

Les colloques
de l' **URF**

JUILLET 2021

Mobilité routière
bas carbone :
**la question des
motorisations**



URF
UNION ROUTIÈRE DE FRANCE

SOMMAIRE

**Décarbonation des transports et motorisations :
un défi multidimensionnel**

Yves Crozet, Professeur émérite à Sciences-Po Lyon

P.3

Analyse des trajectoires d'émissions passées et prospectives

Aurélien Bigo, Chercheur sur la transition énergétique dans les transports

P.7

**Le cadre réglementaire européen pour les véhicules
industriels**

Denis Caux, Spécialiste réglementation véhicules / Renault Trucks

P.13

Inventaires des émissions du transport routier

Jean-Marc André, Responsable de l'unité Transport & Mobilité / Citepa

P.17

**Les politiques publiques de motorisation des véhicules en
France et à l'étranger**

Bérengère Mesqui, Directrice du département Développement durable et Numérique / France Stratégie

P.21

**Quelles solutions pour décarboner le transport routier de
marchandises**

François Savoye, Directeur Solutions d'électromobilité / Renault Trucks

P.25

**Enjeu CO₂ : combiner des actions techniques
et comportementales**

Rémi Bastien, Vice-Président Prospective automobile / Groupe Renault
Président NextMove

P.29

Vision prospective d'une mobilité décarbonée intelligente

Stéphane Amant, Senior Manager Leader de la pratique Mobilité et responsable qualité / Carbone 4

P.35



Yves
Crozet

Professeur émérite à Sciences-Po Lyon

Décarbonation des transports et motorisations : un défi multidimensionnel

L'*Union européenne et la France se sont fixé des objectifs ambitieux pour respecter leurs engagements climatiques. Or les transports sont en France la principale source des émissions anthropiques de dioxyde de carbone (CO₂) et plus largement de gaz à effet de serre (GES). Alors qu'à l'échelle de l'Union européenne les transports représentent moins de 15% des émissions de GES, nous sommes à 30% en France. Ce résultat s'explique par le rôle historique du nucléaire dans la production d'électricité qui a accru le poids relatif des autres émetteurs de GES. En outre, les transports sont un des seuls secteurs où les émissions ont augmenté depuis 1990. Des changements drastiques s'imposent, comme indiqué dans la stratégie nationale bas-carbone (SNBC) qui est, dans notre pays, le cadre général des politiques publiques climatiques. Or, en matière de réduction des émissions de CO₂ des transports, la SNBC raisonne du réservoir à la roue. Les autres émissions, du puits au réservoir, sont évaluées par ailleurs. C'est en tenant compte de ce choix que l'URF a demandé à sept experts de nous dire ce que l'on peut attendre de l'évolution des motorisations. A quelles conditions les progrès techniques attendus nous permettront-ils de respecter la feuille de route de la SNBC. Bérengère MESQUI (France stratégie) nous rappelle que pour ce faire, nous devons, d'ici à 2030, réduire les émissions de 28% par rapport à 2015 et près de 100% d'ici à 2050 ?*

Les promesses de l'électrification

Dans sa thèse, dont il a repris ici les principaux résultats, Aurélien BIGO rappelle que les émissions de CO₂ des transports ont progressé de 2,55% par an de 1960 à 2017. L'efficacité énergétique des moteurs a été améliorée, mais ces gains ont été plus qu'absorbés par une hausse constante de la demande. Cette dernière plafonne depuis les années 2000 mais cela ne suffit pas. Jean-Marc ANDRE (CITEPA) rappelle qu'un plafond des émissions de CO₂ a été atteint en 2004. Depuis la baisse est très lente. Pour atteindre en 2030 l'objectif SNBC

rappelé ci-dessus, les émissions par kilomètre devraient baisser de 3,8% par an au lieu de 0,5% observés au cours des dernières années. Cela permettra de réduire également la présence d'autres polluants comme les oxydes d'azote (NOx) ou les particules fines, substances nocives dont la présence est trop importante dans les grandes agglomérations françaises, ce qui vaut à la France un contentieux avec l'UE et l'obligation de payer des amendes pour non-respect de la réglementation.

Pour atteindre ce résultat, et sous la contrainte des nouvelles réglementations européennes que présentent Denis CAUX et François SAVOYE (Renault Trucks) les constructeurs de

poids lourds et d'automobiles se sont engagés à développer de nouvelles motorisations, électriques ou recourant à des carburants liquides ou gazeux renouvelables. Stéphane AMANT (Carbone 4) indique les marges de progression possibles. Elles sont décisives puisque les émissions du réservoir à la roue deviennent nulles avec l'électrification. Même en raisonnant en termes d'analyse de cycle de vie, les émissions totales d'un véhicule pendant toute sa vie pourraient ainsi être réduites de 65 à 70%, à la condition que l'électricité utilisée soit d'origine renouvelable ou nucléaire. Pour cette raison l'électrification représente une bonne solution en France, ce n'est pas le cas dans tous les pays.

Malgré leur potentiel, les agro-carburants ne pourront cependant jouer un rôle central. D'abord parce qu'il faudra sans doute les réserver aux avions pour lesquels l'électrification restera marginale. Ensuite parce que leur production entre en conflit avec la production alimentaire et que les autres sources (cellulose) seront également limitées. Comme l'indique Rémi BASTIEN (Renault), c'est donc bien sur l'électrification des véhicules routiers que se fondera la révolution des motorisations. L'hydrogène pourrait aussi jouer un rôle à terme, via le recours à des piles à combustible, mais cela concernera plus les véhicules lourds, les trains, voire à plus long terme les avions, que les automobiles. Il n'est donc pas surprenant que beaucoup de pays annoncent la prochaine interdiction (entre 2030 et 2040) de la vente de voitures à moteur thermique. Les constructeurs automobiles sont désormais tous mobilisés

pour être en mesure d'offrir aux acheteurs des réponses adaptées aux réglementations européennes et aux besoins des utilisateurs. Mais à quel rythme se fera le changement ?

Le progrès technique : une condition nécessaire mais non suffisante

La neutralité carbone doit être atteinte en 2050, mais les émissions de GES doivent diminuer bien avant. Pour cela, il ne suffit pas que les nouveaux véhicules soient électrifiés, il faut savoir à quel rythme ils se substitueront dans le parc aux véhicules thermiques. Ce processus pourrait être lent d'une part à cause d'une méfiance à l'égard des contraintes de l'alimentation électrique (autonomie, bornes de recharge) et d'autre part à cause de l'allongement de la durée de vie des véhicules. Le parc automobile met aujourd'hui près de 20 ans à se renouveler. Le type de véhicule suscite également des interrogations. Si, à l'instar des véhicules thermiques de type SUV, l'électrification des véhicules ne s'accompagne pas d'une réduction de leur poids et de leur puissance, le progrès technique actuellement enregistré sur le rapport puissance/poids des batteries pourrait être annihilé. La question des usages est tout aussi importante. Compte tenu des émissions liées à la fabrication et au recyclage, notamment des batteries, chaque véhicule doit être abondamment utilisé, notamment grâce à une hausse du taux moyen de remplissage, lequel n'a cessé de baisser au cours des dernières décennies.

Pour que l'électrification des véhicules

contribue à réduire significativement les émissions de GES, les usages de la route doivent donc évoluer comme le soulignent la plupart des experts. En reprenant les 5 variables de l'identité de Kaya, à laquelle plusieurs font référence, des transformations sont nécessaires pour chacune d'entre elles : réduction de la demande, report modal vers les transports collectifs et amélioration du taux de remplissage (covoiturage) sont au moins aussi importants que l'amélioration de l'efficacité des moteurs et la réduction de l'intensité en carbone fossile des énergies utilisées.

Le progrès technique est ambivalent. Il est indispensable dans la mesure où il permet de réduire la quantité d'énergie, ou à tout le moins d'énergie fossile, nécessaire pour réaliser

un transport donné. Mais cette hausse des rendements, surtout si elle est accompagnée d'une baisse des coûts relatifs, suscite mécaniquement un effet rebond sous la forme d'une demande accrue ou d'un alourdissement des véhicules. Pour respecter nos engagements climatiques, la mutation des motorisations devra être accompagnée d'une transformation des usages qui nécessitera, de la part des automobilistes et des transporteurs routiers de marchandise, un profond bouleversement des habitudes. Une révolution peut en cacher une autre !



Aurélien Bigo

Chercheur sur la transition énergétique dans
les transports

**Quelle contribution de
l'évolution des motorisations
à la décarbonation des
transports d'ici 2050 ?**

Pour limiter le réchauffement climatique à +2°C, fixé comme un maximum par l'Accord de Paris, la France s'est donnée pour objectif d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. Pour le secteur des transports, il est prévu une décarbonation quasiment complète, alors que le pétrole représente encore plus de 90 % des consommations du secteur. Pour décarboner les transports, la stratégie nationale bas-carbone (SNBC) mise sur 5 leviers : la modération de la demande, le report modal, le remplissage des véhicules, leur efficacité énergétique, ainsi que l'intensité carbone de l'énergie.

A partir de l'analyse de ces 5 leviers par le passé ainsi que leur évolution possible d'ici 2050, l'article questionne la contribution de l'évolution des motorisations pour aligner le secteur des transports sur l'objectif de neutralité carbone.

Schéma 1 : Les cinq leviers de la stratégie nationale bas-carbone (SNBC) pour décarboner les transports

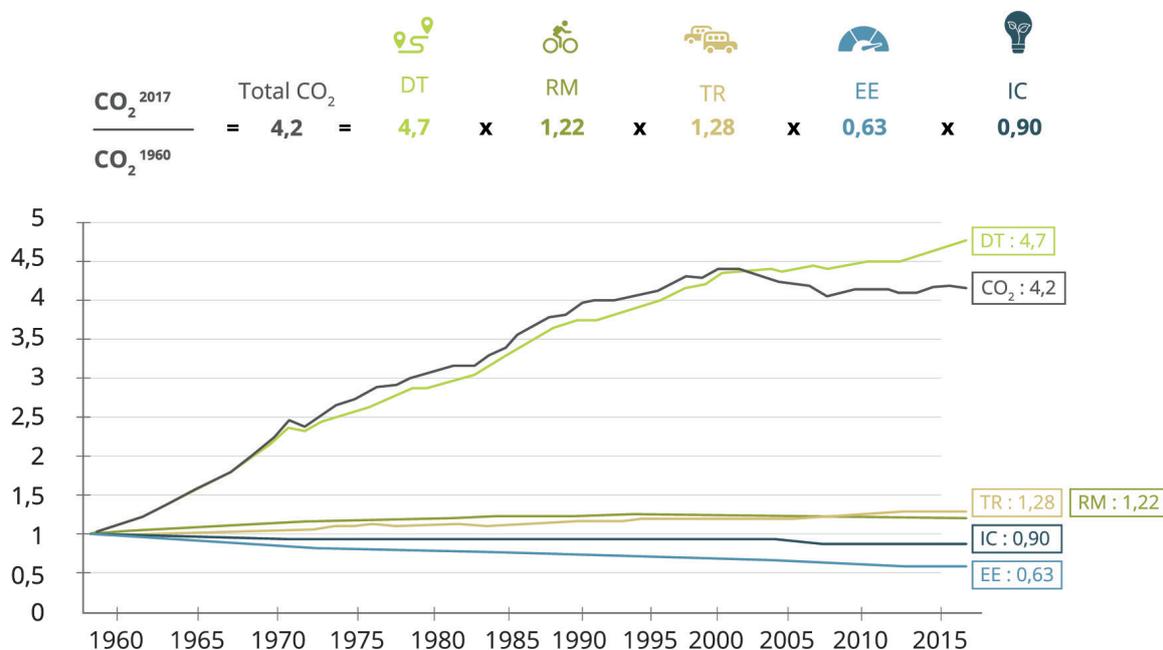
$$\text{CO}_2 = \text{Demande de transport (DT)} \times \text{Report modal (RM)} \times \text{Taux de remplissage (TR)} \times \text{Efficacité énergétique des véhicules (EE)} \times \text{Intensité carbone de l'énergie (IC)}$$

Une contribution historique des motorisations insuffisante

Le graphique ci-contre présente la décomposition des émissions des voyageurs sur la période 1960-2017. L'analyse fait ressortir le rôle historique déterminant du levier de demande de transport, soit le nombre de kilomètres parcourus par les voyageurs. La demande a été multipliée par 4,7 tandis que les émissions étaient multipliées par 4,2 entre 1960 et 2017. Ainsi les émissions moyennes par kilomètre n'ont que très peu baissé, les 4 autres leviers de la décomposition se compensant

quasiment entre eux. Deux facteurs ont eu un effet à la hausse sur les émissions : le report modal, surtout en début de période par la hausse de la part de la voiture (effet de +22 % sur les émissions), et la baisse du remplissage moyen des véhicules (+28 %). Dans le même temps, l'efficacité énergétique des véhicules s'est régulièrement améliorée (effet de -37 %), tandis que l'intensité carbone de l'énergie ne s'est que légèrement améliorée (-10 %), d'autant que les biocarburants développés ne sont en réalité pas moins émetteurs que le pétrole en analyse de cycle de vie.

Schéma 2 : Décomposition multiplicative de l'évolution des émissions de CO₂ du transport intérieur de voyageurs, 1960-2017



Ces grandes tendances sont valables aussi pour le transport de marchandises, à quelques exceptions près : les émissions ont été multipliées par 3,3 et la demande par 3,4 entre 1960-2017 ; l'impact négatif du report modal sur les émissions a été bien plus fort (la part du routier passant de 34 % à 88 % sur la période) ; enfin, le remplissage des poids-lourds a régulièrement progressé par des véhicules plus capacitaires, limitant les gains de consommation par kilomètre parcouru.

Au total, les politiques publiques environnementales, axées sur le développement des modes bas-carbone et les progrès technologiques, ont montré peu d'effets mesurables sur les émissions. Les émissions par kilomètre ne diminuent que de -0,5 %/an pour les voyageurs sur les derniers

25 ans, compensés par la hausse de la population (+0,5 %/an) qui porte à la hausse la demande de transport totale, expliquant des émissions relativement stagnantes ces dernières années.

Pour le moment, seul le transport ferroviaire a réussi en grande partie sa décarbonation, par le passage à l'électrique de 57 % du réseau ferroviaire et d'environ 94 % du trafic voyageurs (en nombre de voyageurs ou kilomètres parcourus).

Le défi est encore immense pour les autres modes. La voiture électrique ne constitue qu'environ 0,5 % du parc de véhicules à fin 2019, et la décarbonation des poids-lourds, du maritime ou de l'aérien semble encore plus timide pour le moment, augurant des transports encore largement carbonés dans les années voire décennies à venir.

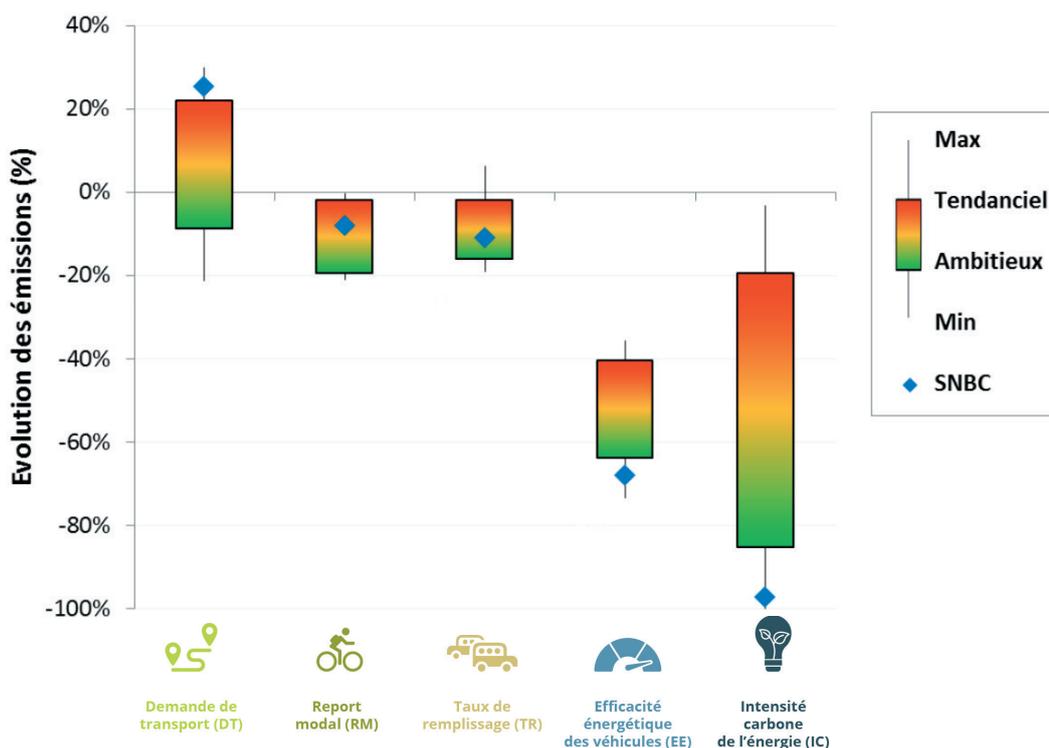
Une contribution majeure des motorisations d'ici 2050

Si la décarbonation de l'énergie n'est que très peu entamée pour le moment, l'analyse des scénarios de perspectives français montre qu'elle n'en reste pas moins un levier incontournable d'ici 2050. Ainsi, dans tous les scénarios de transition énergétique des transports compatibles avec l'objectif de neutralité carbone, les leviers de l'efficacité énergétique et d'intensité carbone de l'énergie sont majeurs (voir la contribution de ces leviers dans la figure ci-dessous). Ces progrès sont particulièrement forts dans la SNBC, qui prévoit une baisse d'émissions par kilomètre de -3,8

%/an à sur la période 2015-2030, à comparer aux -0,5 % des dernières années, une rupture considérable. Pourtant, ces dernières années, l'efficacité des véhicules neufs vendus, qui devait représenter la majorité des progrès de court terme, a stagné au lieu de s'améliorer fortement, sous l'effet en particulier de la croissance des ventes de SUV. A plus long terme, c'est le déploiement des véhicules électriques qui doit fournir les principales baisses d'émissions, en améliorant simultanément l'efficacité et l'intensité carbone.

Par ailleurs, le graphique montre que la SNBC est bien moins ambitieuse sur les 3 premiers leviers de décarbonation, en particulier sur la

Schéma 3 : Contribution possible des 5 leviers à la réduction des émissions de CO₂ du transport de voyageurs d'ici 2050, d'après les scénarios français (analyse de 13 scénarios : moyenne des 4 scénarios tendanciel en rouge, des 4 scénarios les plus ambitieux par facteur en vert, et SNBC en bleu)



demande qui augmente davantage que dans la moyenne des scénarios tendanciels étudiés, tandis que l'ambition est moyenne sur le report modal et le remplissage. Plus globalement, la stratégie mise beaucoup sur la technologie, mais bien moins sur les leviers de sobriété, qui apparaissent pourtant indispensables pour obtenir les ruptures nécessaires. Par exemple, rattraper le très fort retard sur l'efficacité énergétique nécessiterait notamment de baisser la vitesse à 110 km/h sur les autoroutes, et de mettre des incitations fortes pour orienter le marché vers des véhicules légers, deux évolutions aux forts potentiels qui avaient été proposées par la Convention Citoyenne pour le Climat.

Au total, les scénarios ambitieux sur les leviers de sobriété montrent qu'ils pourraient permettre de diviser environ par deux les consommations d'énergie des transports, par rapport à un scénario tendanciel.

Des points de vigilance sur la technologie, l'importance de la sobriété

Bien qu'indispensables, les évolutions des motorisations seront donc insuffisantes à l'avenir pour s'aligner avec la trajectoire de décarbonation prévue, d'autant que les analyses présentées ci-dessus ne concernent que les émissions directes (en sortie de pot d'échappement).

Pour la voiture électrique, ces émissions directes sont nulles, mais leur impact global en analyse de cycle de vie montre des émissions 2 à 3 fois moins élevées que les voitures thermiques. Un tel gain est important mais reste insuffisant,

alors que les émissions tous secteurs confondus doivent quasiment être divisées par 6 d'ici 2050. Les émissions devront donc encore être réduites par divers moyens, qui concernent davantage la fabrication des véhicules, dont les émissions deviennent majoritaires avec l'électrique. Ainsi, les véhicules devront être utilisés de manière intense pour amortir les émissions et les autres impacts environnementaux de la production des véhicules. Aussi la taille et l'impact carbone des batteries devront être limités, une évolution qui sera d'autant plus facile à envisager que des efforts sont faits sur la relocalisation de la production des batteries, la modération des distances de déplacement, que les vitesses sont réduites, ou encore que les véhicules légers et notamment les modes intermédiaires entre le vélo classique et la voiture sont encouragés (VAE, speed-pedelecs, vélomobiles, vélos cargos ou pliants, quadricycles, mini-voitures, etc.). L'impact carbone sera d'autant plus limité que la taille du parc de véhicules et son renouvellement seront faibles, donnant toute la pertinence à des politiques de démotorisations, a contrario des politiques de renouvellement du parc mises en œuvre depuis des années. Enfin, le pilotage de la recharge devra être généralisé pour s'assurer que les véhicules utilisent de l'électricité bas-carbone.

Si l'évolution vers la voiture électrique ne peut pas uniquement être appréhendée comme une évolution technologique nous permettant de conserver les mêmes usages qu'actuellement, il en est de même pour les autres technologies de décarbonation. L'hydrogène, le biogaz, les biocarburants ou encore les carburants de synthèse, présentent également des limites importantes en termes de ressources disponibles (notamment

pour la biomasse ou pour certains métaux critiques), de coûts des technologies parfois importants, ou encore d'impact sur d'autres externalités. Les évolutions vers davantage de sobriété présentent des freins différents (acceptabilité, comportements, impacts sur l'emploi, etc.), mais permettent de limiter ces risques, en termes de coûts économiques et environnementaux de la transition.

Reste à combiner l'ensemble de ces évolutions pour espérer atteindre la rupture envisagée,

avant que les retards actuels ne puissent plus jamais être rattrapés, et participent à emmener un peu plus le monde vers des niveaux de réchauffement insoutenables.

L'article présente les résultats d'un travail de thèse intitulé «Les transports face au défi de la transition énergétique. Explorations entre passé et avenir, technologie et sobriété, accélération et ralentissement», disponible sur : <http://www.chair-energy-prosperity.org/publications/travail-de-these-decarboner-transports-dici-2050/>



Denis Caux

Spécialiste réglementation véhicules /
Renault Trucks

La réglementation CO2 pour les poids lourds

Aux termes d'une réglementation adoptée en 2019 par l'Union européenne, les émissions de dioxyde de carbone des camions lourds neufs devront être réduites de 30 % d'ici 2030 avec un objectif intermédiaire de 15 % en 2025.

Les camions représentent environ 5% des émissions de gaz à effet de serre en Europe. Cependant, à la différence des voitures particulières, ils sont conçus pour répondre aux besoins précis des exploitants et sont donc proposés dans un large éventail de tailles et de constitutions.

La réglementation CO₂ pour les poids lourds aborde l'efficacité énergétique des camions à travers leur consommation de carburant et leurs émissions de CO₂. Elle vise les véhicules tels que produits par les constructeurs, associés à des équipements (caisse, remorque, semi-remorque) standardisés.

Elle développe l'information du consommateur à travers la déclaration des performances CO₂

et de consommation de carburant et fixe aux constructeurs des objectifs de réduction à atteindre.

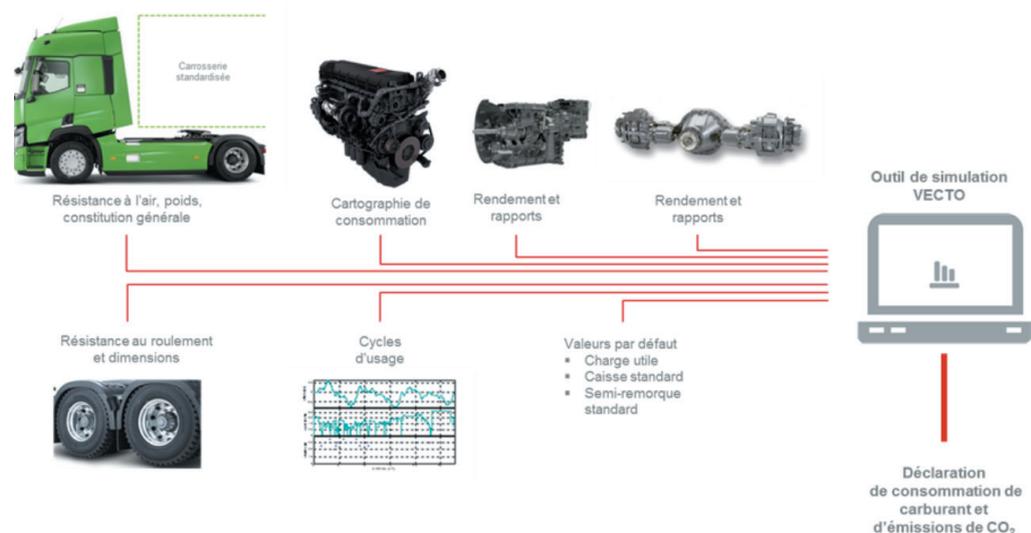
La déclaration

Bien qu'issue de celle portant sur les normes d'émissions Euro VI, la réglementation CO₂ les poids lourds, n'est pas établie par type de véhicule, comme c'est le cas pour l'automobile particulière, mais fait appel à un calcul établi pour chaque véhicule produit.

Elle est basée sur la mesure, certifiée, des performances de composants et de sous-ensembles tels que moteurs, transmissions, pneus, trainée aérodynamique, auxiliaires.

Le calcul des performance CO₂ et de

Schéma 4



¹ Règlement (UE) 2017/2400 et Règlement (UE) 2019/1242.

consommation, sur la base de la définition de chaque véhicule et des données certifiées de ces composants, est réalisé en utilisant le logiciel Vecto (Vehicle Energy Consumption Calculation Tool) de la Commission européenne, ceci pour différents cycles d'utilisation et différentes charges.

La performance CO₂ est exprimée en g CO₂/t.km pour refléter le travail effectué par le véhicule en fonction de ses cycles de fonctionnement et de ses charges.

Plus de 100 données par véhicule produit, issues de Vecto, sont ensuite transmises chaque année à la Commission Européenne qui en rend publique la majeure partie sur un site internet. Les États membres, rapportent pour leur part les numéros d'identification de tous les véhicules immatriculés.

Les objectifs de réduction de CO₂

Sur la base des données transmises, la Commission européenne calcule et diffuse :

- une valeur moyenne d'émissions de CO₂, établie pour la flotte européenne, toutes marques confondues, pour les immatriculations des groupes de véhicules concernés enregistrés entre juillet 2019 et juin 2020.

- un objectif d'abaissement de cette valeur moyenne de 15 % à l'horizon 2025 et de 30 % en 2030. Cet objectif est décliné par constructeur sur la base de la flotte immatriculée chaque année. L'effort par constructeur peut être supérieur ou inférieur en fonction de sa position par rapport à la valeur moyenne 2019/2020. Les véhicules Zéro émissions, à batteries électriques ou à pile à combustible hydrogène, bénéficient dans le calcul de la moyenne du constructeur

d'un bonus (facteur ZLEV) qui multiplie jusqu'à 2 leur incidence.

Si un constructeur n'atteint pas l'objectif de réduction assigné, il se verra appliquer des pénalités. Après 2030, par exemple, un g CO₂/t.km en excès sur la moyenne coûtera 6 800 euros par véhicule. Si l'on considère une moyenne de 55 g/t.km pour 30 000 véhicules immatriculés, c'est plus de 200 millions d'euros annuels que devra acquitter un constructeur.

La performance du véhicule sorti d'usine seulement

La réglementation ne traite pas de la performance en CO₂ du véhicule du puits à la roue mais de l'efficacité énergétique propre du véhicule tel que produit sur les chaînes d'assemblage. Elle n'embrasse pas les performances en CO₂ réelles des caisses et des remorques que le camion portera ou tractera. Pour le calcul relatif à ces équipements, l'outil VECTO utilise des valeurs standards déterminées pour chaque groupe de véhicules concerné.

La réglementation ne prend pas non plus en compte les effets de variantes de carburants d'origine non fossile ou à faible teneur en carbone, leur intégration dans le calcul étant très difficile sauf à rendre leur emploi exclusif ce qui n'est pas le cas en exploitation réelle. Les qualités des carburants pourront être prises en compte dans d'autres réglementations qui leur seront propres.

Les grandes combinaisons de véhicules de type EMS (European Modular System), autorisées dans certains états européens, bien que prises en compte dans la déclaration ne sont pas intégrées dans le calcul de la performance du constructeur. Tirant en partie leur performance

CO₂ du remplacement de 3 attelages classiques par 2 ensembles plus longs, ces combinaisons pourraient être désavantagées par le calcul unitaire dans VECTO qui ne valorisera pas certains aspects du véhicule EMS tels que le nombre d'essieux ou la puissance installée.

Les technologies en avance

Certaines technologies pourtant présentes sur le marché ne sont pas encore retenues dans le processus de calcul alors qu'elles pourraient influencer favorablement la performance CO₂ moyenne des constructeurs. C'est notamment le cas des hybrides ou des hybrides rechargeables ou encore de la bicarburation gaz naturel liquéfié-diesel. Un décalage structurel que la Commission européenne tentera de combler à l'occasion de ses travaux et décisions futures.

Vers une transformation profonde

Pour les constructeurs, répondre aux exigences de la réglementation CO₂ aux échéances de 2015 et 2030 ne sera possible qu'en développant massivement les ventes de véhicules sans émissions, c'est-à-dire électriques. Les améliorations qui pourront être apportées aux moteurs à combustion interne ne seront pas suffisantes pour y parvenir.

L'industrie est engagée dans une grande transformation vers la mobilité sans carbone par l'électrification. Un constructeur comme Renault Trucks, qui commercialise aujourd'hui une gamme complète de véhicules de distribution urbaine 100 % électriques, ambitionne d'avoir un parc roulant neutre en carbone

d'ici 2050, sous réserve du développement concomitant de l'écosystème complet.

Pour que cette transformation puisse se réaliser dans des délais cohérents avec la réglementation, il est impératif de faire converger les intérêts et obligations des constructeurs avec ceux des exploitants. Ces derniers doivent en effet pouvoir être assurés de retrouver des coûts totaux de possession maîtrisés avec leurs nouveaux véhicules décarbonés et pouvoir compter sur la présence d'un équipement d'infrastructure opérationnel.

Si les réglementations sur les émissions successives n'ont pas changé la façon de faire du transport, la réglementation CO₂ va conduire elle à une modification profonde du modèle économique du secteur.



Jean-Marc André

Responsable de l'unité Transport & Mobilité / Citepa

Émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques en France dans le secteur des transports

Contexte

La France est actuellement visée par 2 procédures (pré-)contentieuses relatives au non-respect de la directive 2008/50/CE :

- Contentieux relatif aux oxydes d'azote¹ : Le 24 octobre 2019, la Cour de justice de l'Union européenne (CJUE) a condamné la France pour manquement aux obligations issues de la directive compte tenu des dépassements persistants de la valeur limite annuelle de concentration de dioxyde d'azote dans 12 territoires et de la valeur limite horaire dans deux territoires (Paris et Lyon Rhône-Alpes).
- Contentieux relatif aux particules fines² : Le 30 octobre 2020, la Commission a annoncé qu'elle allait saisir la CJUE contre la France pour dépassement de la valeur limite de concentration journalière fixées pour les PM10 par la directive et pour manquement à l'obligation de prendre des mesures appropriées pour réduire au maximum les périodes de dépassement (région parisienne et en Martinique).

Les constructeurs automobiles sont contraints à un règlement commun³ pour atteindre les objectifs de CO₂ kilométrique des véhicules légers (VP, VUL) neufs⁴ :

- VP neufs : 95 g CO₂/km à atteindre en 2021, puis -15% en 2025 et -37,5% en 2030 par rapport à l'objectif 2021.
- VUL neufs : 147 g CO₂/km à atteindre en 2020, puis -15% en 2025 et -31% en 2030 par rapport à l'objectif 2020.

SNBC/Neutralité carbone : le secteur des transports doit être décarboné en 2050, à l'exception du transport aérien domestique.

Description du secteur

Le secteur intègre les sources routières des différentes catégories de véhicules et les sources non routières (les transports aérien, ferroviaire, maritime dont la pêche, fluvial de marchandises et autres modes de navigation -bateaux de plaisance et autres petits bateaux).

Les émissions du transport sont issues d'une part de la combustion des différents combustibles (gazole, essence, électrique, etc.) mais aussi de l'évaporation de l'essence et des abrasions (freins, pneus, route, rails, etc.).

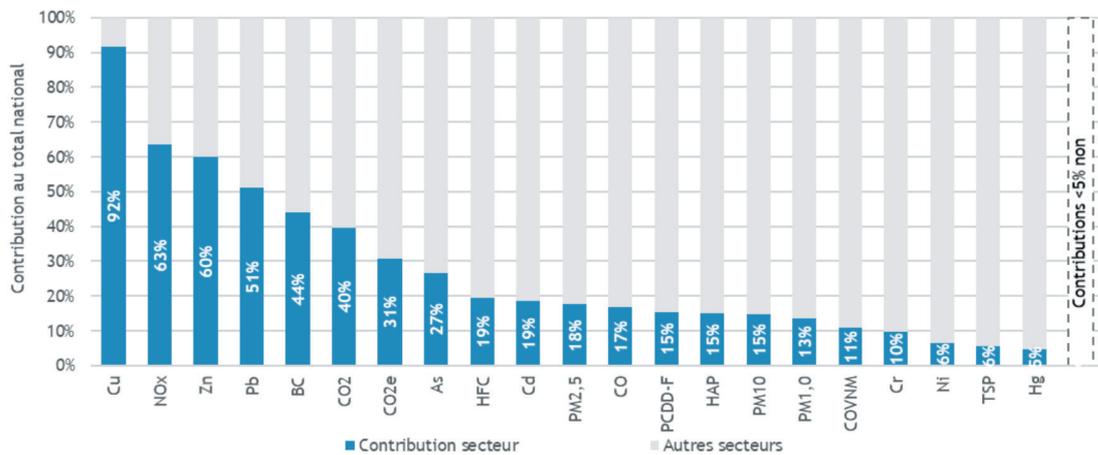
Suivant le mode de transport et/ou de la substance émise, les émissions associées sont réparties différemment :

Schéma 5

* Le trafic pour ces sous-secteurs est comptabilisé uniquement en métropole.

Transport	Substances émises	Inclus dans le total national ?	
		Trafic domestique	Trafic international
Routier	GES/Polluants	Oui	-
Aérien	GES	Oui	Non
	Polluants émis <1 000 m	Oui	Oui
	Polluants émis >1 000 m	Non	Non
Ferroviaire	GES/Polluants	Oui	.7
Maritime	GES/Polluants	Oui	Non
	dont pêche	GES/Polluants	*
Fluvial de marchandise	GES	Oui	Non
	Polluants	Oui	Oui
Autres Navigations	GES/Polluants	Oui	-

Schéma 6 : Substances pour lesquelles le secteur des transports contribue pour au moins 5 % aux émissions en 2018



Principales substances émises par le secteur

Bien qu'il faille raisonner plus en détail par mode de transport, les émissions du secteur des transports en France métropolitaine ont globalement diminué au cours des 20 dernières années sauf pour le CO₂, le CO_{2e}, l'As, le Cr, le Cu et le Zn. Les baisses enregistrées sont à mettre très largement à l'actif du transport routier.

Evolution des émissions totales de GES du secteur en CO_{2e}

Le CO_{2e} (dominé très largement par le transport routier) a atteint un maximum en 2004. Le profil d'évolution est lié à celui du CO₂ qui surclasse les émissions de GES de ce secteur. La très forte croissance des émissions de HFC depuis 1993 n'a qu'un impact relativement faible sur le CO_{2e}.

Evolution des émissions totales de NOx, COVNM et CO

Les émissions de COVNM proviennent, d'une part, de la combustion et, d'autre part, des évaporations des moteurs essence ; alors que les émissions de CO et de NOx ne sont que le produit de la combustion.

Le transport routier est l'émetteur dominant en NOx, COVNM (Composés Organique Volatil Non Méthanique) et CO du secteur des transports depuis 1990. Globalement, le renouvellement du parc de véhicules et l'introduction généralisée de pots catalytiques sur les véhicules légers essence depuis 1993 et diesel à partir de 1997 conduisent à une réduction des émissions du transport routier depuis 1990, malgré une croissance du trafic. De plus pour le CO et les COVNM, les valeurs limites d'émissions (VLE) des normes n'évoluent plus, ce qui implique une potentielle augmentation des émissions liées à la dé-diésélisation du parc.

¹ https://www.citepa.org/fr/2019_10_a9/

² https://www.citepa.org/fr/2020_11_a05/

³ Règlement (UE) 2019/631 qui remplace, depuis le 1er janvier 2020, le règlement CE n°443/2009 et le règlement CE n°510/2011

⁴ En moyenne pondérée des ventes européennes n°510/2011

La baisse des rejets de NOx du transport routier n'a pas suivi la baisse des valeurs limites d'émissions (VLE) des normes en particulier pour les véhicules diesel. Il y a même eu pour ces derniers, de norme Euro 5, une hausse du facteur d'émission (FE) par rapport à celui des véhicules de normes Euro 4. Les FE diesel des normes Euro 6 devraient être plus faibles que ceux des normes précédentes et ainsi contribuer, avec le renouvellement du parc, à la baisse future des émissions de NOx. La dédiésélisation amorcée du parc aidera aussi à la baisse des émissions.

Dans les autres modes de transport, le sous-secteur des autres navigations (bateaux de plaisance) est prédominant en termes d'émission de COVNM et de CO. La tendance suit l'évolution de l'introduction des moteurs 4 temps en plus de l'introduction de moteurs moins polluants.

Evolution des émissions totales de métaux lourds

Les émissions de métaux lourds dans les transports sont principalement issues du transport routier. Les phénomènes entraînant ces émissions sont :

- l'usure de matériaux (des pneus, des freins, du revêtement de la route, etc.),
- la combustion (des combustibles et d'une partie des huiles moteur).

Les proportions des émissions entre ces sources sont différentes selon le polluant considéré et directement liées à la teneur en métaux lourds. Pour l'huile, il s'agit d'une fraction d'huile contenue dans le carter moteur qui brûle quand elle passe dans la chambre de combustion (moteurs 4 temps) ou de l'huile contenu dans le mélange 2 temps (des 2 roues).

Les émissions d'Arsenic, de Cuivre, de Nickel, de Plomb, de Sélénium et de Zinc du secteur des transports sont dues essentiellement à l'abrasion, alors que les émissions de Cadmium et le Chrome sont dues principalement à la combustion (carburants ou huile).

Les émissions de Plomb du secteur des transports ont diminué depuis 1990, en lien avec la disparition de l'essence plombée depuis le 1er janvier 2000. Il y a toujours du Plomb dans l'essence aviation consommée dans les avions à piston.

Evolution des émissions totales de particules

Les émissions des particules totales en suspension (TSP), des PM10, des PM2,5, des PM1,0 et du carbone suie (BC) du secteur des transports incluent les émissions de particules à l'échappement des véhicules et celles liées aux abrasions et émanent essentiellement du transport routier.

Les niveaux d'émissions dues à l'abrasion croissent avec le trafic depuis 1990, alors que les émissions à l'échappement sont en régression depuis 1993, en raison d'une meilleure gestion de la combustion, de la baisse du taux de soufre dans les carburants et de la mise en place des filtres à particules depuis 2010 (PL) et 2011 (VP et VUL). L'abrasion est devenue une source importante de PM10 et de TSP pour le secteur du transport routier.

Plus d'information sur [le site du Citepa](https://www.citepa.org/fr/) ⁵.

⁵ <https://www.citepa.org/fr/>



Bérengère Mesqui

Directrice du département Développement durable et Numérique /
France Stratégie

Les politiques publiques en faveur des véhicules électriques

Sur la route vers la neutralité carbone en 2050, le secteur des transports est sans doute celui qui devra se transformer le plus profondément. Les émissions du transport représentaient, en 2018, 30% des émissions françaises et c'est le seul secteur dont les émissions ont augmenté sur le long terme : + 8% entre 1990 et 2018¹. Sur ces émissions, près de la moitié sont liées à l'usage de la voiture particulière.

Dans ce contexte, le déploiement du véhicule électrique apparaît comme une solution à encourager pour accélérer la décarbonation du secteur. Si le contenu carbone de l'électricité consommée en phase d'usage du véhicule est faible, comme c'est le cas en France, le véhicule électrique peut en effet permettre une réduction de 50 à 70% des émissions sur l'ensemble du cycle de vie d'une voiture particulière².

Des objectifs français et européens ambitieux

Dans cette logique, le plan climat de 2017 a fixé l'objectif d'arrêt de la vente des véhicules utilisant des énergies fossiles à horizon 2040. La loi d'orientation des mobilités de décembre 2019 reprend cet objectif et y ajoute celui d'une multiplication par cinq des ventes de véhicules électriques d'ici 2022. Sur l'ensemble du secteur, la stratégie nationale bas carbone (SNBC) prévoit une baisse de 28% des émissions du transport en 2030 par rapport en 2015, et une décarbonation complète à l'horizon 2050.

La France n'est pas la seule à s'être fixé des objectifs ambitieux en la matière. Ainsi, la stratégie de mobilité durable et intelligente de la Commission européenne prévoit que la quasi-totalité des véhicules circulant sur les routes de l'UE en 2050 soient à zéro émission et plusieurs pays ont prévu l'arrêt de la vente de voitures thermiques à moyen terme : les Pays-Bas et le

Danemark, le Royaume-Uni et la Suède en 2030, l'Espagne en 2040. La Norvège a, quant à elle, prévu d'atteindre 100% de véhicules électriques vendus en 2025, mais sans interdiction.

Trois principaux leviers de politique publique

Les travaux conduits par France Stratégie en 2018³ sur les politiques publiques menées à l'étranger en faveur des véhicules à faibles émissions mettent en évidence trois leviers pour accroître la part de voitures électriques dans les ventes :

Des incitations financières fortes et durables à destination du consommateur ; Les trois régions du monde pionnières en matière de vente de véhicules électriques -la Norvège, les villes californiennes et les villes chinoises de Pékin, Shanghai et Shenzhen- ont mis en place des systèmes d'aides à l'achat généreux. En Norvège, du fait des exemptions de taxe à l'importation et de TVA, le véhicule électrique est

¹ CGDD- I4CE – Chiffres clés du climat – édition 2021

² ICCT (2018) – Effets de la fabrication de batteries sur les émissions de gaz à effet de serre du cycle de vie des véhicules électriques (<https://theicct.org/publications/EV-battery-manufacturing-emissions>)

³ France Stratégie (2018) - Panorama des politiques publiques en faveur des véhicules à très faibles émissions

même moins cher à l'achat que son équivalent thermique.

L'évolution des ventes au Danemark montre l'importance d'installer ces aides dans la durée : alors qu'elles avaient progressé en 2015, les ventes de véhicules électriques à batteries ont fortement diminué en 2016 et 2017 suite à leur assujettissement progressif à la taxe sur les immatriculations.

Des incitations indirectes

Toutes les régions qui ont réussi à avoir une part significative de véhicules électriques ont mis en place des incitations indirectes pour ce type de véhicules : gratuité des péages routiers, possibilité d'emprunter les voies réservées aux bus ou au covoiturage, possibilité de circuler dans les zones à faibles émissions mises en place par les communes,... A Pékin, où le nombre de nouvelles plaques d'immatriculation délivrées chaque année est strictement limité, un quota de nouvelles plaques est réservé aux véhicules électriques. Les personnes souhaitant acquérir un véhicule électrique ont ainsi une probabilité plus grande de voir leur demande acceptée.

Des quotas de vente imposés aux constructeurs

Depuis le début des années 1990, la Californie a accompagné le déploiement des véhicules électriques en imposant à chaque constructeur de vendre un quota de véhicules électrique de plus en plus élevé avec le temps.

La Chine a également repris cette idée depuis 2019 et a imposé aux constructeurs automobiles des quotas de véhicules électriques, calculés en fonction du type de véhicule (à batterie, à pile à combustible ou hybride rechargeable) et de son autonomie. Ces quotas, qui ont eux aussi vocation à augmenter chaque année, devraient permettre de limiter les aides financières à l'achat.

Une stratégie française et européenne qui commence à porter ses fruits

Les mesures mises en place aujourd'hui en

France et au niveau européen pour favoriser la transition du secteur automobile reposent largement sur ces trois piliers.

Les acquéreurs de voitures électriques peuvent en effet bénéficier d'un « bonus écologique », dont le montant varie en fonction du prix d'achat du véhicule et du type de motorisation (hybride rechargeable ou électrique à batteries) et peut atteindre 7000 €. Le « malus écologique » portant sur les véhicules essence et diesel en fonction de leurs émissions de CO₂, contribue lui aussi à renforcer la compétitivité des voitures électriques.

Au niveau européen, la réglementation encadrant les émissions de CO₂ des voitures particulières neuves s'est durcie depuis 2020 avec l'imposition de contraintes sur les constructeurs : en 2020, la moyenne des émissions de CO₂ des voitures vendues par les constructeurs ne devait pas dépasser 95 gCO₂/km. S'il ne s'agit pas à proprement parler de quotas, ce mécanisme incite fortement les constructeurs à accroître la part des véhicules électriques dans leurs ventes.

Enfin, pour lutter contre la pollution de l'air, de nombreuses métropoles ont annoncé la limitation de l'accès des centres villes aux véhicules thermiques. Ainsi le plan climat parisien prévoit l'interdiction de la circulation des véhicules diesel à partir de 2024 et essence à partir de 2030. Et d'autres métropoles ont suivi l'exemple parisien : Strasbourg et Grenoble prévoient de fermer leurs centres villes aux voitures diesel respectivement à partir de 2025 et 2030.

L'ensemble de ces mesures a sans doute contribué aux bons chiffres de vente des véhicules électriques en 2020 : dans un marché en net recul du fait de la crise sanitaire (-25% de ventes de voitures en France en 2020 par rapport à 2019⁴), les ventes de véhicules hybrides rechargeables et électriques à batteries ont été multipliées par trois et représentent 11 % des ventes de véhicules particuliers en 2020 (contre moins de 3% l'an dernier).

⁴ACEA, New passenger car registration by fuel in the european union, données au T4 2020, février 2021

Figure 1 : Ventes de voitures particulières en France et en Union européenne selon la motorisation (Source : ACEA)

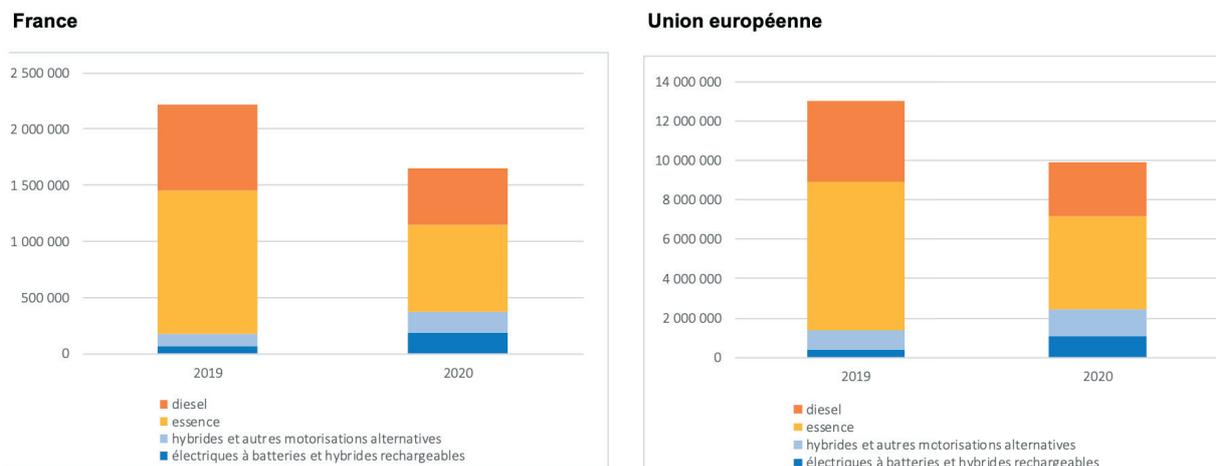
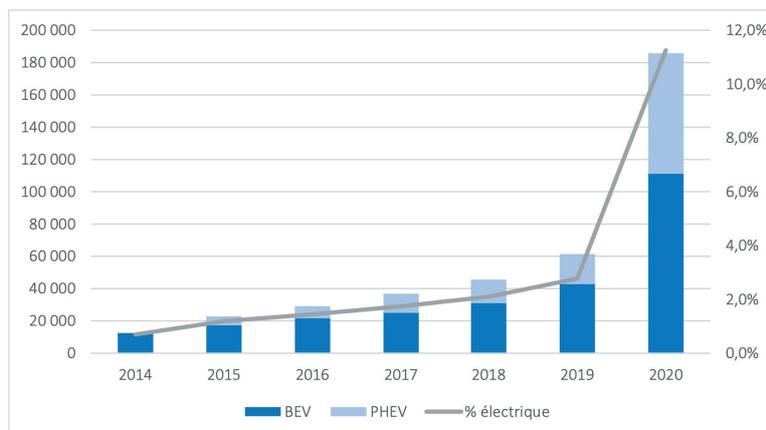


Figure 2 : Ventes de voitures électriques en France depuis 2014 (Source : ACEA)



Conclusion

L'aide au déploiement des voitures électriques est aujourd'hui un axe fort des politiques publiques de décarbonation du secteur des transports qui commence porter ses fruits. L'impact de cette politique sur notre empreinte carbone sera d'autant plus important que l'électricité utilisée pour produire les batteries est décarbonée et que le poids du véhicule est faible, nécessitant des batteries moins puissantes. Les politiques d'incitation pourraient ainsi être affinées pour orienter les choix des consommateurs vers les véhicules électriques les moins émetteurs de

CO₂ sur l'ensemble de leur cycle de vie.

Par ailleurs, au-delà du changement de motorisation la SNBC identifie quatre autres leviers pour décarboner les transports : l'amélioration de la performance énergétique, la maîtrise de la demande, le report modal et l'optimisation de l'utilisation des véhicules (covoiturage, auto-partage,...). C'est bien sur l'ensemble de ces leviers que l'action publique doit agir pour espérer atteindre la neutralité carbone en 2050.



François Savoye

Directeur Solutions d'électromobilité / Renault Trucks

La mobilité décarbonée pour les véhicules lourds

Les constructeurs de poids lourds ont réduit les émissions locales de leurs véhicules à quasi-néant, sous l'effet des réglementations sur les émissions atmosphériques appliquées avec une sévérité croissante depuis le début des années 90.

En Europe, la diminution des émissions unitaires des moteurs a été spectaculaire : entre 1990, année de la première norme Euro 0 et 2014, date d'entrée en vigueur de l'actuelle norme Euro VI, les rejets d'oxyde d'azote (NOx) et de particules (PT) ont été respectivement réduits de 98 % et 97 %. Aujourd'hui, 95 % des camions qui circulent pour compte d'autrui en Europe sont équipés des moteurs aux normes les plus récentes. Le remplacement des véhicules les plus anciens est un facteur efficace dans la lutte contre la pollution atmosphérique.

Si la question de la qualité de l'air est réglée pour les poids lourds, réduire les émissions de CO₂, gaz à effet de serre agent du changement climatique, est aujourd'hui le grand défi de l'industrie du camion et sa priorité absolue.

L'Union européenne a introduit une réglementation qui impose aux constructeurs de véhicules lourds qu'en 2030 les émissions de CO₂ des véhicules immatriculés dans l'année soient réduites de 30 % par rapport au niveau de référence de 2019, ce qui nécessite le recours massif à des solutions de remplacement du carburant diesel et des progrès rapides vers une mobilité neutre en carbone.

La bonne solution de transport, au bon endroit avec la bonne énergie

Aujourd'hui, le seul carburant qui puisse couvrir avec efficacité la totalité des usages qui

caractérisent le transport routier professionnel est encore le diesel et on ne lui connaît pas de substitut unique idéal. La longue distance, qui réclame une vitesse commerciale élevée n'a pas les mêmes contraintes que la distribution avec ses arrêts et redémarrages fréquents dans des zones urbanisées. La collecte et la distribution en dehors des villes, les applications chantiers demandent elles aussi des réponses différentes.

Aussi Renault Trucks est-il convaincu que le recours à une palette diversifiée de solutions énergétiques correspondant à la variété des usages et des environnements d'exploitation des véhicules est la seule réponse possible à court et moyen terme aux exigences d'une mobilité durable. Après une analyse approfondie des besoins de ses clients, le constructeur propose la bonne solution de transport au bon endroit, avec la bonne énergie.

Longue distance : biocarburants et électricité

Pour les transports régionaux et internationaux où rentabilité et souplesse d'exploitation sont des impératifs, la solution environnementale optimale repose sur un rendement énergétique maximal obtenu avec une consommation la plus réduite possible d'une énergie la plus faible en carbone possible.

À cette fin, deux voies sont à exploiter parallèlement : d'une part la poursuite de l'amélioration de la performance des moteurs à combustion interne associée au développement

d'une offre de carburants non-fossiles ; d'autre part la mobilité électrique.

Les nouvelles générations de biocarburants et les carburants de synthèse, dont les huiles végétales hydro traitées (H.V.O.), permettent des réductions d'émissions de CO₂ pouvant aller jusqu'à - 88 % par rapport au diesel B7 standard. Sans contrainte de mise en œuvre particulière, ces carburants ne modifient pas les conditions d'exploitation des camions et les moteurs actuels de la gamme Renault Trucks les acceptent sans distinction. Une autre voie possible est l'utilisation de l'hydrogène, produit à partir d'une source renouvelable, comme carburant dans des moteurs à combustion interne.

Batteries et piles à combustible

Sur les longue et moyenne distances, l'électrification des camions aura besoin d'une infrastructure de recharge, qui doit être de forte capacité et densément répartie le long des grands axes de circulation et d'une poursuite de l'amélioration de la densité énergétique de batteries. L'électrification du parc se fera progressivement avec des batteries couvrant une plage de plus en plus importante de rayons d'action et la pile à combustible pour les plus élevés. Du point de vue du constructeur, les deux solutions nécessitent quoiqu'il en soit une plate-forme électrique du meilleur niveau en termes de performances et de coût.

Le biogaz, une solution intéressante mais limitée

Pour les distances moyennes et les missions de transport en zones urbaines et péri-urbaines, le biogaz comprimé, même s'il n'apporte pas de gain significatif sur les émissions locales de NOx et de particules, apporte une décarbonation du transport équivalente à celle du véhicule électrique, à condition d'utiliser du biogaz

pur ou le gaz du réseau assorti d'une garantie d'origine « bio ». Le biogaz liquéfié présente des performances comparables mais aussi des contraintes de mise en œuvre qui peuvent être très importantes selon les utilisations.

Néanmoins, le moteur au gaz émet des oxydes d'azote et des particules, ce qui lui interdira probablement l'entrée des centre-ville à la fin de cette décennie. De plus, la quantité de biomasse disponible et la concurrence du transport avec les autres secteurs de l'économie font que le biogaz ne pourra alimenter à terme qu'une fraction limitée du parc de camions.

Le camion 100 % électrique, d'abord en ville

Pour les véhicules lourds, une mobilité aux émissions de carbone très réduites peut être atteinte en combinant l'efficacité des modes de traction électriques et l'intensité carbone réduite de l'électricité en Europe.

Nous entrons dans une nouvelle ère avec des véhicules 100 % électriques sur batteries offrant des perspectives de rentabilité. Un constructeur comme Renault Trucks commercialise et produit en série une deuxième génération de véhicules électriques qui, s'étend de 3,1 à 26 tonnes, et couvre tout l'éventail des usages urbains. Sans émission à l'usage et silencieux, ils peuvent être exploités dans des zones à circulation restreinte et de nuit, ce qui allège la congestion du trafic. Le camion 100 % électrique en ville devrait être la norme sur de nombreux marchés en Europe à horizon 2025.

La grande transformation de l'électrification

Renault Trucks est engagée dans une transformation radicale caractérisée par la réduction de la part du moteur à combustion

interne et l'électrification progressive qui doit l'amener à un parc roulant neutre en carbone d'ici 30 ans.

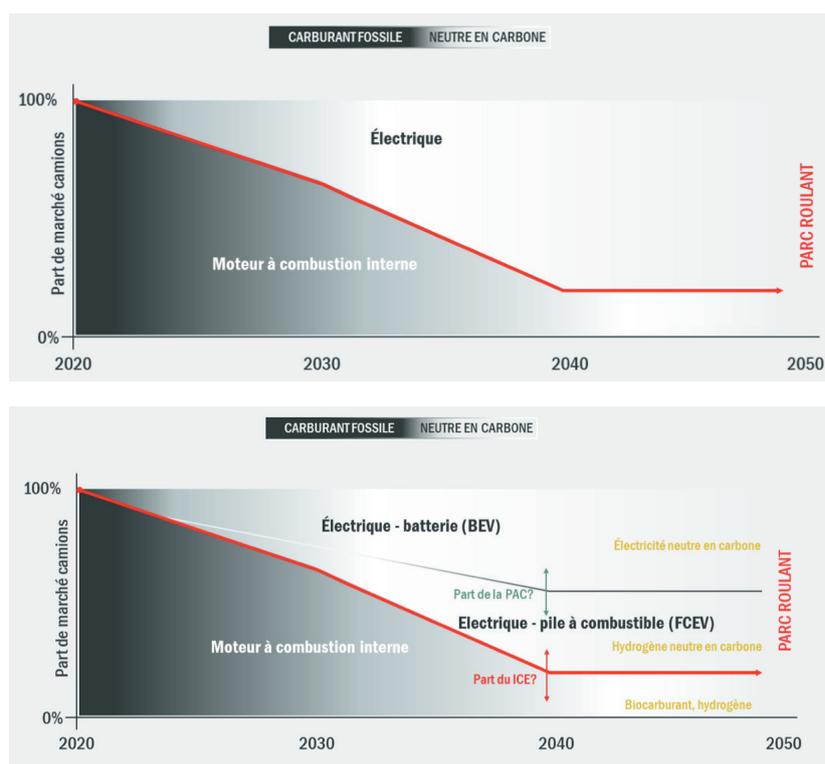
Le moteur à combustion interne, qui équipera encore 2/3 du parc roulant en 2030, a encore beaucoup de potentiel en termes de réduction de consommation et d'émissions de CO₂ mais cela restera insuffisant pour atteindre les objectifs réglementaires européens à cette échéance.

L'abandon progressif du diesel, carburant fossile, ne sera pas entièrement compensé par les biocarburants dont la disponibilité insuffisante les fera réserver à d'autres secteurs que le transport routier comme l'aérien ou le maritime. À long terme, les moteurs à combustion internes, alimentés aux diesels de synthèse, au biogaz ou au carburant hydrogène, concerneront un nombre limité de véhicules et d'usages.

C'est avec l'énergie électrique que sera opérée la grande transformation. Les camions, équipés de batteries ou de pile à combustible pour les usages de longue distance, devraient être majoritaires à une échéance de 20 ans. Le déploiement de ces solutions est déjà amorcé pour les usages de distribution urbaine, de collecte des ordures ménagères, de chantier et se fera au fur et à mesure de la maturité de la technologie, des secteurs, des territoires et des infrastructures.

La réalisation d'un tel scénario ne dépend pas du seul constructeur de camions mais d'un écosystème complet.

Schéma 7





Rémi Bastien

Vice-Président Prospective automobile / Groupe Renault
Président NextMove

**Enjeu CO₂ :
combiner des actions
techniques et
comportementales**

L'automobile est considérée par l'opinion et les media comme un des principaux responsables du changement climatique. Ce papier vise en s'appuyant sur des éléments factuels à positionner l'automobile dans l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique et à proposer une réponse holistique qui combine des actions techniques et comportementales

Mobilité et effet de serre

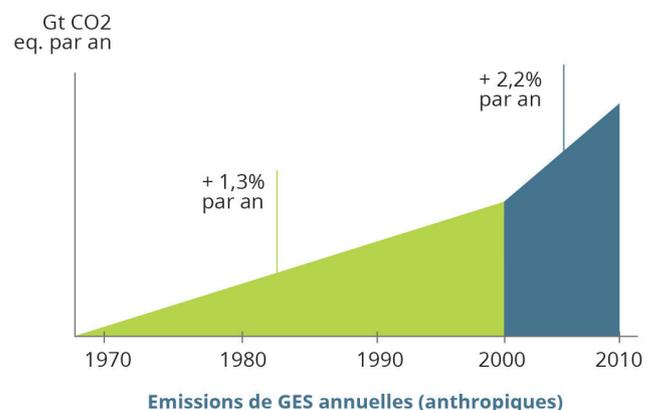
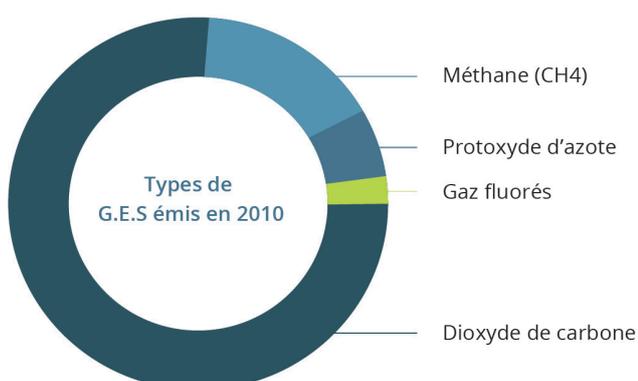
Le GIEC a publié en 2010 ces deux synthèses qui montrent que le CO₂ représente les ¾ des gaz à effet de serre anthropiques (PI.1) et que le secteur des transports (tous transports confondus) représente au total 22% (PI.2). Dans ce total, l'IEA (PI.3) montre qu'en 2010, l'automobile (voitures particulières) a représenté au total monde 3,1 Gt pour un total anthropique à 48 Gt, soit 6,5% du total. La croissance sur les années qui ont suivi entre le total et l'automobile est resté du même ordre, soit 2,2%/an, donc cette proportion s'est conservée sur la fin de la décennie.

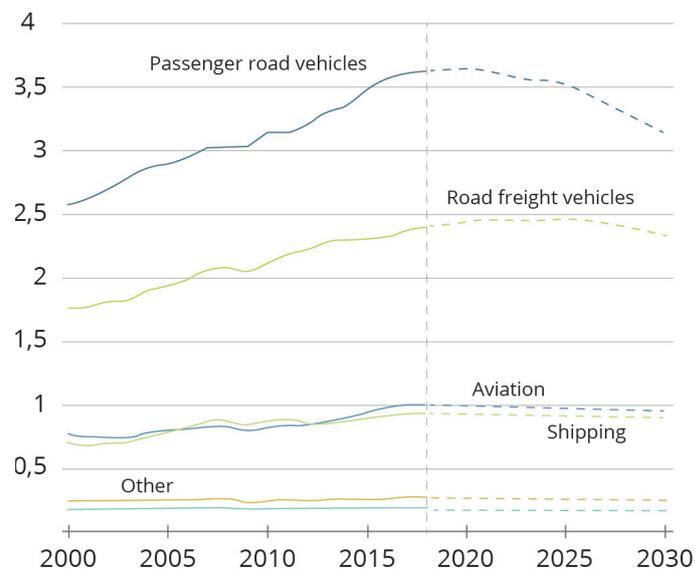
L'automobile est donc un contributeur significatif de plus de 6% et il est donc nécessaire d'agir avec détermination pour décarboner ce secteur. Il est en revanche nécessaire de bien être conscient que ceci ne sera qu'une part faible de l'effort à fournir sur l'ensemble des autres causes qui vont nécessiter le même effort.

Contribution de l'automobile et lien avec l'énergie

Un axe technologique fort engagé pour réduire l'empreinte carbone de l'automobile est celui de l'électrification. Compte tenu de l'âge moyen

PI.1 GIEC





du parc qui est supérieur à 10 ans, l'effet de la bascule des ventes vers les véhicules électriques est donc très progressif. Par exemple, si le marché en 2030 atteint 30% des ventes, il faudra plus de 10 ans pour que le parc atteigne l'équivalent.

Il est souvent évoqué le fait que le bénéfice en CO₂ associé est très lié à la structure de la production d'électricité. En 2010, cette production d'électricité était très carbonée puisqu'elle représentait au niveau mondial plus de 40% des GES. La réussite du plan de la COP21

est donc très liée à une forte décarbonation de la production d'électricité. L'Europe et la Chine ont pris l'engagement de la neutralité carbone en 2050, donc ceci implique une production électrique 100% décarbonée à cet horizon et ainsi le parc automobile et la production électrique seront synchrones.

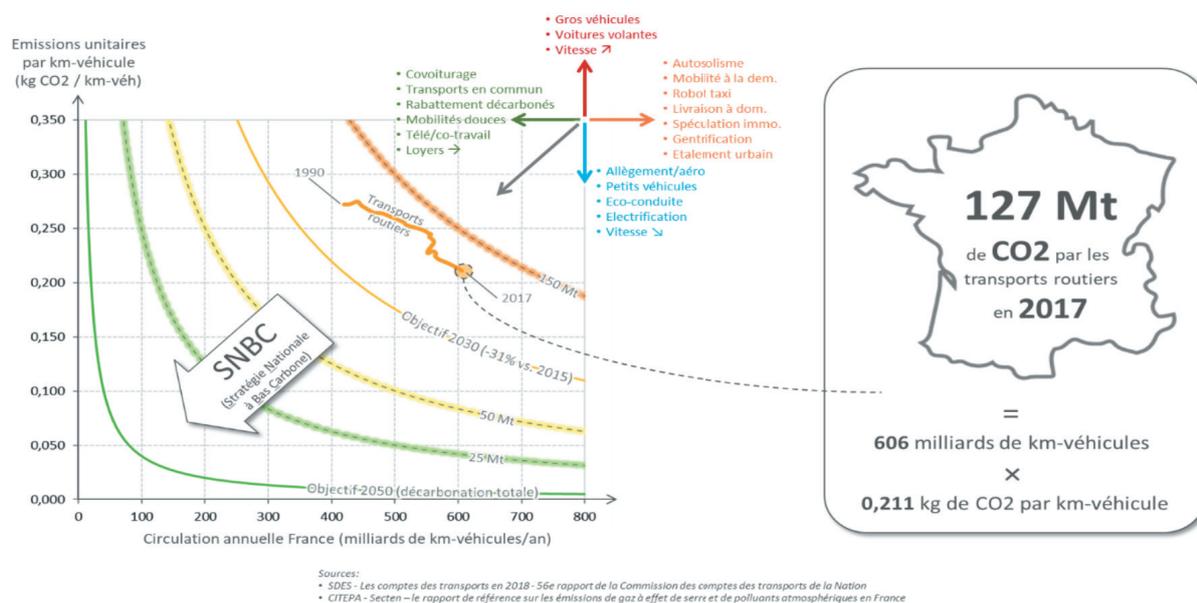
Par ailleurs, il faut aussi prendre en compte que l'effet des nouveaux véhicules n'existe que lorsqu'il y a remplacement de véhicules anciens, sans quoi on ne fait qu'infléchir la croissance des émissions.

Un plan efficace doit combiner des actions techniques et comportementales :

La planche 4 que nous devons à Laurent TAUPIN¹ montre que l'ensemble des gains en efficacité CO₂, réalisés entre 1995 et 2015 sur les véhicules neufs, a été effacé par l'augmentation de la circulation. Cela démontre qu'il est nécessaire d'agir à la fois sur l'efficacité énergétique des véhicules mais aussi sur leur usage, sans quoi la SNBC n'a aucune chance

d'aboutir. Un point fondamental est que le CO₂ une fois dans l'atmosphère ne se recompose plus et y reste stable pour des milliers d'années. Ce qui compte est non seulement la neutralité carbone ciblée en 2050, mais bien le chemin pour y arriver, autrement dit l'intégrale des émissions de CO₂ émises entre maintenant et 2050. Cela renforce l'importance des mesures de type comportementales applicables sans investissements longs et lourds² et aussi la nécessité absolue de synchroniser les feuilles de route du monde de l'énergie et celui des véhicules.

Pl.4



Équation de Kaya et son application pour atteindre les objectifs de décarbonation

Une application de l'équation de KAYA peut être celle-ci :

$$CO_2 = \frac{CO_2}{ENJ} \times \frac{ENJ}{KMV} \times \frac{KMV}{KMT} \times KMT$$

Part carbonée de l'énergie

Consommation énergétique unitaire des véhicules

Taux moyen d'occupation⁻¹

ENJ: énergie
KMV: kilomètres véhicules
KMT: kilomètres trajets

¹ CVE véhicules autonomes RENAULT

² Voir en annexe une simulation rapide en fonction du rythme de réduction annuel.)

Pour une efficacité maximale, il est donc important d'agir sur toute la chaîne :

- Réduire le nombre de trajets en voiture, et donc les réaliser par un autre moyen sans impact carbone, ou ne pas faire le trajet s'il est possible de faire autrement (le télétravail en est une illustration)
- Mutualiser l'usage de la voiture pour qu'à iso trajets moins de véhicules ne circulent (le covoiturage est un exemple)
- Et bien sûr réduire l'empreinte carbone de chaque véhicule.

Une étude commune réalisée par VEDECOM, l'IFPEN et IFSTTAR³ a montré dans le cadre des assises de la mobilité que des actions sur les usages pouvaient contribuer à hauteur de 12% sans aucun progrès sur la performance du parc. Les hypothèses prises concernent des reports sur des mobilités actives, du covoiturage et une part de télétravail. L'avantage de ces actions est qu'elles sont applicables sans attendre l'arrivée des nouveaux véhicules.

Le Covid19 avec ses impacts désastreux sur l'économie a aussi entraîné une baisse des émissions de CO₂ en France de l'ordre de 9% sur l'ensemble des émissions dont la mobilité et donne une indication sur l'effet des usages.

Donc si nous voulons ensemble faire un apport utile à ce défi, nous devons considérer quelques grandes voies :

- Comme il n'y a pas de progrès sans mesure, généraliser la mesure du CO₂ de la mobilité pour tout voyageur (particulier et entreprises). L'exemple de la santé est à méditer avec le « monitoring » des montres connectées qui se sont développées et qui participent à ce que ceux qui les utilisent décident de l'activité physique qui leur convient en ayant cette mesure. Une application très utile est fournie par IFPEN :

GECOAIR. Elle est gratuite et chargeable sur tous les smartphones. Elle donne les émissions quotidiennes de l'utilisateur liées à sa mobilité. L'une des priorités est de promouvoir les solutions qui évitent « l'autosolisme ».

- Combiner des actions sur les usages applicables dès maintenant avec des actions sur les technologies qui demandent du temps pour produire leurs effets.
- Concernant la feuille de route technologique, il est fondamental de synchroniser celle de l'énergie et celle des véhicules. Cet aspect reste encore trop mal abouti et le temps presse !
- Pour les entreprises, consolider le bilan CO₂ et dans les décisions structurantes pour intégrer l'impact CO₂ associé.

Un cas pratique d'application :

Comme il est bien de conseiller mais encore mieux d'appliquer ses conseils, je vais terminer en partageant mon expérience sur 2020. Comme indiqué plus haut j'utilise l'application GECOAIR qui comptabilise le CO₂ émis lors tous mes trajets en distinguant la marche, le vélo, la voiture, le train, etc...

Voilà donc en synthèse ma pratique sur 2020 :

- Télétravail à 70% en moyenne
- Usage d'un vélo à assistance électrique pour tous mes trajets inférieurs à 10 km le week-end
- Usage des transports en commun pour mes déplacements vers Paris
- Usage de ma ZOE de fonction pour tous les autres trajets de distance inférieure à 250 km.
- Usage d'une Talisman à moteur essence pour deux trajets A/R vers les Alpes
- Usage du TGV une fois par mois pour me rendre à Macon visiter ma mère
- Usage de l'avion pour me rendre à Nice pour un congrès en Septembre

³ Document en annexe

L'indicateur GECOAIR a donné un total de 800 kg de CO₂ émis auquel il faut ajouter le vol vers Nice que l'on peut chiffrer à 82 kg⁴ pour 1500 km parcourus, soit un total de 882 kg.

Ceci est à comparer avec quelques moyennes des citoyens :

- Français : 1800 kg
- Suédois : 1620 kg
- Américain : 5300 kg

Pour éviter un biais, je pense qu'il faut inclure l'impact complémentaire du cycle de vie de la batterie de ma ZOE par rapport aux véhicules thermiques qui équipent l'immense majorité des autres utilisateurs. En ce cas je prends une tranche annuelle d'amortissement de cette

empreinte carbone sur le cycle de vie qui est de l'ordre de 4000kg de CO₂ et que j'amortis sur 12 ans car les batteries auront majoritairement une deuxième vie dans les applications stationnaires, soit environ 330 kg.

Cela donnerait alors un total d'environ 1200 kg. C'est purement indicatif mais montre l'ordre de grandeur de ce potentiel d'environ 1/3 de moins que la moyenne nationale.

⁴ Source : <https://eco-calculateur.dta.aviation-civile.gouv.fr/>



Stéphane Amant

Sénior Manager Leader de la pratique Mobilité et
responsable qualité / Carbone 4

Transport routier : Quelles motorisations alternatives pour le climat ?

Pour répondre au défi climatique, le secteur de la mobilité n'a d'autre choix que de se réinventer. A travers de nouvelles technologies, via de nouveaux usages, en agissant sur la demande elle-même : le défi est tel que tous les leviers devront être actionnés.

Concernant le levier technologique, malgré les annonces gouvernementales et les prises de position de grands acteurs industriels, le chemin de la transition énergétique n'est pas encore clairement tracé : quelles seront les alternatives les plus pertinentes aux énergies fossiles, entre bioGNV, biocarburants liquides, électrique à batterie, hydrogène ou thermique hybridé ? Afin de hiérarchiser ces différentes options, l'un des juges de paix sera l'empreinte carbone en cycle de vie, en prenant en compte la fabrication, l'usage et la fin de vie des véhicules, et l'approche du « puits à la roue » pour les vecteurs énergétiques.

Cet article présente ainsi les résultats les plus récents obtenus par Carbone 4 sur ce sujet, pour éclairer le débat¹.

Sur la base d'hypothèses centrales, nos analyses démontrent clairement que les technologies « électrification par batteries » (VEB) et « bioGNV » (VTH-bioGNV) tiennent le haut du pavé en termes de réduction d'empreinte carbone en cycle de vie, quels que soient les véhicules considérés.

On obtient ainsi pour un VP vendu en 2020 en France, et roulant jusqu'en 2031, de l'ordre de -65 à -70% sur les émissions de CO_{2eq}. Ces bénéfices sont encore plus marqués pour les véhicules lourds, utilisés de manière plus intensive (autobus, tracteurs routiers), ce qui est favorable à l'électrification : on obtient des réductions d'environ -75 à -85% (voir les figures 1 ci-contre page 39).

Hors de la France, un VEB vendu aujourd'hui en Allemagne, voire en Pologne, reste moins émissif qu'un VTH comparable. Les VTH-bioGNV

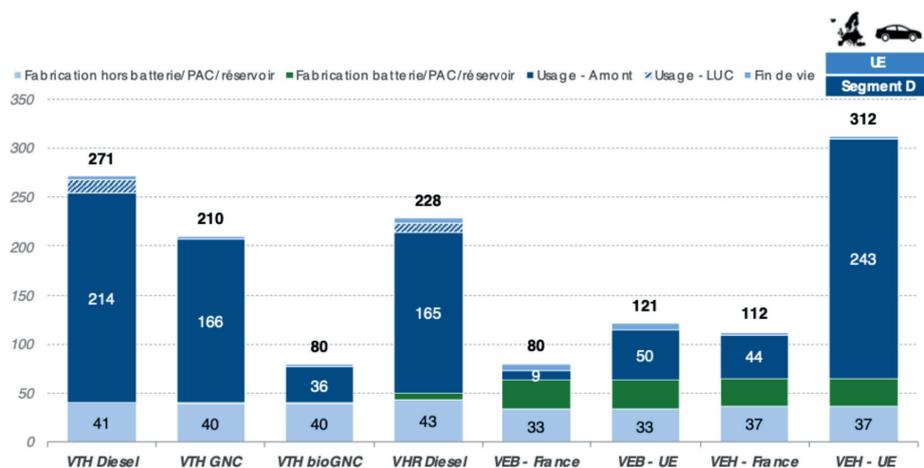
voient leur performance carbone peu varier d'un pays à l'autre, et restent ainsi les moins émissifs en règle générale.

Même dans un scénario favorable au VTH et défavorable au VEB, il n'y a pas d'inversion de la hiérarchie : quel que soit le type de véhicule, le VEB reste moins émissif que le VTH en cycle de vie, que ce dernier soit alimenté par des carburants pétroliers ou du gaz fossile.

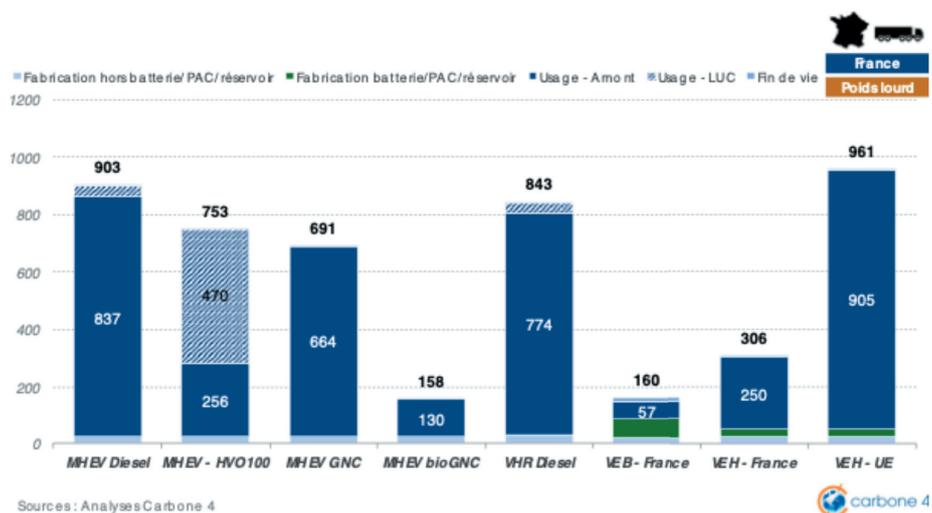
Cependant, le vecteur hydrogène n'a pas dit son dernier mot car le VEH présente des résultats tout à fait similaires sous certaines conditions, notamment de décarbonation du mix électrique. Mais avec le mix électrique actuel en Europe, la production par électrolyse conduit à des résultats très défavorables dans des pays comme l'Allemagne. A ce jour, la planche de salut pour l'hydrogène passe alors

¹ Les hypothèses utilisées, les résultats détaillés et les analyses de sensibilité sont disponibles dans notre publication détaillée. A noter que pour les véhicules thermiques, l'incorporation de biocarburants dans le gazole ou l'essence, de biométhane dans le GNC (Gaz Naturel Comprimé) est prise en compte.

Figure 1 : Empreinte carbone moyenne sur la durée de vie^{2,3} d'une voiture vendue en 2020, Europe - Segment D | gCO_{2e}/km



Empreinte carbone moyenne sur la durée de vie^{2,3} d'un tracteur routier vendu en 2030, France - Tracteur routier PTR4 40 t



soit par le vaporeformage de biométhane soit par l'électrolyse avec une électricité bas carbone (électrolyse en France ou avec de l'électricité renouvelable).

Néanmoins, face à ces solutions décarbonantes, il faut mettre en regard les ressources mobilisables, très variables selon les vecteurs et faisant face à une compétition forte des autres secteurs. Ainsi,

² VTH : Véhicule Thermique ; VHR : Véhicule Hybride Rechargeable ; VEB : Véhicule Électrique à Batterie ; VEH : Véhicule Électrique à Hydrogène (électrolyse) ; MHEV : Mild Hybrid Electric Vehicle ; GNC : Gaz Naturel pour Véhicule

³ Calculs effectués sur la durée de vie : pour un véhicule vendu en 2021, les émissions liées à son utilisation sont moyennées sur 12 ans, de 2021 à 2032, en tenant compte de l'évolution des vecteurs énergétiques sur la période.

le bioGNV ne peut prétendre à décarboner à lui seul la mobilité car sa disponibilité restera un obstacle majeur, même dans les hypothèses de potentiel les plus favorables. De même, la production d'hydrogène « vert » n'en est qu'à ses balbutiements. Enfin, les batteries des véhicules électriques s'appuient sur des ressources minérales qui ne sont ni infinies, ni mobilisables immédiatement.

Ainsi, l'électrification par batteries devrait représenter la majeure partie de la conversion du parc des VP / VUL, et ce d'autant plus fortement que la taille des batteries reste limitée. Les technologies basées sur le bioGNV et l'hydrogène « vert » doivent être vues comme des compléments au VEB, à flécher en priorité vers la mobilité lourde où les batteries atteignent leurs limites. Même dans ce cas, elles n'apporteront que des solutions partielles : selon nos calculs, 1/4 des PL européens au mieux pourra rouler avec 100% de bioGNV en 2050. Le bioGNV et l'hydrogène sont donc des solutions essentielles pour pallier les limites des véhicules à batteries, mais ne peuvent pas représenter une réponse à eux seuls pour la décarbonation du secteur.

Concernant les biocarburants liquides, ils contribueront peu à décarboner le transport routier, aux taux d'incorporation envisagés en Europe⁴. Le bénéfice carbone est marginal pour le bioéthanol et l'empreinte carbone empire souvent pour les biodiesels du fait des émissions liées au changement d'affectation des sols (cultures dédiées). Ce problème pourrait en partie être résolu par le développement des biocarburants dits avancés (lignocellulose des plantes, déchets), mais leur progression sera trop lente dans les 20 prochaines années pour faire la différence.

Au-delà de la motorisation, cette étude confirme l'importance de considérer l'ensemble du cycle de vie du véhicule dans l'analyse de l'empreinte carbone :

1. Le poids carbone de la fabrication et fin de vie des véhicules et équipements spécifiques (batteries, PAC, réservoirs) pour les technologies VEB et VEH peut être très significatif (jusqu'à 90% de l'empreinte totale pour un VEB en France !). Dès lors, il faut questionner la pertinence d'une réglementation européenne basée sur les émissions homologuées de CO₂ à l'échappement, sans tenir compte de l'ensemble du cycle de vie.

2. Nos travaux mettent en avant le rôle décisif que peut jouer la sobriété d'usage, au sens large. En se focalisant simplement sur les VP, des gains supplémentaires de l'ordre de 25%, toutes motorisations confondues, peuvent être obtenus sans révolution technologique, en adoptant simplement des hypothèses allant dans le sens de la sobriété (réduction des masses, durée de vie prolongée, arrêt de la course à la capacité des batteries)

Ainsi, un VEB de forte puissance emportant un pack batterie de 90 kWh ou plus (ex : SUV type Audi e-tron) peut générer dans un pays comme l'Allemagne des émissions en cycle de vie comparables, voire supérieures à un VTH de plus petite taille. La réglementation est dans ce cas parfaitement trompeuse car elle qualifiera le premier de vertueux, alors que le second sera pénalisé ... A l'aune de notre analyse, les autorités publiques doivent (i) reconsidérer les « règles du jeu » sur la mesure des émissions de CO₂ des véhicules neufs en Europe (VP/VUL et PL), pour éviter que ces règles supposément incitatives ne deviennent contre-productives, et

⁴ Au maximum 18% de bioéthanol et 11% de biodiesel en volume, dans notre scénario le plus ambitieux.

(ii) inciter à la sobriété d'usage avec des règles basées sur la masse des véhicules et la capacité des batteries.

Enfin, il est crucial de rappeler que la technologie seule ne permettra pas de réduire suffisamment nos émissions dans les prochaines décennies. Comme montré par nos calculs, un facteur 3 à 4 de réduction est atteignable via les technologies, une fois celles-ci largement diffusées. Or, il nous faudrait plutôt viser un facteur 5 à 6 pour réduire suffisamment nos émissions à l'horizon 2050. Par ailleurs, les solutions alternatives vues ici présentent pour beaucoup d'autres limites (potentiel) ou impacts qu'il faut aussi maîtriser au risque de tomber de Charybde en Scylla : conditions d'extraction des ressources minérales, artificialisation et changement d'usage des sols pour de la production végétale ou électrique, etc.

Pour ces multiples raisons, le prisme purement technologique est largement insuffisant pour penser la décarbonation de la mobilité. D'autres leviers de réduction particulièrement efficaces existent qu'il faut mobiliser en parallèle :

- réduire les flux à la source (nombre et portée des déplacements), pour les personnes et les marchandises
- mieux partager les VP (lutte contre l'auto-solisme) et mieux remplir les PL (éliminer les retours à vide, réduire les livraisons express non optimisées)
- favoriser le report modal vers les modes actifs et les transports collectifs (personnes) ou massifiés (marchandises), plus sobres en carbone, en fonction des situations.

Les colloques
de l' **URF**



PRÉPARONS LA MOBILITÉ DE DEMAIN

Union Routière de France
9, rue de Berri - 75008 Paris
01 44 13 37 17 - www.unionroutiere.fr

Retrouvez l'URF sur ses réseaux sociaux :

