

# VERS UNE FLOTTE DE VOITURES ÉLECTRIQUES

L'expérience montre que la consommation de carburant des voitures de tourisme (VT) est nettement supérieure aux spécifications du constructeur. Cet écart entre «étiquette» et «route» s'appliquent aux systèmes de propulsion fossiles à essence et Diesel mais, dans la même mesure, également aux nouveaux systèmes de propulsion électriques et autres systèmes alternatifs, comme le montre une étude de l'ETH de Zurich et de l'Empa. Les résultats aident à élaborer des scénarios de consommation et d'émissions réalistes de la flotte suisse de voitures de tourisme.



Un des cinq types de véhicules dont l'équipe de chercheurs de l'ETH Zurich et de l'Empa a examiné la consommation réelle: le Hyundai ix35 Fuel Cell est équipé d'une pile à combustible qui convertit l'hydrogène en électricité sans combustion pour alimenter le moteur électrique. Photo: Empa

Quiconque se déplace en voiture peut, la plupart du temps, consulter la quantité de carburant consommé sur le tableau de bord. Et quiconque ne prête pas attention à l'écran sera avisé de sa consommation à la prochaine station-service. Lors de l'achat d'une nouvelle voiture, on s'aperçoit souvent que la consommation de carburant effective est nettement plus élevée que les prescriptions du fabricant. Cela s'explique par le fait que les fabricants appuient leurs prescriptions sur des valeurs acquises en laboratoire. La consommation y est déterminée à l'aide de bancs d'essai standardisés qui ne reflètent pas suffisamment l'utilisation réelle des véhicules.

Le cycle d'essai NEDC (« New European Driving Cycle »), appliqué dans l'UE et en Suisse au cours des dernières années, a effectivement sous-estimé la consommation réelle de 40% en moyenne. Le cycle d'essai WLTP (« World harmonized Light vehicles Test Cycle »), appliqué depuis 2020, devrait réduire la discrédance mais, comme le montre différentes études, elle s'élève encore à environ 20 à 30 pour cent pour les moteurs à essence et Diesel. Ces écarts sont gênants pour les conductrices et conducteurs mais menacent également de saper les mesures politiques, par exemple en matière de politique climatique. En effet, les limites de consommation se basent

actuellement sur ces valeurs normalisées. Si ces valeurs sont systématiquement trop basses, les prescriptions politiques n'auront pas l'effet escompté.

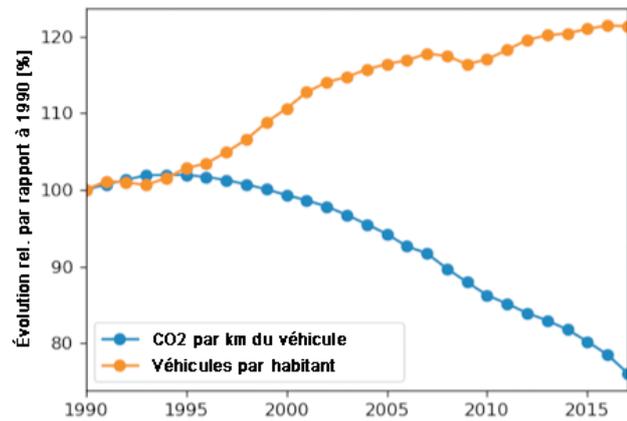
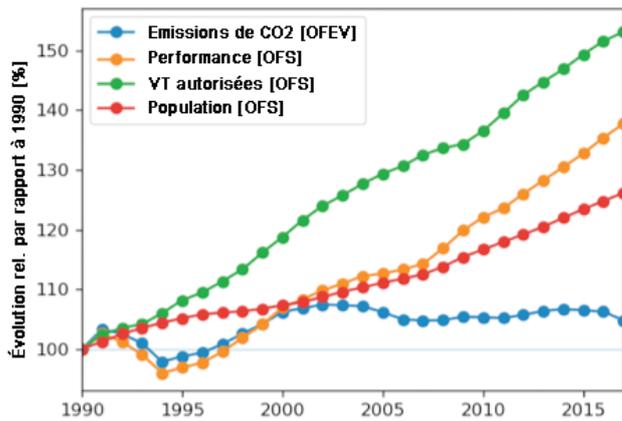
### Cinq systèmes de propulsion étudiés

On sait depuis longtemps que la consommation réelle des moteurs à essence et Diesel est supérieure aux spécifications du constructeur. Ce thème n'est que très peu étudié dans le cadre des voitures électriques et autres systèmes de propulsion basés sur le gaz naturel et l'hydrogène. Une équipe de chercheurs de l'Ecole polytechnique fédérale (ETH) de Zurich et le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa) de Dübendorf ont décidé de combler cette lacune. Les scientifiques ont étudié cinq systèmes de propulsion sur lesquels se base l'espoir d'une circulation plus écologique. L'étude récemment terminée a été soutenue financièrement par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN).

L'un des piliers de l'étude était une flotte d'essai stationnée à l'Empa, composée de cinq véhicules dotés de systèmes de propulsion modernes: un véhicule électrique (e-Golf VW), un hybride rechargeable (Audi A3 e-tron), un véhicule entièrement hybride (VW Jetta), un véhicule à gaz (Audi A3 g-tron)

	Véhicule à gaz (CNG)	Véhicule hybride (HEV) sans possibilité de recharge externe	Hybride rechargeable (PHEV) avec possibilité de recharge externe	Véhicule électrique (BEV)	Véhicule à pile à combustible (FCEV)
					
Marque / Type	Audi A3 Sportback g-tron	Volkswagen Jetta Hybrid	Audi A3 Sportback e-tron	Volkswagen e-Golf	Hyundai ix35 Fuel Cell
Vecteur d'énergie	Gaz naturel-biogaz / essence	Essence	Essence / Electrique	Electrique	Hydrogène (gazeux)
Entraînement	Motor à combustion (81 kW)	Motor à combustion (110 kW) / Moteur électrique (20 kW)	Motor à combustion (110 kW) / Moteur électrique (75 kW)	Moteur électrique (85 kW)	Moteur électrique 85 kW (pile à comb. + bat. haute tension)
Boîte de vitesse	Automatique 7 vitesses TDE	Automatique 7 vitesses TDE	Automatique 6 vitesses TDE	Boîte à 1 vitesse	Boîte à 1 vitesse
Poids à vide / Charge utile	1260 kg / 540 kg	1505 kg / 590 kg	1615 kg / 435 kg	1510 kg / 450 kg	1830 kg / 420 kg
Consommation (norme, selon NCCE)	3.6 l / 100 km	4.1 l / 100 km	Essence 1.7 l / 100 km + Electr. 12.4 kWh / 100 km	12.7 kWh / 100 km	0.95 kg H2 / 100 km
Portée (norme, selon NCCE)	1300 km (gaz : 400 km ; essence : 900 km)	1100 km	940 km (dont 50 km de manière purement électrique)	190 km	594 km
Itinéraire dans l'essai de terrain	38'600 km	39'000 km	26'100 km	10'000 km	33'800 km

Cinq types de véhicules dotés de systèmes d'entraînement innovants ont été au centre du projet de recherche mené par l'ETH Zurich et l'Empa (de gauche à droite): un véhicule à gaz alimenté au gaz naturel comprimé (GNC), un hybride, un hybride rechargeable alimenté à l'essence ou au diesel, un véhicule purement électrique et un véhicule à pile à combustible dont le moteur électrique est alimenté par l'électricité produite à partir d'hydrogène au moyen d'une pile à combustible. Graphique: rapport final ESMOBIL-RED



Au cours des 30 dernières années, les émissions de CO<sub>2</sub> en Suisse ont moins augmenté que la population, les voitures immatriculées et les kilomètres parcourus. Graphique: rapport final ESMOBIL-RED

et un véhicule à pile à combustible (Hyundai ix35 Fuel Cell). La consommation des cinq véhicules a été mesurée sur le banc dynamométrique (un total de 13 cycles de conduite prédéfinis, y compris WLTC) et ont également été envoyés à l'Empa de début 2016 à l'automne 2018 pour l'essai de terrain. Les véhicules ont parcouru un total de 115'000 km en 3000 trajets. Ce faisant, une série de données de consommation a été consignée.

#### Quatre facteurs d'influence

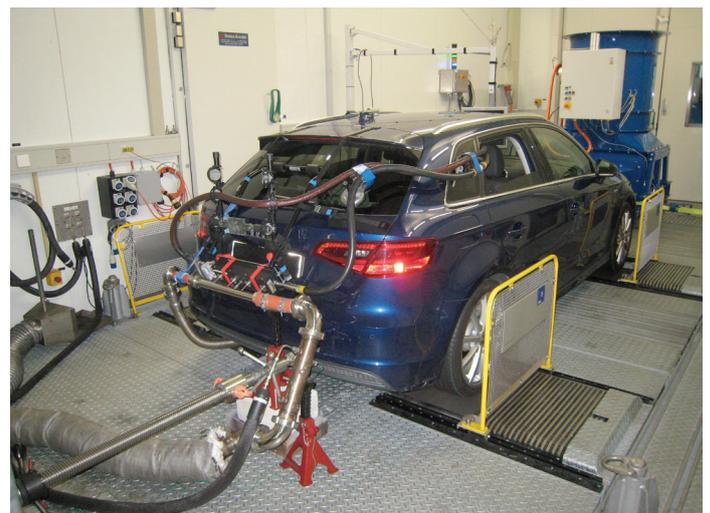
« En évaluant ces données, nous avons pu montrer que la consommation réelle de ces moteurs alternatifs était également de 20 à 30% supérieure aux spécifications du constructeur, c'est-à-dire dans la même mesure que pour les voitures à essence et Diesel », résume le co-auteur, le Dr Lukas Küng, un des principaux résultats de l'étude. L'importance de cet écart dépend de la situation individuelle. Küng et ses collègues chercheurs ont pu démontrer que les écarts entre la consommation réelle et les spécifications du fabricant s'expliquaient essentiellement par quatre facteurs d'influence spécifiques à l'utilisateur.

Le facteur essentiel étant la vitesse moyenne. Une personne qui se déplace essentiellement en ville avec sa voiture a besoin d'une puissance de propulsion moindre qu'une personne qui se déplace quotidiennement à grande vitesse sur l'autoroute. Le deuxième facteur est le comportement d'accélération. La conduite d'un conducteur qui adapte son style au modèle « Eco-drive » est plus économique qu'un conducteur dit « dynamique ». Le troisième facteur est la topographie dans laquelle un conducteur se trouve principalement sur la route: les trajets sur terrains plats sont plus économiques que les trajets vallonnés ou en montagne. Le quatrième facteur d'influence est finalement la température extérieure: en présence

d'une température moyenne, la consommation des agrégats secondaires (chauffage, climatiseur) est plus faible qu'en cas de grande chaleur ou de grand froid.

#### Le modèle de la flotte de véhicules suisse

L'étude des chercheurs de l'ETH et de l'Empa ne consiste pas à déterminer de manière aussi précise que possible la consommation d'un conducteur individuel. Son objectif est plutôt de développer un modèle qui permettrait une estimation fiable de la consommation d'énergie de la flotte nationale de voitures de tourisme sur la base des résultats. Ils y sont parvenus en recourant à certaines données de base des véhicules utilisés (telles que le poids, la taille et les pneumatiques) et en le combinant aux informations relatives à l'utilisation



L'Audi A3 Sportback g-tron au gaz naturel sur le banc dynamométrique de l'Empa à Dübendorf. C'est ici qu'a lieu l'étalonnage pour une mesure des gaz d'échappement dans le cadre de la circulation routière réelle. Un système portable de mesure des émissions (PEMS - Portable Emission Measurement System) est monté à l'arrière du véhicule. Photo: Empa

## PLUS LE COURANT EST «PROPRE»...

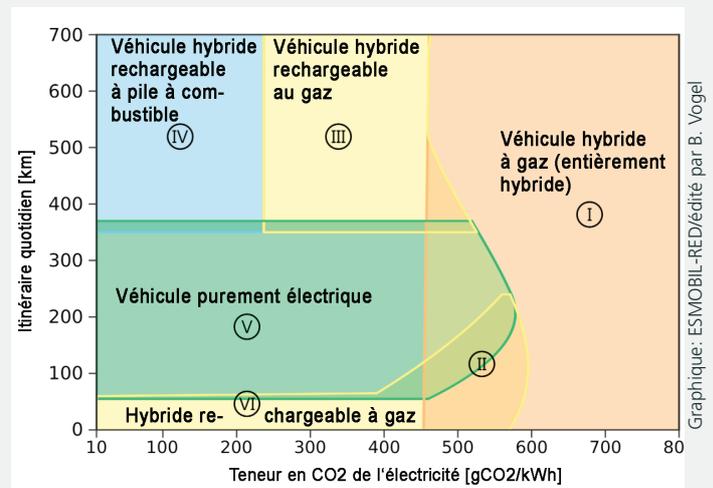
L'électrification de la flotte de voitures de tourisme réduit les émissions de CO<sub>2</sub> lorsque les véhicules sont rechargés avec du courant « propre ». Les scientifiques ESMOBIL-RED ont calculé quels sont les véhicules qui émettent le moins de CO<sub>2</sub> pour une certaine « teneur en CO<sub>2</sub> » de l'électricité. L'électricité qui provient aujourd'hui des prises de courant suisses est relativement pauvre en CO<sub>2</sub> (environ 150 g CO<sub>2</sub>/kWh). Dans ce cas, les véhicules purement électriques pour les distances quotidiennes moyennes (50 à 350 km) sont le type de véhicule avec les plus faibles émissions de CO<sub>2</sub>. Pour les plus grandes distances quotidiennes, il faut recourir aux hybrides rechargeables qui transforment l'hydrogène en électricité par le biais des piles combustibles dans la mesure où les voitures

purement électriques n'ont pas encore l'autonomie nécessaire. Toute personne parcourant moins de 50 km par jour conduira une hybride rechargeable à gaz laquelle émet de le moins de CO<sub>2</sub>. A ce sujet, Lukas Küng s'exprime en ces termes: « Pour les courtes distances d'environ 50 km/jour, les voitures électriques avec des batteries compactes et légères ou les hybrides rechargeables (également avec une batterie légère), lesquelles peuvent parcourir des distances inférieures à 50 km de manière purement électrique, sont les véhicules qui émettent le moins de CO<sub>2</sub>. Notre calcul n'est pas un plaidoyer pour l'utilisation de véhicules à gaz sur les courtes distances; notre objectif est plus d'attirer l'attention sur le fait que les lourdes voitures électriques dotées de grosses batteries pour des distances quotidiennes de moins de 50 km, qui représentent 80% de trajets quotidiens en Suisse, sont suboptimales en termes d'émissions de CO<sub>2</sub>. »

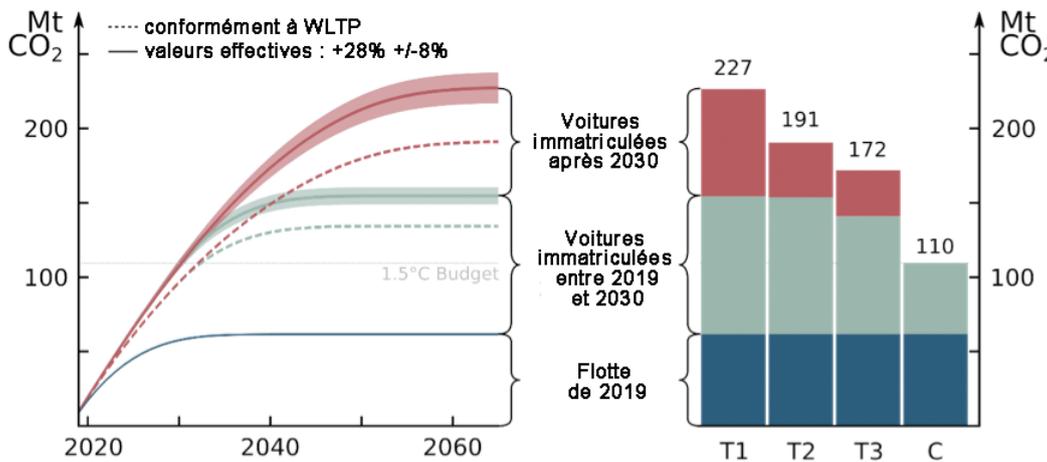
La situation de l'Allemagne, qui produit une partie de son électricité à partir de centrales au charbon et au gaz, est différente de celle de la Suisse. La « teneur en CO<sub>2</sub> » de l'électricité y était encore de 760 g de CO<sub>2</sub>/kWh au début des années 1990. A l'époque il était plus judicieux du point de vue de la politique climatique, de rouler avec une voiture hybride à gaz qu'avec une voiture essence ou Diesel conventionnelle; le véhicule hybride à gaz était également plus écologique qu'une voiture hybride rechargeable ou qu'une voiture purement électrique car le courant était encore très « chargé en CO<sub>2</sub> ». Dans la situation actuelle (tout juste 500 g de CO<sub>2</sub>/kWh), le passage à la voiture électrique est judicieux du point de vue écologique en Allemagne, au moins pour les distances moyennes parcourues au quotidien. Si la « teneur en CO<sub>2</sub> » tombe en dessous de 450 g de CO<sub>2</sub>/kWh grâce à la consolidation des énergies renouvelables, les voitures électriques ou hybrides rechargeables seront les types de véhicules les plus pauvres en CO<sub>2</sub>.

Il est important de noter que les réflexions susmentionnées sont essentiellement théoriques dans la mesure où aucun hybride alimenté au gaz ou par pile à combustible n'est actuellement produit. A ce sujet, Lukas Küng ajoute: « Nous présentons un optimum hypothétique. Les hybrides rechargeables commercialisés sont équipés de moteur conventionnels à essence ou Diesel. Cela n'influence toutefois que les longues distances de plus de 350 km, lesquelles ne sont pas très fréquentes. » BV

du véhicule. Il n'est guère possible de déterminer comment chaque individu utilise sa voiture, mais les résultats d'une enquête menée auprès de la population suisse sur son comportement en matière de mobilité sont disponibles, notamment dans le « Microrecensement mobilité et transports » de l'Of-



lice fédéral de la statistique. Les chercheurs ont recouru à des données de 2015 qui leur ont permis de concevoir un modèle pertinent. Celui-ci montre comment la consommation et les émissions de CO<sub>2</sub> de la flotte de véhicules suisse changent en fonction du système de propulsion utilisé.



A gauche : émissions de CO<sub>2</sub> directes cumulées de la flotte de voiture de tourisme dans le scénario de référence T1. La ligne en pointillé suppose une consommation standard, la ligne pleine suppose une consommation réelle, et la zone colorée montre la variance de la consommation réelle. A droite : émissions totales jusqu'en 2065 dans les quatre scénarios. Les couleurs montrent les émissions de CO<sub>2</sub> de la flotte partielle des véhicules immatriculés avant 2019 (bleu), entre 2019 et 2030 (gris) et après 2030 (rouge). Seul le scénario C est compatible avec l'objectif de limiter le réchauffement climatique à + 1,5 °C. Graphique: Rapport final ESMOBIL-RED/B. Vogel

Avec ce modèle, les chercheurs fournissent un outil permettant de calculer la consommation d'énergie ou les émissions de CO<sub>2</sub> des transports privés motorisés en Suisse pour différents scénarios futurs, notamment en fonction du type et du nombre de systèmes de propulsion en circulation sur les routes suisses. Une conclusion importante: « En Suisse, une flotte entièrement électrifiée s'est avérée être une stratégie de décarbonisation efficace et robuste », écrivent les scientifiques dans le rapport final.

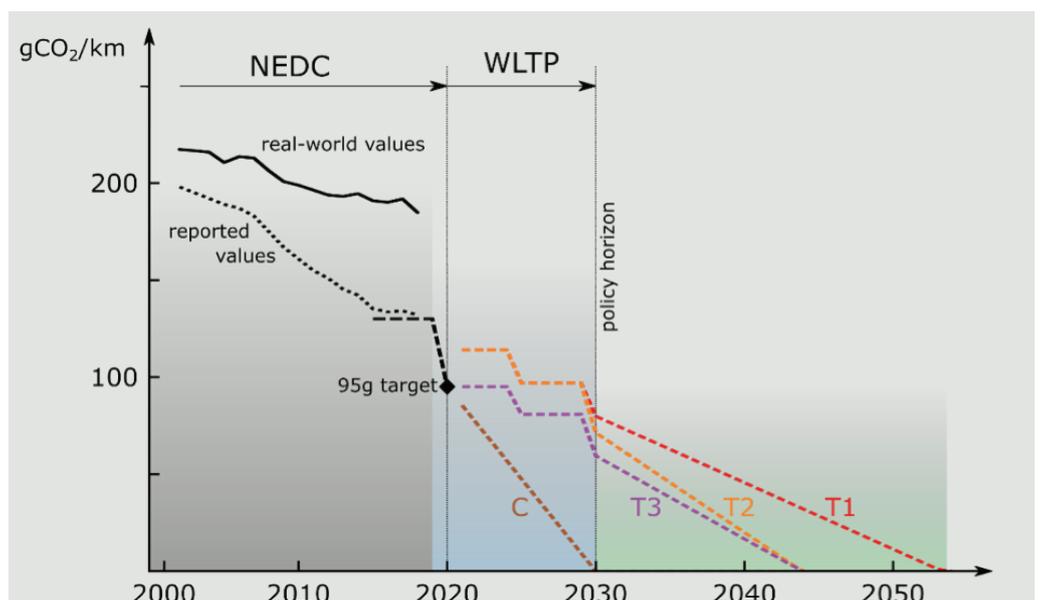
### Accélérer le remplacement des systèmes de propulsion fossiles

Mais n'est pas un truisme qu'il faille miser sur les voitures électriques si l'on veut réduire les émissions de CO<sub>2</sub>? Non, car

cette stratégie n'a de sens que si l'électricité nécessaire pour alimenter les véhicules électriques peut être produite avec de faibles émissions de CO<sub>2</sub>. Cette condition serait remplie pour la Suisse, selon les calculs des scientifiques, lesquels tiennent compte de la « teneur en CO<sub>2</sub> » de l'électricité produite ou importée en Suisse. « L'électrification est la voie que nous devons emprunter », affirme Lukas Küng pour résumer brièvement ce résultat.

Il y a environ 4,5 millions de voitures de tourisme en Suisse et chaque année, 300'000 anciennes voitures sont remplacées par des nouvelles. Le renouvellement complet d'une flotte dure ainsi 15 ans. Utiliser plus de voitures électriques ne suffira pas à rendre la flotte de véhicules plus « propre ».

Avec le cycle d'essai du NEDC utilisé précédemment dans l'UE et en Suisse, les émissions de CO<sub>2</sub> de la flotte de voitures neuves ont été nettement sous-estimées. Le graphique montre une estimation des futures émissions de CO<sub>2</sub> dans le cadre de quatre scénarios différents basés sur le nouveau cycle d'essai WLTP. Les scénarios T1, T2, T3 et C diffèrent par la valeur de référence des émissions de CO<sub>2</sub> en 2020 et par la vitesse requise en termes de réduction du CO<sub>2</sub>. Le scénario T1 présente la réduction du CO<sub>2</sub> est la plus lente et le scénario C la plus rapide. Graphique: rapport final ESMOBIL-RED



Il serait préférable que les politiciens travaillent en parallèle à une substitution plus rapide des voitures à carburant fossile, par exemple avec des « primes à la casse » (en sachant que la proposition des scientifiques ne tient pas compte de l'énergie grise). Dans le même temps, la diffusion des carburants à faible teneur en CO<sub>2</sub> (e-fuels, biocarburants) devrait être encouragée plus fortement.

- Le **rapport final** du projet de recherche « Modèle de système énergétique du secteur suisse de la mobilité pour l'évaluation des mesures de durabilité, représentant la consommation réelle des véhicules à propulsion conventionnelle et électrique » (ESMOBIL-RED) est disponible sur:  
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=37078>
- Dr Luca Castiglioni (luca.castiglioni[at]bfe.admin.ch), responsable du projet de l'OFEN « Mobilité », communique des **informations** concernant le projet.
- Vous trouverez d'autres **articles spécialisés** concernant les projets phares et de recherche, les projets pilotes et de démonstration dans le domaine de la mobilité sur [www.bfe.admin.ch/ec-mobilite](http://www.bfe.admin.ch/ec-mobilite).