

# INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES DES VOITURES DE TOURISME – AUJOURD'HUI ET DEMAIN

La présente fiche d'information et le rapport de fond correspondant donnent une vue d'ensemble des atteintes à l'environnement dues aux voitures de tourisme actuelles et futures, et plus précisément sur la base d'écobilans. Cela signifie que le cycle de vie des voitures est considéré dans son ensemble: leur production, exploitation et élimination, y compris la production de carburant – essence, diesel, gaz, électricité et hydrogène (H<sub>2</sub>) –, ainsi que toute l'infrastructure. Cette perspective d'écobilan est importante, car si les voitures à batterie ou à pile à combustible ne rejettent aucun polluant, les incidences environnementales peuvent être considérables lors de la fabrication des véhicules et de la production d'électricité ou d'hydrogène.

## Technologies automobiles et carburants

Les voitures traditionnelles à moteur à combustion (ICEV) fonctionnent aujourd'hui à l'essence, au diesel ou au gaz. Les voitures à batterie ou à pile à combustible (BEV ou FCEV) sont des alternatives où un moteur électrique entraîne les roues. Le courant stocké dans une batterie sert de «carburant» pour ces véhicules, ou l'hydrogène transformé en électricité par une pile à combustible. Les voitures hybrides «plug-in» sont à la fois dotées d'une batterie, qui peut être chargée à partir du réseau électrique, et d'un moteur à combustion. Elles peuvent ainsi fonctionner à l'électricité et à l'essence. À l'avenir, le courant pourrait aussi être utilisé indirectement si l'électrolyse permet de produire de l'hydrogène, transformé à son tour en «gaz naturel synthétique» (GNS) par le CO<sub>2</sub>.

Le contenu de cette fiche d'information s'appuie sur la thèse de Brian Cox et les mesures d'Institut Paul Scherrer (<https://www.psi.ch/ta/>) dans le cadre de SCCER Mobility (<http://www.sccer-mobility.ch/>). Personne de contact direct: Christian Bauer ([christian.bauer@psi.ch](mailto:christian.bauer@psi.ch)).

## L'ESSENTIEL EN BREF:

- Lorsque les voitures à batterie et à pile à combustible fonctionnent à l'électricité et à l'hydrogène de sources pauvres en CO<sub>2</sub>, elles génèrent beaucoup moins d'émissions de gaz à effet de serre que les véhicules à essence, à diesel et à gaz (figure 1, Émissions de gaz à effet de serre, figure 4).
- L'introduction de l'électromobilité devrait donc aller de pair avec un développement de la production d'électricité renouvelable. En même temps, l'électricité devrait être utilisée plus efficacement dans d'autres secteurs.
- Les véhicules électriques ne génèrent pas d'émissions directes de polluants et contribuent ainsi à l'amélioration de la qualité de l'air dans les agglomérations fortement exposées au trafic routier.
- La production des véhicules à batterie et à pile à combustible demande davantage d'énergie que celle des voitures à moteur à combustion et implique de plus grandes charges environnementales. Les émissions de gaz à effet de serre, plus importantes lors de la production, peuvent être compensées – pour autant que l'électricité et l'hydrogène utilisés soient propres – après 50'000 kilomètres environ grâce à la réduction des émissions pendant l'utilisation des véhicules (figure 3).
- La teneur en CO<sub>2</sub> de l'électricité est déterminante pour le bilan de CO<sub>2</sub> des véhicules à batterie (figure 4). C'est aussi le cas pour les voitures à pile à combustible et les véhicules à moteur à combustion qui utilisent de l'hydrogène ou du gaz naturel synthétique issu de procédés «power to gas».
- Les véhicules à batterie présentent la plus grande efficacité énergétique. Les véhicules à pile à combustible et à gaz qui fonctionnent au gaz synthétique sont moins efficaces, car il y a nettement plus de pertes énergétiques lors de la fabrication des carburants.
- Par conséquent, les véhicules à batterie sont la meilleure option parmi les véhicules à faibles émissions pour utiliser le plus efficacement possible l'électricité d'origine renouvelable.



**suisse énergie**

Notre engagement : notre futur.

# INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES DES VOITURES DE TOURISME – AUJOURD’HUI ET DEMAIN

Les résultats des écobilans aux figures 1 à 4 représentent des voitures de classe moyenne. Les paramètres de base des véhicules sont résumés dans le tableau 1.

			Durée de vie	Masse du véhicule	Consommation de carburant (conditions de conduite réelles)		Auto-nomie	Rendement «tank-to-wheel»	Norme d'émission pour les polluants
			km	kg	l éq.-essence pour 100 km	pour 100 km	km	%	
2017	ICEV	Essence	180'000	1357	7,6	7,6 litres	524	21	EURO 6
		Diesel		1380	6,9	6,3 litres	656	23	EURO 6
		Gaz		1434	8,5	5,8 kg	512	19	EURO 6
	Véhicule à batterie	1595		2,2	19,5 kWh	173	64		
	Voiture à pile à combustible	1570		4,0	1,1 kg	468	34		
2040	ICEV	Essence	180'000	1319	5,0	5,0 litres	669	27	EURO 6 –50%
		Diesel		1340	4,9	4,5 litres	775	28	EURO 6 –50%
		Gaz		1383	5,4	3,7 kg	641	26	EURO 6 –50%
	Véhicule à batterie	1554		1,9	16,6 kWh	439	78		
	Voiture à pile à combustible	1462		3,1	0,8 kg	601	46		

Tableau 1: Valeurs de base pour les paramètres des véhicules dans l'écobilan.

Les réductions des émissions et de la consommation d'énergie jusqu'en 2040 révélées par les figures 1 à 4 découlent principalement des progrès technologiques des véhicules: le rendement des propulsions augmente, les constructeurs mettent davantage sur les composants légers et les normes d'émission sont renforcées.

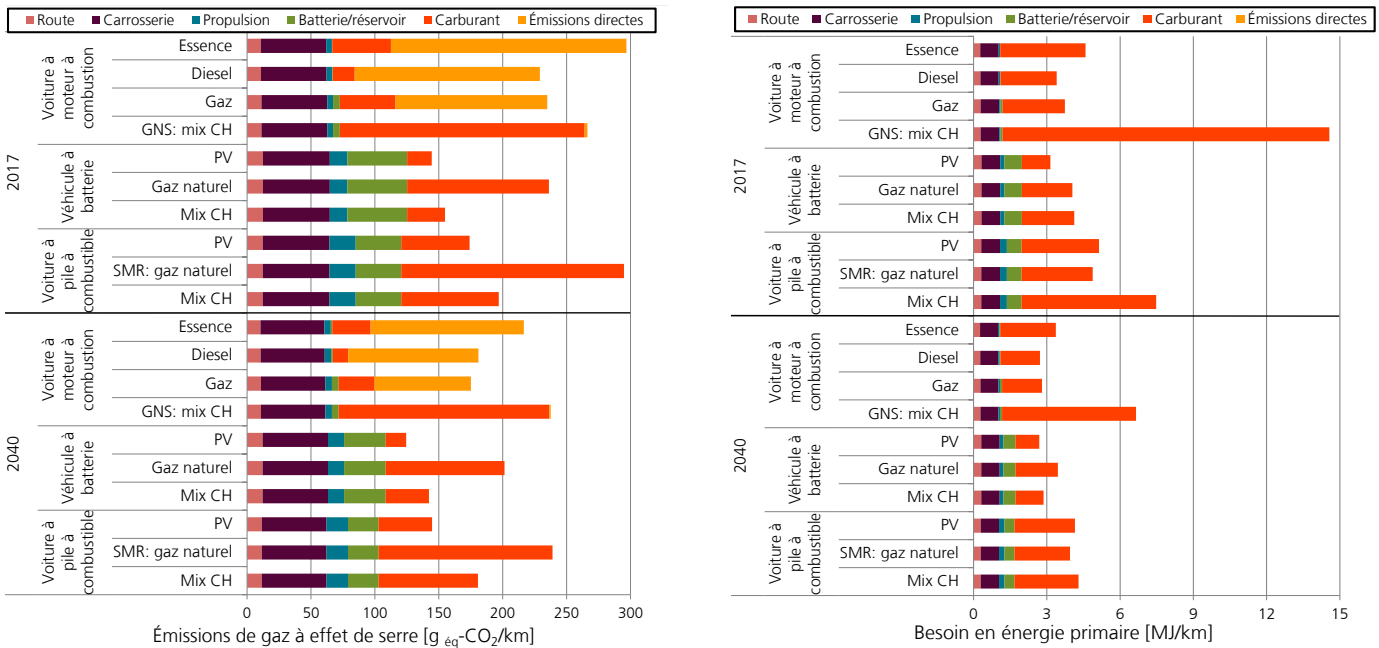


Figure 1: Émissions de gaz à effet de serre (à gauche) et besoin en énergie primaire (à droite) des voitures de tourisme 2017 et en 2040 par véhicule-kilomètre. «PV»: photovoltaïque; «GNS»: gaz naturel synthétique, produit par électrolyse avec le mix électrique suisse et le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère; l'hydrogène pour les voitures à pile à combustible est produit par reformage de gaz naturel («SMR») ou par électrolyse (mix électrique suisse ou courant PV); le «gaz» est un mélange de 90% de gaz naturel et de 10% de biogaz. Les différentes couleurs montrent l'origine des émissions: fabrication, entretien, élimination des composants des véhicules et des routes, production de carburant et émissions directes des voitures.

# INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES DES VOITURES DE TOURISME – AUJOURD’HUI ET DEMAIN

La figure 2 montre qu’une grande partie des émissions de polluants des véhicules électriques résulte de la fabrication des batteries. Une partie des polluants est émise dans des régions à faible densité de population, comme les mines où l’on extrait les métaux. Les atteintes à la santé qui en découlent y sont minimales en comparaison des émissions dans les agglomérations fortement exposées au trafic routier. Une partie des émissions est toutefois délocalisée vers les régions industrielles d’Asie, où les batteries sont produites et où de nombreuses personnes sont affectées.

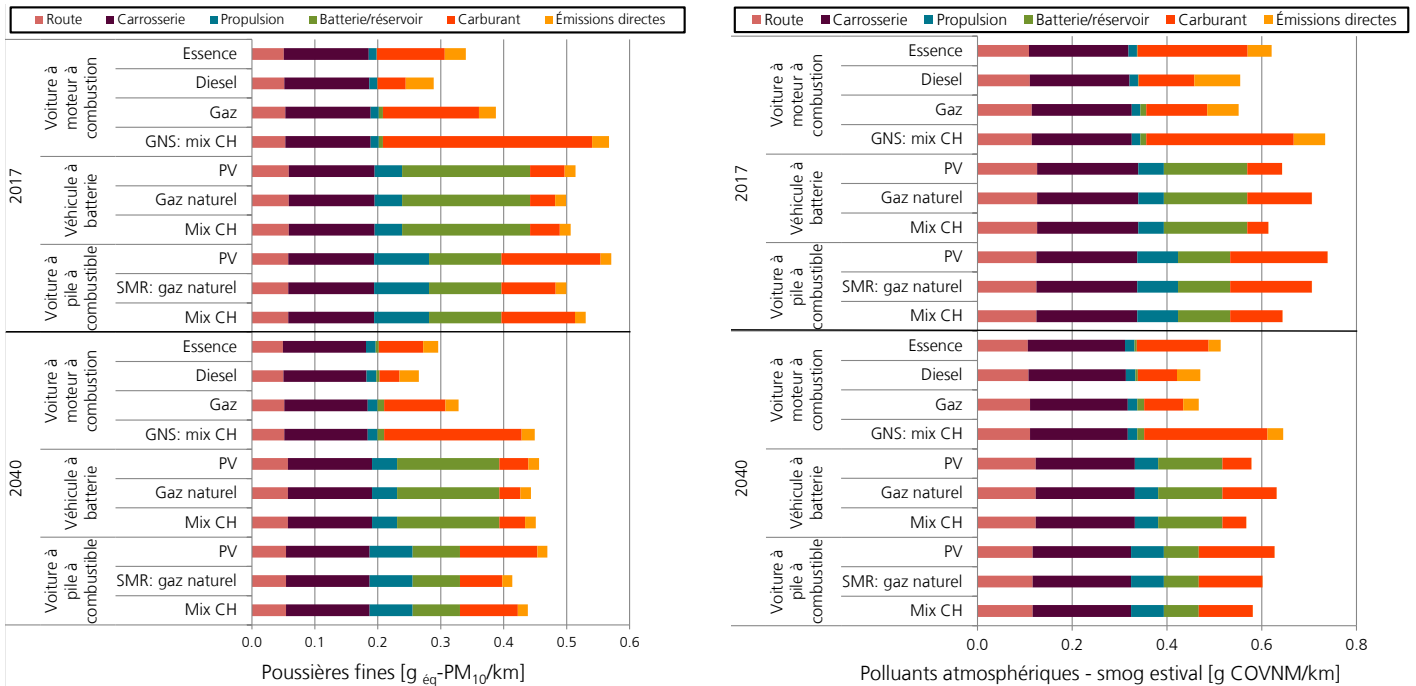


Figure 2: Charge de poussières fines (à gauche) et émissions de polluants atmosphériques engendrant le smog estival (à droite) des voitures de tourisme 2017 et en 2040 par véhicule-kilomètre. «PV»: photovoltaïque; «GNS»: gaz naturel synthétique, produit par électrolyse avec le mix électrique suisse et le CO<sub>2</sub> de l’atmosphère; l’hydrogène pour les voitures à pile à combustible est produit par reformage de gaz naturel («SMR») ou par électrolyse (mix électrique suisse ou courant PV); le «gaz» est un mélange de 90% de gaz naturel et de 10% de biogaz. Les différentes couleurs montrent l’origine des émissions: fabrication, entretien, élimination des composants des véhicules et des routes, production de carburant et émissions directes des voitures.

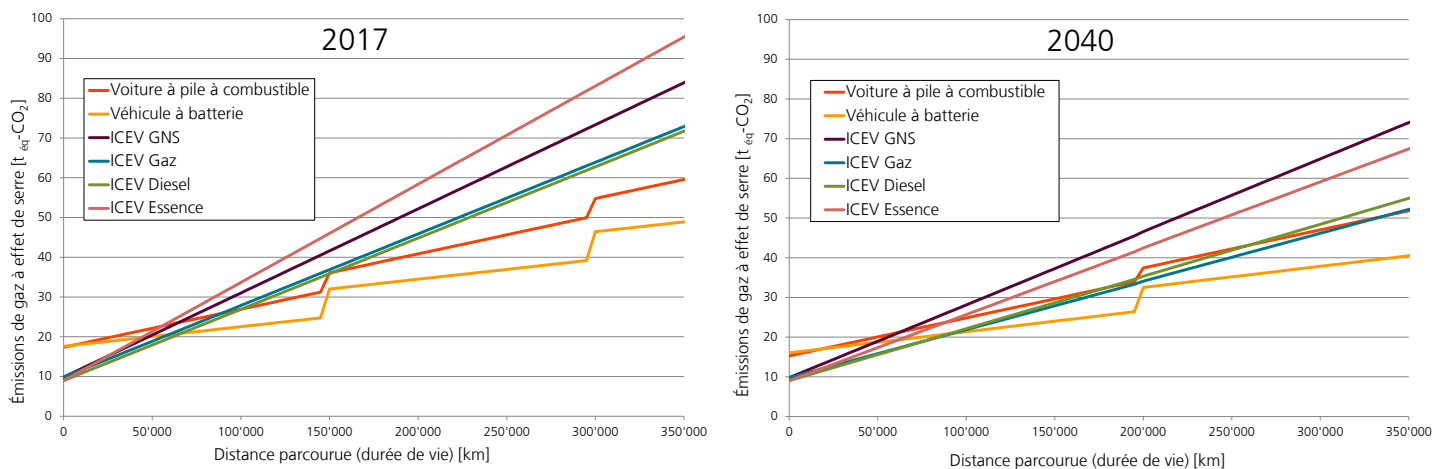


Figure 3: Émissions de gaz à effet de serre pendant toute la durée de vie de différents véhicules, 2017 (à gauche) et en 2040 (à droite). «ICEV»: voiture à moteur à combustion; «GNS»: gaz naturel synthétique, produit par électrolyse avec le mix électrique suisse et le CO<sub>2</sub> de l’atmosphère. Le mix électrique suisse est aussi utilisé pour charger les batteries des véhicules à batterie et pour produire l’hydrogène des voitures à pile à combustible. «Gaz» est un mélange de 90% de gaz naturel et de 10% de biogaz. Les batteries et les piles à combustible sont remplacées après 150’000 km (2017) ou 200’000 km (à l’avenir).

# INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES DES VOITURES DE TOURISME – AUJOURD’HUI ET DEMAIN

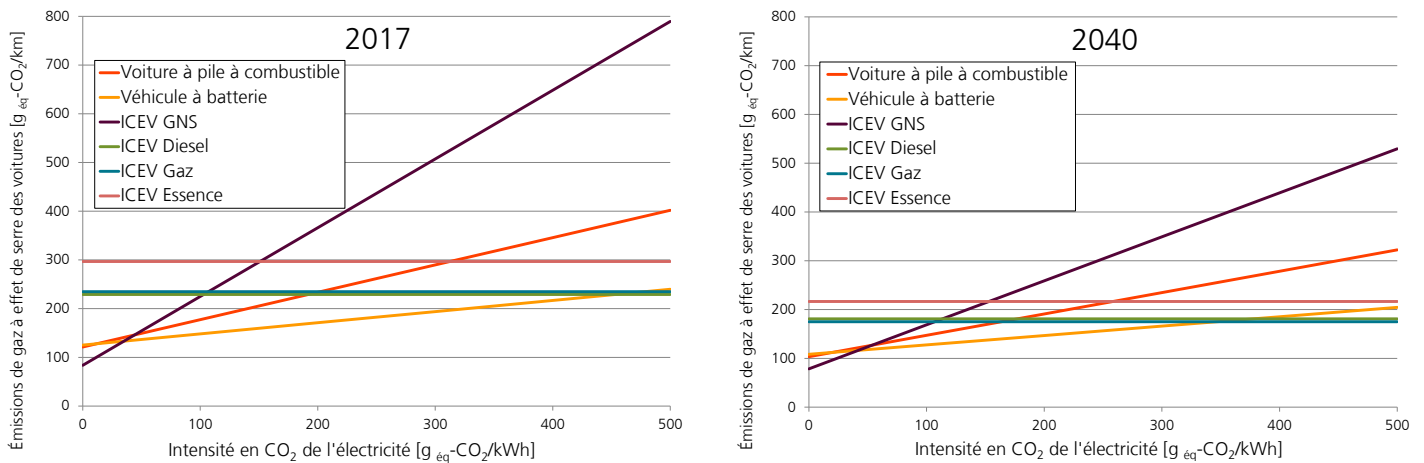


Figure 4: Émissions de gaz à effet de serre des voitures en fonction de la teneur en CO<sub>2</sub> de l'électricité utilisée pour charger les batteries des véhicules à batterie ou produire l'hydrogène des voitures à pile à combustible ou le gaz synthétique. «ICEV»: voiture à moteur à combustion; «GNS»: gaz naturel synthétique produit par électrolyse et le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. «Gaz» est un mélange de 90% de gaz naturel et de 10% de biogaz. Les véhicules à batterie présentent un avantage prépondérant par rapport aux carburants fossiles, car l'électricité y est utilisée le plus efficacement. En cas de faible teneur en CO<sub>2</sub> de l'électricité, les émissions des véhicules GNS sont les plus faibles, car il n'est pas nécessaire de fabriquer des batteries et des piles à combustible. Les lignes pour les BEV, FCEV et ICEV-GNS indiquent des tendances moins marquées en 2040 qu'en 2017, car les véhicules seront plus efficaces et consommeront moins d'électricité par kilomètre. Pour information: en Suisse, les centrales hydrauliques et les éoliennes produisent du courant d'une intensité en CO<sub>2</sub> d'env. 10 à 30 g<sub>eq</sub>-CO<sub>2</sub>/kWh, de 70 à 100 g<sub>eq</sub>-CO<sub>2</sub>/kWh pour les installations photovoltaïques; les centrales à gaz naturel atteindraient des valeurs de 400 à 500 g<sub>eq</sub>-CO<sub>2</sub>/kWh et l'actuel mix électrique suisse est à peine supérieur à 100 g<sub>eq</sub>-CO<sub>2</sub>/kWh.

## LES BATTERIES ET LEUR ÉCOBILAN

Dans les véhicules à batterie, les batteries au lithium-ion sont la norme. Leur fabrication affecte aujourd'hui considérablement l'environnement. Les grandes batteries sont donc un facteur négatif dans l'écobilan des voitures à batterie, tout en offrant une plus grande autonomie. Une batterie d'une masse de 350 kg donne aujourd'hui une teneur en énergie d'env. 40 kWh et, en 2040, de quelque 90 kWh grâce à une augmentation de la densité énergétique. La durée de vie des batteries est estimée aujourd'hui à 150'000 km, à 200'000 km en 2040. La consommation d'énergie lors de la fabrication des éléments de la batterie est le facteur principal des atteintes à l'environnement causées par la production: la quantité d'électricité consommée et son origine sont essentielles. Une production «propre», des procédés de recyclage efficaces ou une «deuxième vie» des batteries, par exemple pour stocker le courant issu des installations photovoltaïques dans les bâtiments, auraient un impact positif sur l'écobilan. Une telle réutilisation n'est pas prise en compte dans le cas présent.

## LES ÉCOBILANS ET LEUR PERTINENCE

Certaines hypothèses et paramètres clés influent de manière déterminante sur les résultats des écobilans des voitures de tourisme, à l'instar de la consommation de carburant, des émissions polluantes des moteurs à combustion, de la durée de vie des véhicules et des composants tels que les batteries. Les résultats de la présente fiche d'information sont valables avec les paramètres du tableau 1. Le rapport de fond donne un aperçu des marges de fluctuation réalistes de ces chiffres et de leur influence sur les résultats: qu'en est-il par exemple si les voitures diesel ne respectent pas les valeurs limites d'émission et émettent nettement plus d'oxydes d'azote? Comment un approvisionnement énergétique uniquement renouvelable de la production des batteries se répercute-t-il sur l'écobilan? Le rapport documente aussi l'ensemble des paramètres et indique les sources de données. Il présente enfin d'autres résultats d'écobilans, par exemple pour les véhicules hybrides «plug-in».