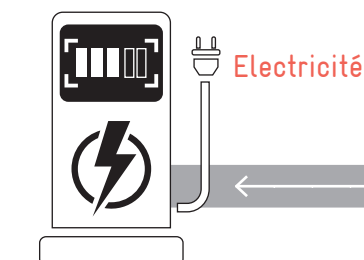
TRANSPORT DE PERSONNES

Personnes-kilomètres parcourus en Suisse en 2018, en millions

Une grande partie des personnes-kilomètres parcourus en Suisse est due au transport privé motorisé. En 2018, les voitures de tourisme assuraient presque cinq fois plus de transports que les chemins de fer.

Source : OFS (2019)

* Véhicules nationaux et étrangers en Suisse, à l'exclusion des minibus et des camping-cars.



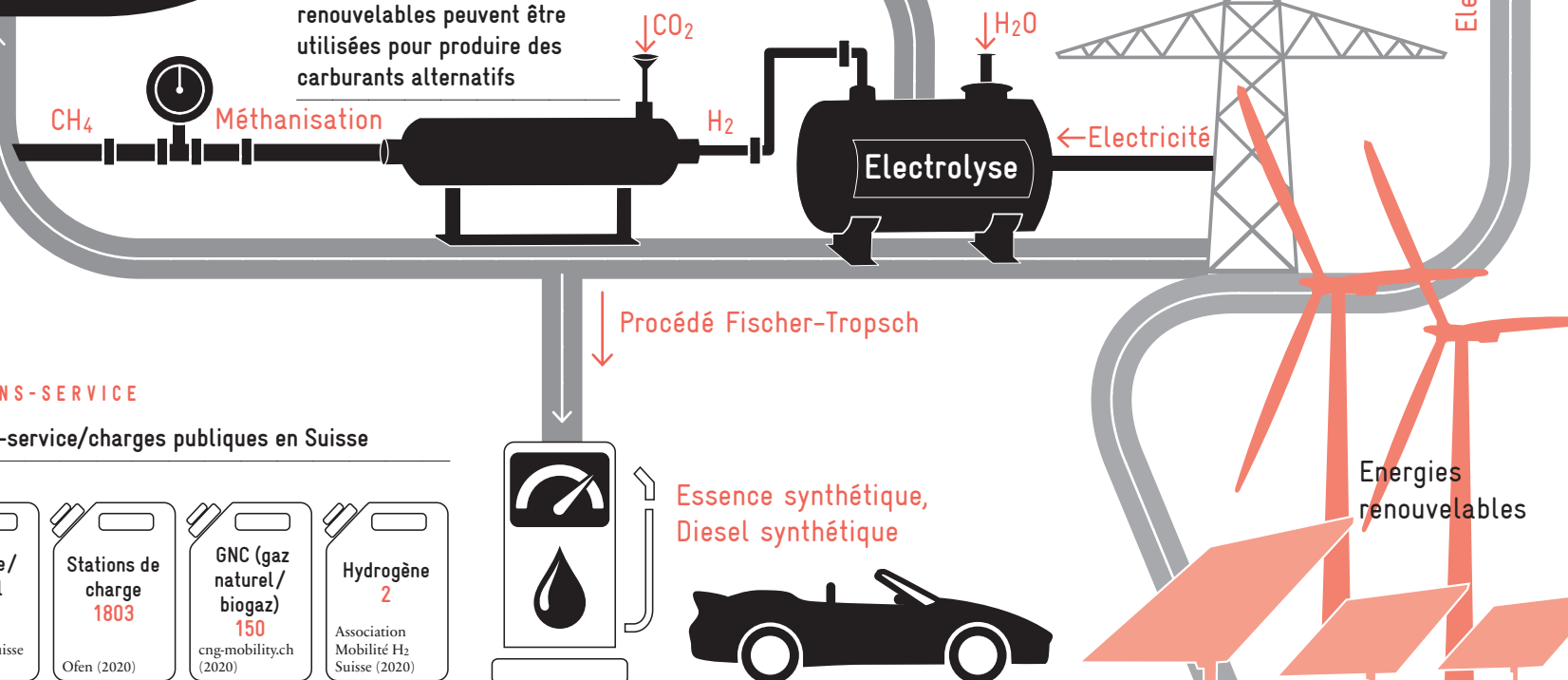
DISTANCE JOURNALIÈRE

Distance journalière selon le degré d'urbanisation 2015

La voiture est un élément indispensable de la vie quotidienne en Suisse, tant en ville qu'à la campagne. Plus on s'éloigne du centre urbain, plus on est dépendant du transport individuel motorisé. Néanmoins, les plus grandes distances quotidiennes sont couvertes par le TIM même dans le centre urbain.

Source : OFS (2017)

Voici comment les énergies renouvelables peuvent être utilisées pour produire des carburants alternatifs



STATIONS-SERVICE

Stations-service/charges publiques en Suisse

Essence/ Diesel 3362 Avenergy Suisse (2020)	Stations de charge 1803 Ofen (2020)	GNC (gaz naturel/ biogaz) 150 cng-mobility.ch (2020)	Hydrogène 2 Association Mobilité H ₂ Suisse (2020)
---	--	---	---

«Au final, le client décide avec son cœur et son portefeuille»

Morten Hannesbo, CEO d'Amag, s'est entretenu avec Avenir Suisse sur l'avenir des technologies automobiles et les différentes possibilités de réduire substantiellement les émissions de CO₂. Selon M. Hannesbo, l'électrification des voitures est non seulement le moyen le plus rapide d'atteindre cet objectif, mais aussi la solution la plus attrayante pour les clients.

Urs Steiner, Patrick Dümmler

avenir suisse: M. Hannesbo, la question du choix de la technologie de propulsion a toutes les caractéristiques d'une discussion pararelégieuse. Il y a des prophètes, des croisés et des inquisiteurs de tous les côtés. Où vous situez-vous ?

Morten Hannesbo: Il y a deux mondes : pour commencer, les gens achètent ce qu'ils aiment. Un client se projette dans quatre à cinq ans, puis il change généralement de voiture. C'est en grande partie un monde de moteurs à combustion : $\frac{2}{3}$ d'essence, $\frac{1}{3}$ de diesel. Et puis il y a le monde des nouvelles technologies, qui est principalement promu et exigé par la politique. Il y a les moteurs électriques à batterie, les hybrides rechargeables et les véhicules à pile à combustible, qui ont encore un côté exotique, surtout pour les véhicules privés. Ce monde est acclamé par les politiciens, mais la majorité des clients ne sont pas encore prêts pour cela. Nous avons encore des problèmes de portée, d'acceptation et de coût. Cela réduit la demande – bien que ces véhicules soient largement adaptés à un usage quotidien.

Comment se présentent concrètement les ventes de véhicules rechargeables ?

Elles sont encore bien en deçà du niveau souhaité. Nous allons vendre environ 10% de véhicules rechargeables cette année, mais cela ne sera pas suffisant pour atteindre les objectifs en matière de CO₂. Seuls les clients qui peuvent se le permettre – et pas seulement financièrement – achèteront ces nouvelles technologies. Sur le marché suisse, 50 à 60% des personnes ne sont pas propriétaires. Beaucoup de locataires n'ont pas le contrôle de leur place de parking. Ils ne peuvent pas se contenter d'installer une fiche murale. Et le chargement dans les stations de recharge publiques implique de prévoir plus de temps.

Les Volkswagen sont pourtant des voitures pour tout le monde, comme l'indique leur nom...

Oui, la marque la plus vendue. Et nous voulons l'être aussi en termes d'objectifs de CO₂. Mais nous sommes à la traîne car la production a pratiquement été stoppée trois mois cette année. D'abord, la production de batteries s'est arrêtée en Asie, puis

les usines en Europe ont suivi. Comme aucun nouveau produit n'est arrivé en mars, avril et mai, nous avons dû vendre le peu que nous avions en stock. Normalement, nous devrions gérer nos ventes de manière à atteindre au mieux les objectifs en matière de CO₂. Nous n'y sommes pas tout à fait parvenus en 2019, et en 2020, nous serons loin de l'objectif. La situation liée au coronavirus m'empêche d'atteindre ce but.

Cela signifie que vous orientez doucement vos clients dans la direction que vous voulez – ou plutôt devez...

Il le faut. Nous poussons les véhicules électriques et rechargeables à pleine vitesse. Mais d'une part, nous n'en avons pas assez pour atteindre les objectifs de CO₂ pour les nouvelles voitures, et d'autre part, il est difficile de vendre ces véhicules. Il en résulte une taxe incitative très élevée pour nous.

Prévoyez-vous environ 100 millions de francs suisses d'amendes en 2020 ?

... officiellement, il s'agit de taxes incitatives...

Pourquoi ne pas ajouter cette taxe au prix des voitures ?

Je ne peux pas le faire. Nous avons un marché libre et ouvert pour les véhicules en Europe. Nous aurions une énorme augmentation des importations directes. Nous sommes déjà un peu plus chers en Suisse parce que nos voitures sont mieux équipées, parce que nous offrons de meilleures garanties, mais aussi en raison des coûts plus élevés.

Il n'y a donc pas de taxes incitatives en Europe ?

Sous cette forme, par pays, non. La Suisse est une île à bien des égards mais lorsqu'il s'agit de CO₂, elle est vraiment seule ! Nous devons atteindre nos objectifs en matière de CO₂ dans ce domaine, alors que l'UE peut répartir ses objectifs entre 27 pays. Ici, l'Espagne joue avec la Suède, l'Allemagne avec la Grèce. Ce sont des marchés différents. En moyenne, les marchés de l'UE atteindront probablement les 95 g de CO₂/km requis d'ici 2020. Mais la Suède, par exemple, n'atteindra pas les valeurs cibles, pas plus que la Suisse. Nous vendons des véhicules plus chers avec des moteurs plus puissants, dont beaucoup sont équipés d'une transmission automatique et de quatre roues motrices. Une Skoda Octavia ou une Golf émettent rapidement 160–170g de CO₂. Nous avons beaucoup de mon-

tagnes, de la neige en hiver, des embouteillages. La Suède, en tant que membre de l'UE, peut compenser cette situation avec l'aide de l'Espagne, où des voitures plus petites sont achetées.

Serait-il judicieux que la Suisse puisse «s'arrimer» à l'UE pour la réglementation du CO2 afin de lisser les chiffres de la consommation?

Chez Auto Suisse, nous l'avons proposé dès le départ à l'Office fédéral de l'énergie et au Conseil fédéral. Cela a toutefois été rejeté parce que la Suisse devrait assumer un rôle de pionnier. Les politiciens exigent que nous atteignons les objectifs plus rapidement que quiconque, sans tenir compte de l'économie et de la population. Pendant longtemps, la Suisse pouvait se le permettre. La question est de savoir si ce sera encore le cas à l'avenir. Nous avons connu la crise financière et maintenant, nous subissons la crise du coronavirus. Ces crises sont coûteuses et ont rendu la vie très difficile à de nombreuses PME. Si on y ajoute d'autres charges, dont celles liées au CO₂, je ne sais pas si l'économie pourra faire face sans que la population s'en rende compte. Après tout, les salaires des concurrents en France et en Italie représentent un tiers ou la moitié de ce qu'ils sont actuellement en Suisse.

Les objectifs en matière de CO2 ne vont-ils pas modifier le rôle de l'importateur? Il ne faut pas seulement penser en termes commerciaux, il faut aussi atteindre un objectif climatique.

Il est en effet devenu plus difficile de proposer une combinaison de modèles qui soient disponibles et qui intéressent les clients. Au final, le client décide avec son cœur et son portefeuille. Ceux qui ont beaucoup de cœur achètent les nouvelles technologies, et ceux qui ont peu d'argent ne les achètent pas.

Les problèmes de l'économie sont évidents, tout comme ceux du climat. Ce conflit d'objectifs peut-il être résolu par la seule mobilité électrique? Ou peut-on apporter autre chose dans le secteur des transports, comme des véhicules à pile à combustible ou des carburants synthétiques?

L'électromobilité apporte d'énormes avantages au client. Aujourd'hui, les inconvénients sont toujours les coûts et la portée. Les deux problèmes peuvent être résolus. Pour moi, l'électromobilité est la clé du succès. Les piles à combustible sont intéressantes pour les camions, les bus et peut-être aussi pour les bateaux. Le bilan énergétique de la pile à combustible est bien pire que celui des véhicules à batterie. Cela ne vaut la peine que s'il n'y a pas d'autre moyen, par exemple pour les camions. En revanche, les carburants synthétiques seraient très intéressants. Mais aujourd'hui, un litre de ce carburant coûte entre sept et huit francs. Et nous ne pouvons pas en produire suffisamment en peu de temps. Mais cette technologie a du potentiel, surtout si ces combustibles pouvaient être produits dans des régions du monde où l'énergie éolienne ou solaire est disponible presque «gratuitement» et où la surface nécessaire est bon marché. Mais nous parlons d'une perspective de 30-40 ans.



Les combustibles synthétiques pourraient remplacer progressivement les combustibles fossiles au fur et à mesure de l'augmentation de la production. Ainsi, il serait possible d'avancer continuellement vers l'objectif climatique. Un autre avantage est que l'infrastructure existe déjà.

Je suis tout à fait d'accord, mais je ne vois pas encore de voie directe pour y arriver. Le moyen le plus rapide et le moins cher est de passer aux véhicules électriques, malgré les investissements dans une nouvelle infrastructure.

Compte tenu des différentes options technologiques pour réduire le CO₂ dans le domaine des transports, nous avons besoin de conditions-cadre qui maintiennent effectivement les options ouvertes.

Les politiciens sont toujours bien avisés de procéder de manière neutre en termes de solutions et de technologies, que ce soit dans la construction de moteurs ou dans le domaine des voitures par rapport aux transports publics. Ce que je peux dire, c'est que si je dispose d'un calendrier et que j'y consigne les progrès techniques, alors nous verrons la percée de la mobilité électrique dans trois ou quatre ans. Nous allons vendre un tiers de nos véhicules avec un moteur électrique. D'ici la fin de la décennie, entre 60% et 65% des nouvelles voitures seront électriques. Mais la majorité du parc de véhicules sera encore alimentée par des moteurs à combustion d'ici 2045. Pour l'éviter, il faudrait interdire le moteur à combustion, mais je le rejette complètement. Parce que dans la perspective actuelle, un moteur diesel est la meilleure solution – meilleure qu'un véhicule électrique...

Cela est très controversé!

La Suisse, la Norvège et la France sont des pays qui disposent d'un mix électrique optimal pour les voitures électriques: l'électricité est produite sans presque aucune émission de CO₂. Dans tous les autres pays, ce mix n'est pas optimal d'un point de vue environnemental. Un diesel économique est la meilleure solution. Il y a des milliers de questions à prendre en compte, notamment l'usure des pneus, qui augmente lorsque la voiture devient plus lourde à cause des batteries. Il n'y a pas de réponse simple à la question de la bonne technologie pour la mobilité. Quand je pédale dans la campagne, je vois des Subaru à quatre roues motrices ... et des tracteurs partout. Cela ne changera pas si vite en Valais, dans le Jura et dans les Grisons. C'est pourquoi nous avons besoin d'approches technologiquement neutres, où

une solution différente peut être trouvée dans les villes et dans les campagnes. Et pour les voyages à longue distance, nous avons besoin d'autres concepts.

Alors, en tant que fan de l'électromobilité, partagez-vous tout de même l'opinion selon laquelle nous n'atteindrons pas notre objectif avec cette seule technologie?

A proprement parler, nous n'atteindrons jamais le zéro net, car même les éoliennes ont besoin d'électricité pour être produites. Nous avons besoin d'une voie pour réduire notre empreinte de CO₂. Mais cela doit être fait avec bon sens. Nous sommes totalement fous dans la manière dont nous voulons résoudre notre problème de CO₂. Ce que nous voulons faire n'est pas faux, mais la vitesse à laquelle nous avançons n'est pas adéquate. Nous avons les spécifications les plus strictes au monde pour les voitures et voulons en plus réaliser tout le reste en Suisse. Bien sûr, nous pouvons le faire, mais en fin de compte, le pays doit aussi être capable de survivre économiquement. Notre approche est donc trop naïve. Nous voulons sauver le monde en Suisse, mais nous sommes responsables de moins d'un pour mille des émissions mondiales de CO₂. On oublie aussi que les Suisses parcourent en moyenne 14 000 km par an, les Allemands près du double. Le CO₂ a moins à voir avec la quantité de CO₂ émise par la chaîne de montage de ma voiture qu'avec le nombre de kilomètres que je fais avec celle-ci. Le cliché de la Porsche Cayenne en ville de Zurich doit être relativisé. Si elle ne parcourt que 5 000 km par an, elle peut être meilleure qu'une Toyota Prius qui parcourt 20 000 km. Nous pouvons résoudre les problèmes en tenant compte de la masse. Nous devons électrifier les petits véhicules, cela nous permettrait de réaliser beaucoup de choses.

Faudrait-il faire payer les émissions réelles au lieu d'appliquer la réglementation sur le CO₂ pour les nouvelles voitures? Le consommateur aurait la possibilité d'économiser du CO₂ et de l'argent en choisissant le véhicule et son kilométrage.

Cela punirait ceux qui ont acheté une voiture dans des conditions différentes et qui doivent parfois conduire beaucoup pour se rendre au travail ou vivre dans des zones rurales. Ce que nous faisons n'est pas faux, mais nous voulons aller trop vite. Je serais déjà heureux si nous reportions les objectifs en matière de CO₂ de 2020 à 2021. Cela aiderait beaucoup l'industrie.

Peut-être que nous devrions nous orienter vers le vélo.

Je suis un cycliste passionné. C'est sain, tout en soulageant les routes et les transports publics. J'aime vendre des voitures, mais j'apprécie la tendance en faveur du vélo. Ce que je ne comprends pas, c'est pourquoi les villes suisses ne parviennent pas à concevoir correctement leurs pistes cyclables. À Copenhague d'où je viens, il y a une séparation structurelle entre les rues, les pistes cyclables et les trottoirs. Cela pourrait être fait beaucoup mieux ici.

MORTEN HANNESBO

a été nommé en 2007 responsable des importations chez le plus grand importateur de voitures en Suisse, Amag, et dirige le groupe en tant que CEO depuis 2009. Initialement formé au commerce maritime, il était auparavant directeur de Ford au Royaume-Uni, en France et en Suisse, directeur général chez Nissan Danemark et directeur marketing chez Toyota, au Danemark. Agé de 57 ans, Morten Hannesbo est le vice-président d'Auto Suisse, l'association des importateurs officiels d'automobiles.

Comparaison des technologies de propulsion de véhicules

Les véhicules d'aujourd'hui consomment environ 20% de carburant en moins qu'en 1990, bien qu'ils soient devenus plus lourds, plus puissants, plus confortables, plus sûrs et plus propres. Toutefois, cela ne suffit pas pour atteindre les objectifs en matière de CO₂. Ils doivent passer de l'énergie fossile à l'énergie renouvelable. Cela est possible pour tous les concepts de propulsion.

Christian Bach, Empa

L'énergie chimique du réservoir ou l'électricité de la batterie génère la puissance mécanique nécessaire à la propulsion des véhicules. Aujourd'hui, cette énergie se compose principalement d'essence et de diesel ainsi que de gaz, qui sont convertis par des processus thermiques dans des moteurs à combustion.

Comme les petits moteurs à combustion n'ont qu'un faible couple de démarrage, on installe généralement aujourd'hui des moteurs (trop) gros à puissance continue relativement élevée. Si vous combinez un moteur à combustion avec un moteur électrique pour créer une propulsion hybride, celui-ci pourra être plus petit et plus économique, car les moteurs électriques ont déjà un couple élevé à basse vitesse. Ces véhicules hybrides ont une consommation de carburant de 20 à 40% inférieure à celle des véhicules à moteur à combustion pure, en particulier à faible puissance (par exemple pour la conduite urbaine). Sur les autoroutes, la différence est beaucoup plus faible. Les véhicules hybrides conventionnels ne peuvent – dans le meilleur des cas – parcourir que quelques kilomètres à l'électricité, et cela uniquement à faible vitesse.

Les hybrides rechargeables avec un moteur électrique plus puissant et une batterie plus grande, qui peut également être chargée sur une prise de courant, ont une autonomie électrique de 30 à 50 km ; grâce à l'entraînement par moteur à combustion, ils ont cependant aussi une puissance continue élevée et une longue autonomie. Toutefois,

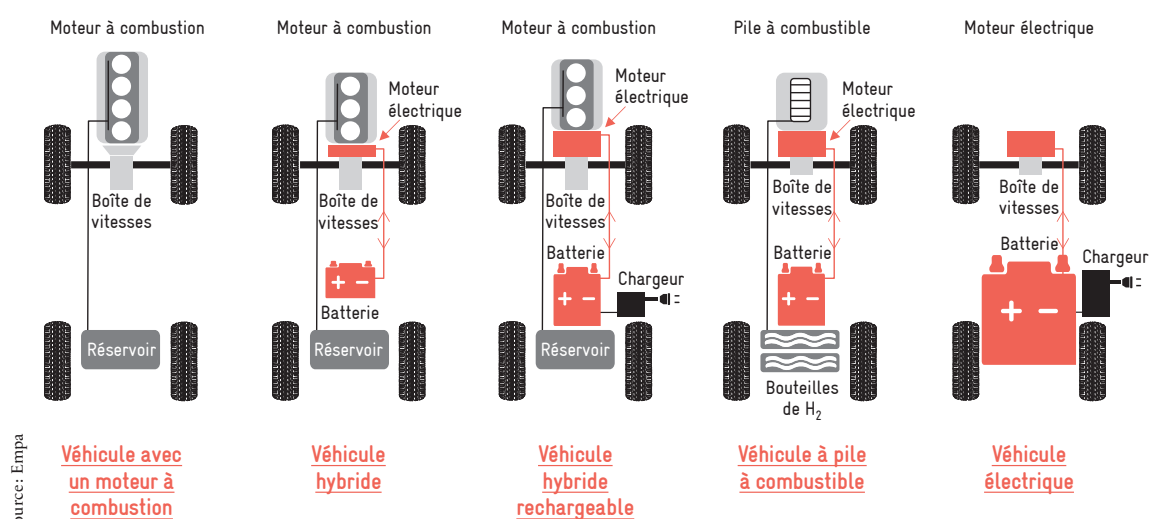
ces voitures sont plus lourdes que les hybrides classiques. En comparaison, leur utilisation n'a de sens que si au moins 50% de la distance parcourue est effectuée grâce à l'électricité.

Dans les véhicules à pile à combustible, l'hydrogène (H₂) est converti par des processus électrochimique en électricité qui est ensuite utilisée pour faire fonctionner le moteur électrique. Le véhicule peut être ravitaillé en H₂ à une vitesse similaire à celle du carburant classique, mais doit intégrer de volumineuses bouteilles de gaz comprimé. Cette technologie est donc principalement adaptée aux moyens de transport plus importants.

Enfin, les véhicules électriques à batterie ont la structure de propulsion la plus simple, avec une batterie relativement grande pour alimenter le moteur électrique. Ils sont environ deux fois plus efficaces que les véhicules à pile à combustible ou hybrides, mais nécessitent des matières premières spéciales. Les véhicules hybrides, à pile à combustible et électriques peuvent récupérer l'énergie de freinage, c'est-à-dire la reconvertir en électricité.

Représentation schématique des différents concepts de propulsion

L'illustration montre de façon schématique les différents concepts de propulsion. Les véhicules hybrides et à pile à combustible ont non seulement besoin de beaucoup plus d'espace pour leurs sources de propulsion combinées, mais entraînent un poids beaucoup plus importants que les voitures électriques et les véhicules à moteur à combustion.



Vitesse, puanteur, bruit – et ennuis

Les débuts turbulents de l'automobile en Suisse sont une histoire de scepticisme et de ferveur. Dès le départ, la perception des véhicules motorisés oscille entre jalousie et fierté du propriétaire, entre dégoût et enthousiasme. Un coup d'oeil dans le rétroviseur.

Marc Tribelhorn, NZZ

Les débuts sont toujours difficiles. Cela s'applique également à la voiture. Lorsque ces nouveaux moyens de transport ont commencé à se frayer un chemin à l'orée du XX^e siècle en Suisse, la population était très sceptique. Fondamentalement, les véhicules ne sont au départ que des calèches motorisées. Mais cette mode sophistiquée destinée à une poignée de riches, importée de Paris à la Belle Époque, a rapidement provoqué un tollé dans la Confédération suisse – et un florilège de plaintes.

En été 1900, un postillon des Grisons écrit aux autorités: «depuis quelques jours, un monstre d'automobile circule sur nos routes de campagne. Nous avons eu l'occasion d'observer comment les chevaux sont devenus nerveux à sa vue». Ce n'est pas la seule plainte émise par les usagers de la route encore non familiarisés avec la voiture à propos de la «grande vitesse, le bruit et la puanteur». Le gouvernement grison n'hésite pas et décide qu'«il est interdit de circuler en voiture sur toutes les routes du canton des Grisons». Le canton devient ainsi une «oasis de paix, où l'on est à l'abri de tous les fléaux de l'automobile», comme s'en réjouissent les habitants. Et cela durera un quart de siècle. L'interdiction n'est levée qu'en 1925 – après l'adoption de la dixième initiative populaire sur le sujet.

Le canton de montagne est un exemple extrême. Cependant, la résistance à la voiture est très répandue, surtout dans les zones rurales. Les cols sont interdits aux automobilistes, par crainte d'accidents. Uri, par exemple, émet une interdiction de circuler sur ses routes alpines en 1901, mais dès 1906, le col du Gothard est ouvert quelques heures par jour sous la pression de l'industrie touristique. D'autres cantons tentent de freiner la circulation indésirable en l'interdisant le dimanche ou au moins la conduite de nuit. A la fin des années 1920, à Schwytz, on se plaignait encore auprès des autorités au sujet des «courses absurdes» et du «danger pour la vie des piétons». La police a réagi en imposant des contrôles de vitesse. Toutes sortes d'infractions au code de la route sont signalées par la population, pas entièrement par altruisme, car les dénonciateurs reçoivent

une partie de l'amende. Mais ce n'est pas tout: les conducteurs sont parfois insultés, subissent des jets de pierres ou sont même victimes de «pièges» – des clous et des morceaux de verre brisés disposés sur les routes, des fils de fer tendus en travers de la chaussée. A Zurich et Lucerne, de la bouse de vache et du purin sont déversés dans des voitures de luxe. Et après un accident de la route, la «Bauernzeitung» demande à ce que «des mesures draconiennes soient prises contre ce sport qui se pavane de sang-froid sur les cadavres».

Comment expliquer cette «agitation insensée contre la voiture», dont se plaint l'«Automobil-Revue», fondée en 1906? Pour l'historien Christoph Maria Merki, auteur de l'ouvrage de référence «Der holprige Siegeszug des Automobils» («Le triomphe cahoteux de l'automobile»), les raisons sont principalement à trouver dans les coûts sociaux: le bruit des moteurs et des klaxons, la poussière, les dégâts sur les routes, le risque accru d'accidents. Mais la résistance est aussi une réaction à l'éviction des véhicules moins rapides et moins lourds. Les premières voitures sont en effet si chères que seuls les riches peuvent se les offrir; ce sont des jouets pour les industriels, les commerçants, les hôteliers ou les banquiers. La lutte des classes se reflète dans les rues. A Genève, «fief de l'automobile» en 1912, seuls 5 % des voitures appartenaient aux travailleurs.

Dans un premier temps, il n'y a pas de diffusion de masse. Les premières statistiques nationales sur les voitures datant de 1910 montrent que seulement 2276 voitures ont été acquises. En 1925, ce chiffre était passé à plus de 28 500 véhicules, et en 1930, il était de 60 000. Ce qui est intéressant dans les chiffres de 1910, c'est la forte proportion de marques nationales. En fait, une vingtaine d'entreprises se sont établies en Suisse au début du siècle, par exemple Turicum à Uster, Pic-Pic à Genève ou Martini à Saint-Blaise. Avant la Première Guerre mondiale,



l'industrie automobile suisse couvrait non seulement une partie de la demande du pays, mais exportait également environ la moitié de sa production. Cette industrie décline cependant dès les années 1920, en raison des importations de voitures à bas prix en provenance de l'étranger. Seuls les constructeurs suisses de véhicules utilitaires, tels que Berna ou Saurer, restent compétitifs.

Les principaux promoteurs des nouveaux moyens de transport sont les associations automobiles. Inspiré par des modèles français, l'Automobile Club de Suisse (ACS) a été fondé à Genève en 1898. Le Touring Club Suisse (TCS) a suivi en 1911 avec sa propre section automobile. Tous deux visent à combattre le scepticisme des autorités et de la population. A des fins publicitaires, ils organisent des courses endiablées. Cela correspond à l'idéal des «gentlemen-drivers» de se distinguer au volant par leur «sang-froid», leur «audace» et leur «galanterie». Dès les premiers temps, la conduite d'une voiture n'était pas seulement une question de mobilité, mais aussi de mode de vie – surtout pour les hommes. En 1925, seuls 4% des 8500 permis de conduire délivrés dans le canton de Zurich étaient détenus par des femmes.

Les associations automobiles sont des groupes de pression politiques qui font campagne pour une plus grande acceptation et de nouvelles infrastructures. Elles offrent également toutes sortes de services à leurs membres, tels que des cartes routières, des cours de conduite ou une assistance technique et juridique. Surtout, elles s'efforcent de mettre en place rapidement un réseau national de garages et de stations-service. Bien que les véhicules soient devenus moins chers et plus fiables après la Première Guerre mondiale, les pannes sont fréquentes, notamment en raison des pneumatiques. En revanche, l'essence, qui s'impose comme carburant, peut être obtenue dès le début même dans les petits villages, mais uniquement en bouteilles ou en bidons dans les pharmacies qui la stockent comme

solvant dans leur assortiment. Dans les villes, notamment, l'essence est bientôt mise à disposition dans des barils dans les arrière-cours ou sur le bord de la route. Ce n'est qu'au début des années 1920 que les pompes à essence en provenance des Etats-Unis commencent à se répandre en Europe occidentale. Cela rend le ravitaillement en carburant plus pratique, plus propre et diminue le risque d'incendie. En 1931, il y a déjà 7000 pompes de ce type en Suisse. Elles se trouvent devant des auberges, des magasins ou des ateliers.

Une taxe sur les carburants est également prélevée. Elle est destinée au développement et à l'entretien coûteux des routes : environ 30% du prix de l'essence va dans les caisses de la Confédération, qui reprend progressivement la législation sur l'automobile. En 1921, les compétences correspondantes sont transférées des cantons ou d'un concordat intercantonal à la Confédération. Les routes du XIX^e siècle ne sont plus suffisantes pour le trafic motorisé. La demande porte désormais sur des routes aussi lisses que possible, sans pentes ni virages. Au début des années 1930, un réseau routier d'environ 42 000 kilomètres était en place. Un tiers des routes cantonales ont déjà un revêtement fait de goudron ou d'asphalte. Mais ce n'est pas un avantage pour tous les usagers de la route. Dans les zones en pente ou verglacées, ces routes doivent être recouvertes de sable pour rester praticables par les chevaux.

L'accroissement de la réglementation fait progressivement disparaître le ressentiment envers les automobilistes. Les mesures techniques telles que les clignotants et les rétroviseurs augmentent la sécurité, tout comme les panneaux d'avertissement et les limitations de vitesse. Les propriétaires de véhicules doivent payer des taxes sur les véhicules en constante augmentation et souscrire une assurance de responsabilité civile. L'aspect provocateur et sportif de la conduite est également relégué au second plan. La voiture est également considérée comme un véhicule important pour le tourisme. Et les véhicules motorisés sous forme de taxis, de bus ou de cars postaux sont considérés comme utiles même par ceux qui ne peuvent pas se payer une voiture.

Cependant, la motorisation de masse de la Suisse n'a lieu qu'après la Seconde Guerre mondiale. Elle est rendue possible par la bonne conjonction économique, l'augmentation du pouvoir d'achat et la baisse du prix des voitures. Ces effets sont considérables non seulement sur la place économique suisse, mais aussi sur le comportement de la population en matière de travail, de loisirs et de voyages et ses conséquences nous impactent encore aujourd'hui.



Atteindre son but grâce au système de navigation économique

L'automobile est omniprésente dans notre société. Que ce soit en ville ou à la campagne, les surfaces construites sont jalonnées de parkings, de routes et de véhicules à moteur. Mais comment évaluer l'importance économique de l'automobile pour la Suisse? Différentes approches sont possibles.

Patrick Dümmler, Jürg Müller

Comme pour le calcul du produit intérieur brut (PIB), le phénomène peut être analysé du point de vue de la production ou de la dépense. En outre, les externalités jouent un rôle majeur, notamment dans le domaine du transport motorisé. Ces trois aspects seront abordés ci-dessous afin de replacer la question de la mobilité durable dans un contexte économique.

La perspective de la production

Contrairement aux pays voisins, il n'y a pas en Suisse de constructeurs automobiles de renommée internationale. Cela ne signifie pas pour autant que le pays ne joue pas un rôle dans l'industrie automobile. D'une part, de grandes entreprises de sous-traitance sont sises en Suisse, et d'autre part, les véhicules sont entretenus localement – ces deux activités jouent certainement un rôle dans l'économie suisse.

Avec une définition très large de l'industrie automobile, Auto Suisse estime que le secteur réalise un chiffre d'affaires de près de 94 milliards de francs suisses, compte près de 20 000 entreprises et emploie 226 000 personnes¹². Toutefois, ce chiffre est susceptible de surestimer le secteur, car il inclut un double comptage. Selon une analyse sectorielle plus précise de l'Université de Zurich, l'industrie automobile employait environ 34 000 personnes en Suisse en 2018 et générait un chiffre d'affaires de 12,3 milliards de francs¹³. L'étude a identifié près de 600 entreprises appartenant au secteur. En principe, on peut dire que l'industrie automobile est relativement petite. Au total, la Suisse compte près de 600 000 entreprises sur le marché et son PIB est d'un peu moins de 700 milliards de francs¹⁴.

Parallèlement, les changements structurels affectent également l'industrie automobile suisse. Les services gagnent en importance par rapport à la production, et les changements technologiques maintiennent les entreprises sur le qui-vive¹³. En 2018, par exemple, plus d'un quart de toutes les entreprises travaillant dans le secteur ont déclaré que leurs produits les plus importants pouvaient être attribués au moteur à combustion clas-

sique. Toutefois, ces dernières années, on a observé une nette évolution vers des produits destinés aux voitures électriques, les jeunes entreprises étant particulièrement actives dans ce domaine.

Ainsi, même s'il n'y a pas (ou plus) de constructeurs automobiles suisses de renommée internationale, l'industrie locale en tant qu'industrie de sous-traitance est également fortement touchée par la tendance à la mobilité électrique. Enfin, les entreprises sont étroitement intégrées dans les chaînes de valeur internationales, en tant qu'acheteuses également – seuls 5% des entreprises s'approvisionnent exclusivement sur le marché intérieur¹³. Le passage à la mobilité électrique et aux carburants synthétiques laissera donc également des traces dans le paysage des entreprises suisses, même si l'impact de cette technologie sur les fournisseurs suisses traditionnels sera probablement moins prononcé en raison de la compatibilité des carburants synthétiques avec les technologies existantes.

La perspective de la dépense

L'automobile en tant qu'objet de production et de services joue donc un rôle important, mais pas prédominant en Suisse. La situation est différente lorsque l'on considère l'aspect dépense des véhicules à moteur. Le trafic routier motorisé est au cœur de la mobilité en Suisse. Les véhicules motorisés représentent environ trois quarts des passagers-kilomètres parcourus¹⁵. Il faut ajouter à cela le transport de marchandises, auquel la route a contribué à hauteur de plus de 17 000 millions de tonnes-kilomètres¹² en 2018.

La mobilité est donc un élément important de notre vie économique moderne. Elle n'est pas seulement la base de divers processus de production et de services économiques, mais joue également un rôle central dans nos activités de loisirs. Près de la moitié des distances parcourues en Suisse dans le cadre du transport de passagers sont imputables aux loisirs¹⁶.

Enfin, si l'on examine l'évolution à long terme, on constate que le nombre de véhicules à moteur immatriculés augmente depuis les années 1970 – tant en chiffres absolus que par habitant¹². Les kilomètres parcourus dans le cadre du transport privé de per-

sonnes augmentent tous les ans. Toutefois, un ralentissement de cette évolution peut être observé ces dernières années.

Une question d'externalités

Avec la diffusion et l'utilisation accrues des véhicules à moteur en Suisse, la question des externalités est également devenue plus virulente. En économie, on parle d'externalités lorsque certains effets d'une activité ne sont pas compensés; dans le cas d'externalités négatives, cela signifie que les coûts sont répercutés sur des tiers. Divers externalités négatives se produisent dans le domaine de la mobilité.

D'une part, les autres usagers de la route sont affectés par des externalités, telles que les accidents ou les embouteillages. Par exemple, les durées des embouteillage sur les routes nationales ont doublé en quinze ans pour atteindre plus de 25 000 heures, tandis que le nombre d'accidents ayant causé des dommages corporels dans la circulation routière a diminué de 24% au cours de la même période^{17/18}.

D'autre part, les non-usagers de la route sont également concernés. En Suisse, le trafic est la principale cause de pollution sonore¹⁶. En outre, certaines émissions des véhicules à moteur ont un impact sur les maladies respiratoires. Il y a cinq ans, les économistes ont estimé le coût du transport motorisé en Suisse sur les deux facteurs «air sain» et «bruit» à environ 4,8 milliards de francs. Les externalités sur le climat, en revanche, sont calculées à un peu moins de 1,5 milliard de francs suisses¹⁹.

Les externalités négatives sont une forme de défaillance du marché. Comme les usagers des transports ne doivent pas supporter tous les coûts de leur activité, ils consomment trop de mobilité. Cela conduit à une mauvaise allocation et à une utilisation excessive de ressources rares ainsi qu'à une perte de prospérité économique.

Ce n'est qu'en établissant une correspondance entre les coûts privés et macroéconomiques que l'on peut obtenir un meilleur résultat. Sur le plan économique, on parle d'une internalisation des externalités négatives. En fonction des externalités, cet objectif peut être atteint grâce à diverses mesures. Certaines d'entre elles ont également un effet simultané sur différentes externalités – avec parfois même des effets opposés. Enfin, le progrès technologique joue un rôle important dans la réduction des externalités. Les véhicules les plus récents, par exemple, sont plus silencieux, plus efficaces et plus propres, c'est-à-dire qu'ils consomment moins de carburant et émettent moins de gaz d'échappement.

Réalisation optimale des objectifs climatiques

Dans le débat politique actuel, l'internalisation de l'impact climatique des transports est au premier plan. Les autorités de ré-

gulation exigent de toute urgence une réduction des émissions de gaz à effet de serre, en fixant un objectif de 95 grammes de CO₂ par kilomètre²⁰ pour les nouvelles voitures de tourisme en Suisse depuis 2020. Mais ce qui est plus décisif pour l'environnement, c'est la quantité de CO₂ émise par un véhicule sur toute sa durée de vie. Par exemple, un véhicule à fortes émissions de CO₂, peu conduit, peut avoir une meilleure performance environnementale qu'une petite voiture économe en énergie qui parcourt des dizaines de milliers de kilomètres par an.

Une taxe sur les carburants fossiles – basée sur leur empreinte carbone – serait par conséquent plus efficace pour atteindre les objectifs de la politique climatique. La Suisse applique déjà une taxe sur les combustibles (principalement pour le chauffage), qui a été progressivement augmentée depuis 2008 et qui s'élève actuellement à 96 francs par tonne. La particularité de ce programme est qu'environ deux tiers des fonds collectés de cette manière – environ 1,2 milliard de francs – sont redistribués, tandis qu'un tiers est actuellement consacré au programme Bâtiments. Cela permet de soutenir les rénovations énergétiques²¹. Les options suivantes sont disponibles pour une taxe sur le CO₂ des carburants :

- 01_ Tout d'abord, par analogie avec les combustibles, la redistribution de la taxe sur le CO₂ des carburants à la population. Toutefois, pour avoir un effet incitatif, c'est-à-dire pour réduire sensiblement la consommation, la taxe devrait probablement être fixée à un niveau relativement élevé.
- 02_ Deuxièmement, l'achat de certificats (nationaux) afin d'être autorisé à émettre du dioxyde de carbone, par exemple en devant obtenir les certificats lors de l'importation de la source d'énergie. La quantité de CO₂ émise pourrait donc être plafonnée assez facilement en ne mettant pas en circulation plus de certificats que ne le prévoit le processus de réduction. Un problème fondamental se pose ici, celui de la «grandfathering».

12 Strasse Schweiz (2020) : Vademecum 2020.

13 Schulze, Anja; Windisch, Georg; Haab, Mirjam; Niederberger, Sebastian; Tikhonenko, Svetlana und Wyder, Tobias (2019): Automobilindustrie Schweiz. Branchenanalyse 2018/19. Aktuelle Bestandsaufnahme von Struktur, Trends, Herausforderungen und Chancen.

14 OFS, Office fédéral de la statistique (2019) : Statistique structurelle des entreprises STATENT : produit intérieur brut.

15 OFS, Office fédéral de la statistique (2019) : Prestations du transport privé de personnes par route.

16 Ofev, Office fédéral de l'environnement (2018) : Environnement Suisse 2018.

17 OFS, Office fédéral de la statistique (2019) : Embouteillages.

18 OFS, Office fédéral de la statistique (2019) : Accidents des transports - vue d'ensemble de tous les modes de transport.

19 Infras et Ecoplan (2019): Externe Effekte des Verkehrs 2015. Rapport pour l'Office fédéral du développement territorial ARE.

20 Ofen, Office fédéral de l'énergie (2020) : Prescriptions concernant les émissions de CO₂ des voitures de tourisme et de livraison neuves.

21 Ofev, Office fédéral de l'environnement (2020) : Taxe sur le CO₂.

ring», c'est-à-dire l'attribution initiale des certificats, ainsi que la petite taille du marché suisse. Ce dernier point pourrait être résolu par une collaboration étroite de la Suisse avec l'Union européenne.

03_ Une troisième possibilité serait de compenser les émissions de CO₂, c'est-à-dire de financer des projets qui permettent d'économiser à nouveau la même quantité de CO₂ par rapport aux émissions. Actuellement, les importateurs de carburants en Suisse ont une obligation qui permet la compensation d'environ 10% des émissions de CO₂ dues aux transports par des projets nationaux²². Toutefois, étant donné que du point de vue climatique, peu importe l'endroit du monde où le CO₂ est émis ou économisé, les mesures doivent être cofinancées là où les réductions de CO₂ peuvent être réalisées le plus efficacement. Cela peut, mais ne doit pas nécessairement, se faire en Suisse.

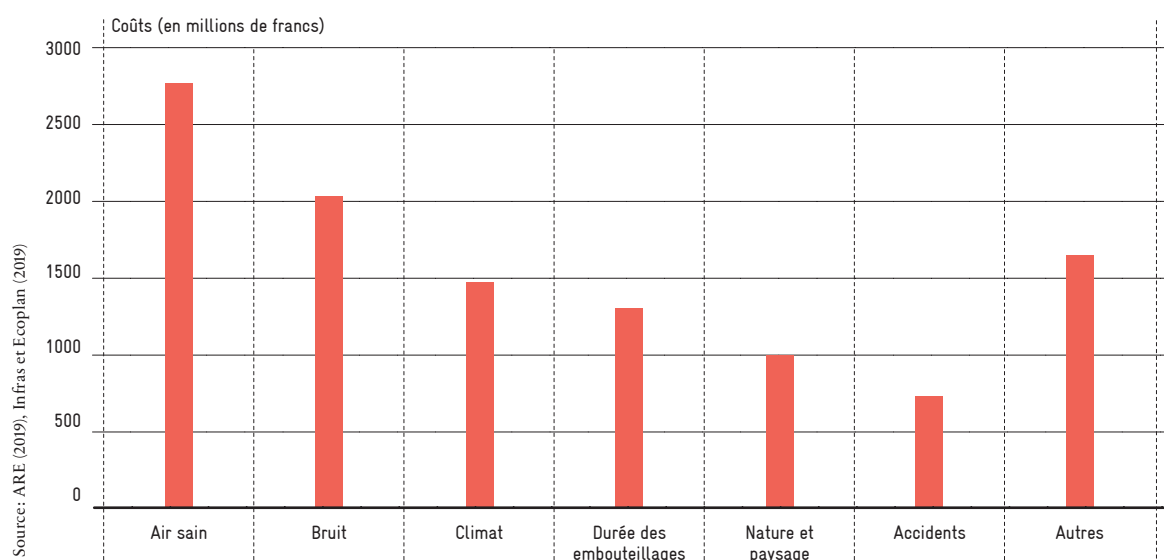
prospérité. Une base importante pour cela est que le législateur ne prescrive ni ne favorise de technologies spécifiques, mais se contente de fixer les objectifs et de définir les conditions-cadre. Si possible, il convient de laisser aux acteurs le soin de décider comment atteindre les objectifs.

Selon une approche politique réaliste, plusieurs mesures continueront à être prises à l'avenir pour réduire les externalités du transport privé motorisé. Cependant, elles ont toutes en commun une tendance à la hausse des coûts de la mobilité. Dans les prochains mois, la Suisse prendra des décisions politiques qui auront un impact décisif sur l'avenir des transports. Le diable se cache dans les détails, mais un principe doit être respecté : les mesures doivent être fondées sur le critère économique d'efficacité, c'est-à-dire que la réduction des externalités doit être effectuée au coût le plus bas possible afin d'éviter les pertes de

22 Ofev (2020b) : Compensation des émissions de CO₂.

Externalités négatives du transport individuel motorisé et du transport de marchandises (2015)

Les gaz d'échappement émis par le trafic entraînent des coûts pour la santé estimés à environ 2,8 milliards de francs suisses. Les coûts les plus élevés ne sont donc pas supportés par ceux qui polluent. Les coûts liés au changement climatique sont estimés à environ la moitié seulement.



Plus de clarté et moins de contradictions

Le financement public nous paralyse dans des tendances dépassées. C'est la conclusion que l'on peut tirer en examinant le développement dynamique des technologies de propulsion. Par conséquent, il ne faut pas prescrire à l'économie les technologies à utiliser pour atteindre l'objectif de réduction du CO₂.

Peter Grünfelder

En 2018, la Suisse a émis 4,33 tonnes de CO₂ par habitant, soit deux fois plus que l'Inde et le quart des émissions des Etats-Unis²³. L'objectif annoncé par le Conseil fédéral est de ramener le bilan de CO₂ à zéro d'ici 2050²⁴.

Le trafic routier est actuellement responsable d'environ 30% des émissions de CO₂ (voir figure p. 12). La forte mobilité de la population, qui est un signe évident du développement dynamique de notre pays, fait que nous, Suisses, produisons environ une tonne de dioxyde de carbone par habitant et par an sur les routes. La réglementation environnementale actuelle stipule une émission maximale de CO₂ de 95 grammes par véhicule-kilomètre. Une voiture qui satisfait à ces exigences peut parcourir près de 13 000 kilomètres par an, tandis qu'un SUV, qui est la cible des initiatives environnementales, peut parcourir moins de la moitié de cette distance.

Tout dépend du mix énergétique

Une voiture électrique, en revanche, peut parcourir une distance illimitée sans émissions selon les réglementations légales en vigueur aujourd'hui, car ses émissions de CO₂ sont comptabilisées à zéro gramme de CO₂ par kilomètre. Cela illustre toute la contradiction de la politique des transports, qui repose sur la primauté de l'environnement: les voitures électriques sont loin d'être neutres en termes de CO₂, même si le mix électrique en Suisse est respectueux du climat selon les normes internationales. Calculé sur un kilométrage de 200 000 km, un véhicule électrique ne rejette qu'environ un quart de CO₂ de moins qu'un moteur à combustion. Ce n'est pas mal – mais ce n'est pas rien.

Il y a environ un milliard de véhicules à combustion sur les routes du monde entier. Actuellement, la proportion de voitures électriques et hybrides vendues en Suisse est d'un peu moins de 10%. Si l'ensemble du parc automobile devait être remplacé par des véhicules électriques d'ici 2050, une voiture nouvellement immatriculée sur deux devrait être alimentée en

électricité à partir de maintenant, et à partir de 2040, chacune d'entre elles. Et même dans ce cas hypothétique, l'empreinte CO₂ des transports serait encore loin d'être nulle.

La recharge des véhicules électriques ne semble pas encore avoir été pensée jusqu'au bout. L'exemple de l'Allemagne montre que les coûts sont relativement élevés même avec des prix de l'électricité artificiellement bas. A cela s'ajoute le besoin élevé d'investissements pour fournir une capacité électrique suffisante dans le cas d'un réseau national de stations de charge. Un passage total des transports privés aux véhicules électriques nécessiterait une augmentation de la consommation d'électricité allant jusqu'à un quart de la consommation actuelle.

Fixer des objectifs réalistes

C'est évident : si le monde politique se cantonne à une technologie unique et impose une interdiction des technologies de propulsion (fossiles) des véhicules individuels, la Suisse n'atteindra pas l'objectif du Conseil fédéral de neutralité climatique dans les transports.

Néanmoins, il est possible de s'en rapprocher d'ici à 2050, comme le calculent les chercheurs de l'Empa dans cette publication. Une condition préalable à cela est l'«électrification» de toutes les énergies de propulsion, combinée à divers types de véhicules: l'essence et le diesel fossiles seront remplacés par des carburants synthétiques produits de manière durable. Pour certaines applications, les technologies à hydrogène s'imposeront comme une évidence, tandis que pour d'autres, la propulsion électrique deviendra la norme. L'hydrogène, en particulier, peut être utilisé de différentes manières, par exemple pour alimenter des camions ou comme moyen de stockage : le surplus d'énergie solaire en été permet de décomposer l'eau en ses éléments et donc de stocker l'énergie.

23 Emission data: Global Carbon Project: <https://www.icos-cp.eu/GCP/201>. Consulté le 1.7.2020.
Population data: World Bank: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>. Consulté le 1.7.2020.
24 <https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiqués/msg-id-76206.html>. Consulté le 1.7.2020.

Pour que l'industrie puisse proposer ces carburants et technologies de propulsion, il faut une réglementation appropriée et ouverte aux nouvelles technologies plutôt que des bouquets de nouvelles réglementations et subventions politiquement motivées. Etablir de nouvelles subventions créera des dépendances. Les effets d'accoutumance conduisent à la revendication d'un droit permanent à la distribution de fonds publics. Cette seule raison suffit à montrer qu'il faut éviter de subventionner des technologies spécifiques.

Rejet des interdictions technologiques

Une réglementation ouverte à la technologie signifie également rejeter l'interdiction de technologies spécifiques. Même d'émis-
sions experts en mobilité, étroitement liés à des organisations
environnementales, estiment qu'il est erroné de se
concentrer exclusivement sur la mobi-
lité électrique²⁵. Revendiquer indif-
féremment «zéro essence, zéro diesel»
est absurde.

Cela est désormais également évi-
dent en Chine, le plus grand mar-
ché automobile du monde, où la mobilité
électrique, qui était jusqu'à récemment sub-
ventionnée, est à nouveau en fort déclin. Le
gouvernement parle soudain de véhicules au
méthanol et à l'hydrogène²⁶.

La conclusion est que même avec une expan-
sion maximale (et des subventions coûteuses)
des capacités locales en hydroénergie, en éner-
gie éolienne et en énergie solaire, la Suisse res-
tera encore longtemps dépendante des combus-
tibles fossiles tels que le charbon, le

gaz et le pétrole en raison de son renoncement à l'énergie nu-
cléaire. La flexibilité en matière de technologie contribue donc
davantage à l'amélioration du bilan écologique.

Il faut une vision globale – et c'est précisément ce qui rend la
question si compliquée. Les solutions soi-disant simples, telles
qu'exigées par le mouvement écologique, ne permette pas d'at-
teindre l'objectif ou aggravent même le problème. Ajoutez à
cela le fait que la réduction des émissions de CO₂ ne peut se
limiter à la seule mobilité – l'industrie de la construction ou
l'agriculture sont également concernées. Mais là aussi, la neu-
tralité technologique doit primer sur les nouvelles interdictions
et sur les taxes coûteuses.

25 <https://www.tagesanzeiger.ch/wirtschaft/standardtesla-ist-die-duemmste-variant-e-der-elektromobilitaet/story/10336355>
Consulté le 1.7.2020.

26 <https://www.tagesanzeiger.ch/wirtschaft/standardchina-wendet-sich-von-der-emobilitaet-ab/story/28964166>
Consulté le 1.7.2020.



IMPRESSUM

EDITEUR Avenir Suisse CONTRIBUTIONS Christian Bach (Empa), Patrick Dümmler (Senior Fellow), Peter Grünenfelder (Directeur), Jürg Müller (Senior Fellow), Peter Richner (Empa), Urs Steiner (Communication), Marc Tribelhorn (NZZ), REDACTION Urs Steiner REDACTION VUE D'ENSEMBLE Basil Ammann (Researcher) CORRECTION Darius Farman, Claire Nobs TRADUCTION EN FRANÇAIS Claire Nobs, Chloé Pang CONCEPTION ET GRAPHIQUES Carmen Sopi PHOTOS Cover (Empa), Interview Morten Hannesbo (© Amag), Page 19 (© unsplash, Theodor Vasile) IMPRESSION Staffel Medien AG, www.staffelmedien.ch TELECHARGEMENT ET ABONNEMENT www.avenir-suisse.ch/avenir-special/ (La reproduction, même partielle, est autorisée avec mention de la source «Avenir Suisse») COMMANDE suisseromande@avenir-suisse.ch