

En route pour un transport durable



Mention spéciale :

Les parties prenantes qui ont contribué à cette étude ont partagé l'ambition d'établir, dans la transparence, un échange constructif sur les enjeux techniques, économiques et environnementaux liés au développement de l'électromobilité pour les particuliers. L'objectif étant d'évaluer les conditions à la réalisation de scénarii de rupture et les bénéfices qui en résulteraient. Chacune des parties prenantes a apporté sa connaissance des enjeux et sa vision. Les informations et les conclusions contenues dans ce rapport représentent la vision du groupe de travail et non nécessairement celle des sociétés et organisations prises individuellement.

Réalisation technique :

- Phil Summerton, Sophie Billington, Cambridge Econometrics
- Joris Besseling, Céline Cluzel, Alex Stewart, Element Energy
- Pierre Bidet, Nathalie Faure, Maxime Chammas, Artelys
- Coordination du projet :
- Pete Harrison, Abrial Gilbert-d'Halluin, European Climate Foundation



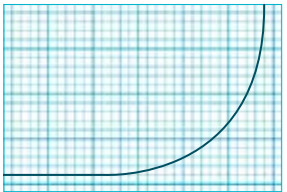
Ceci est un résumé du rapport technique "Fuelling France's Future", téléchargeable sur : <http://www.camecon.com/EnRoutePourUnTransportDurable.aspx>

Sommaire

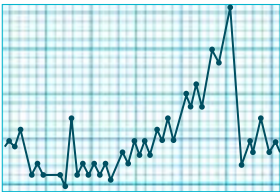
Méthodologie et bénéfices de la transition vers des véhicules bas-carbone en France en 2030	2
Impacts économiques des véhicules bas-carbone en 2030	3
Résumé	4
La France, motrice des investissements bas-carbone	6
Tendances et potentiels des technologies d'avenir	7
Infrastructures de recharge électrique et en hydrogène	8
L'automobiliste français, gagnant de la mobilité bas-carbone	11
Climat et qualité de l'air	12
Impacts sur la compétitivité du secteur automobile	14
Moins de pétrole pour plus d'emplois et de croissance	15
Références	16

Méthodologie et bénéfices de la transition vers des véhicules bas-carbone en France en 2030

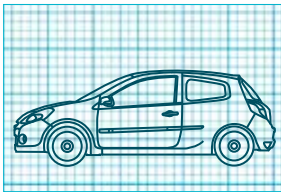
Données sur les coûts et potentiel des technologies bas-carbone
Source initiale : ACEA, CLEPA



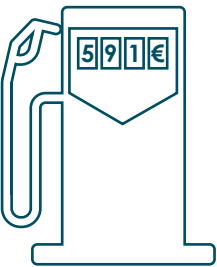
Projections de prix pour le pétrole, l'hydrogène et l'électricité
Source initiale : AIE, RTE



Données sur les habitudes automobiles et les ventes de véhicules
Source initiale : ICCT



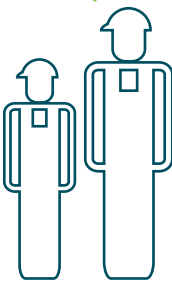
Projections sur l'activité économique française
Source initiale : European Commission (2013) PRIMES Reference Scenario 2013



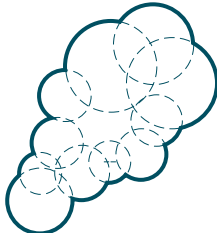
Réduction des dépenses en carburant de 591 € par automobiliste, par an en 2030



Dépenses évitées de pétrole qui restent dans l'économie française : 5,9 Mds € en 2030



Créations nettes d'emplois en France d'ici à 2030 : de 66000 à 71000



Réduction de CO2 en 2030 : 40%

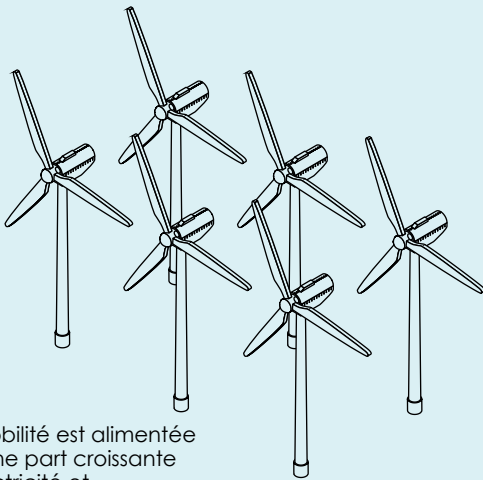


Réduction de NOx en 2030 : 72%

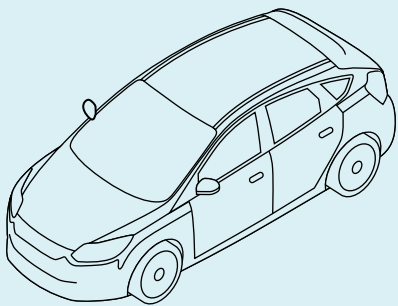


Réduction de PM en 2030 : 92%

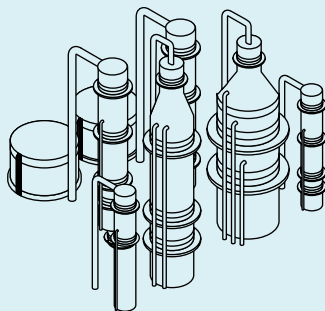
Impacts économiques des véhicules bas-carbone en 2030



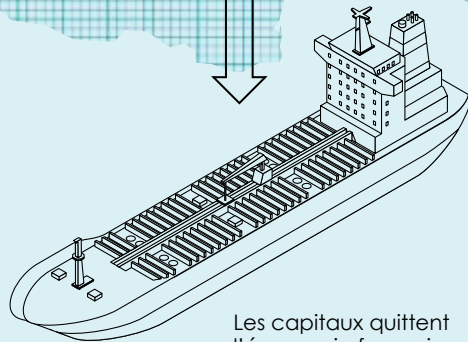
La mobilité est alimentée par une part croissante d'électricité et d'hydrogène produites localement, plutôt que par un pétrole importé. La valeur créée est de 3,1 Mds d'euros par an en 2030 pour les producteurs d'énergie français et les comptes publics.



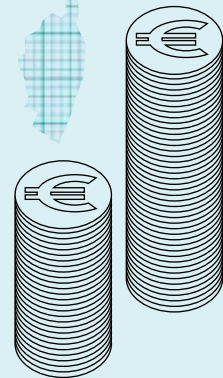
Le coût des technologies automobiles propres atteint 6,1 Mds d'euros en 2030. Le consommateur dépense plus pour ce surcoût mais cette valeur est recirculée dans l'économie et bénéficie aux entreprises françaises qui produisent ces technologies.



Les consommateurs dépensent moins d'argent dans les carburants ce qui a un impact sur les raffineurs et les distributeurs de produits pétroliers de 470 millions d'euros par an en 2030.



Les capitaux quittent l'économie française pour générer des revenus auprès des compagnies pétrolières implantées à l'étranger. Ce montant est réduit de 5,9 Mds d'euros par an en 2030.



La facture en carburant par automobiliste est allégée de 591 euros par an en 2030, ce qui compense le surcoût technologique en 2 à 3 ans. Cette réduction atteint 7680 euros sur la durée de vie moyenne d'un véhicule. 12,4 Mds d'euros sont dépensés ailleurs dans l'économie.

Quelle contribution des véhicules à faibles émissions à la transition énergétique française et la stratégie nationale bas-carbone ? A quelles conditions et pour quels bénéfices pour l'économie et l'emploi ? Comment accompagner la transition vers des véhicules décarbonés ? Comment la France et ses territoires peuvent-ils améliorer la qualité de l'air ?

Pour discuter ensemble de ces questions, le projet a rassemblé des industriels et des ONGs. Représentant le secteur automobile, Renault, Valeo, Michelin, Saft et Eurobat ont permis d'apporter une expertise précieuse sur les aspects technologiques. L'Association Française de l'Aluminium, European Aluminium et le groupe de chimie Lanxess ont instruit l'analyse sur les matériaux. Sur la partie énergie et infrastructures, l'examen des données a été réalisé par ERDF, Air Liquide et ABB. La société civile a été représentée par la FGMM CFDT, la Fondation Nicolas Hulot et la European Climate Foundation.

Les travaux ont permis de quantifier l'impact sur l'économie française de la transition vers des voitures et véhicules utilitaires plus efficaces énergétiquement, principalement alimentés par une électricité issue d'énergies renouvelables et par l'hydrogène. Après plusieurs mois d'analyses et d'échanges, le projet a démontré que la transition vers une mobilité à faibles émissions de carbone permet de générer d'importants co-bénéfices économiques, créant des emplois dans l'innovation technologique, tout en réduisant notre dépendance au pétrole. Pour que ces effets bénéfiques deviennent réalité, des instruments politiques et certaines conditions économiques sont nécessaires. Ils requièrent une collaboration étroite entre le gouvernement, les collectivités territoriales, l'industrie et la société civile.

Bien qu'il soit difficile d'évaluer précisément les impacts économiques induits, nous avons limité la marge d'incertitude des résultats en utilisant une série de données plutôt conservatrices, puis nous les avons testées selon plusieurs scénarii économiques.

Les données de coûts et le potentiel en performance de chaque technologie automobile bas-carbone s'appuient sur les données fournies par les associations des constructeurs et équipementiers européens de l'automobile (ACEA et CLEPA) et ont été examinées par les experts français du projet. Les projections de prix du pétrole sont fondées sur les travaux de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), les projections relatives à l'électricité, sur les travaux de la loi française de transition énergétique et l'hydrogène à partir des données d'Element Energy et de H2 mobilité France.

Le secteur du transport est soumis à une très forte dépendance au pétrole, à hauteur de 71%, dont la quasi-totalité est importée. **Pour chaque 100 euros dépensés pour un plein de carburant, 33 euros quittent la France au profit d'Etats producteurs et de compagnies pétrolières étrangères.** Il est donc possible de concilier la lutte contre

le changement climatique avec la création de nouveaux leviers économiques pour le pays. Le levier de la transition technologique doit être considéré comme une opportunité de créer de la richesse tout en réduisant la dépendance aux produits pétroliers.

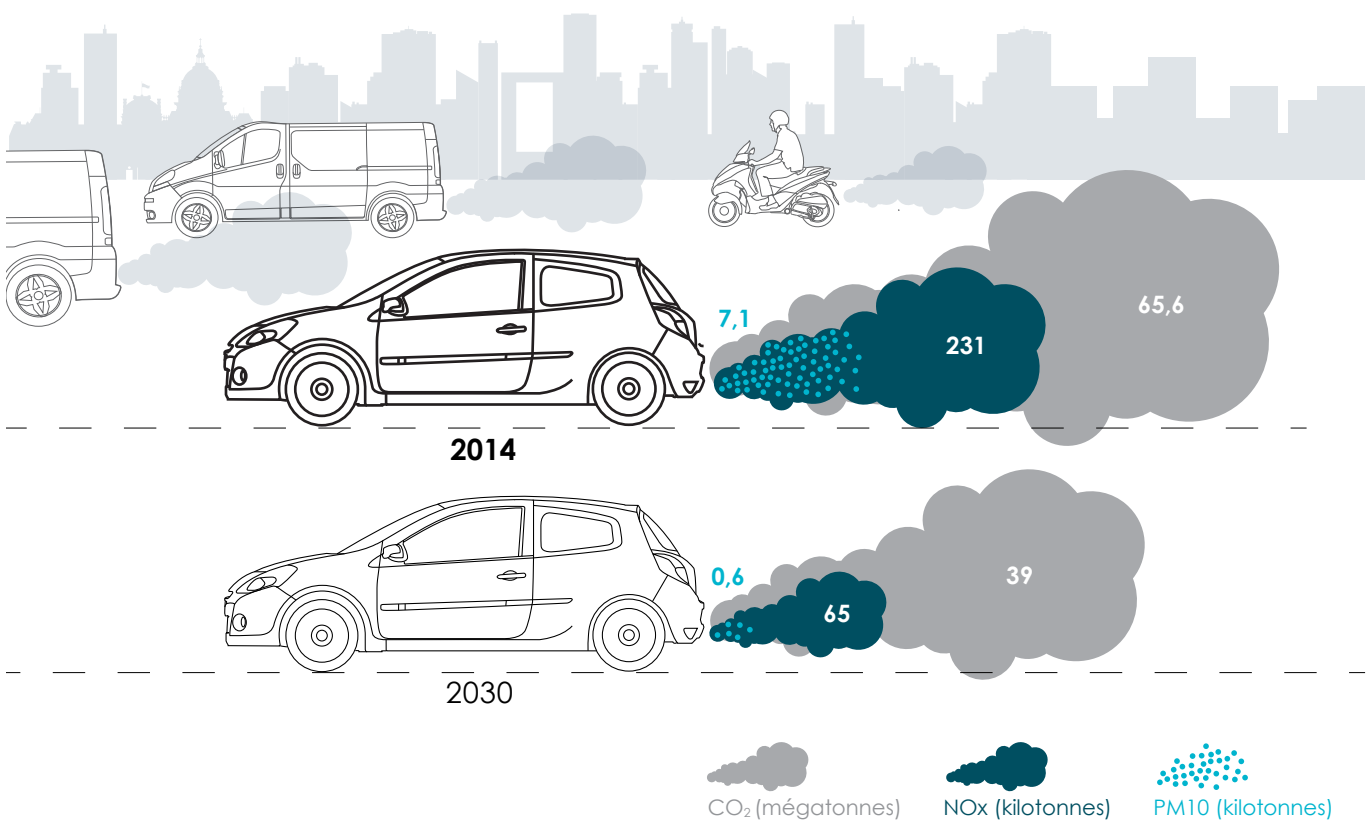
La transition vers des véhicules à faible consommation, et électriques avec un niveau d'électrification croissant, réduirait la sortie des capitaux de l'économie française. Elle permettrait aux ménages français d'alléger les dépenses liées à l'utilisation de leur véhicule, compensant ainsi le prix d'acquisition légèrement supérieur. En augmentant la part de l'énergie domestique, en particulier produite à partir des énergies renouvelables, la balance extérieure du pays se réduit, limitant l'exposition à la volatilité des prix du pétrole brut.

Les améliorations des véhicules conventionnels permettent déjà aux automobilistes de faire des économies. Les avancées dans l'optimisation des moteurs, le recours à des matériaux légers, des pneus plus efficaces énergétiquement et l'introduction graduelle de la propulsion électrique permettront d'accentuer la réduction des coûts.

En France, l'automobiliste français dépense en moyenne 1191 euros par an en carburant. **D'ici à 2030, utiliser un nouveau véhicule thermique ou hybride plus efficace énergétiquement coûterait à l'année 583 euros de moins que pour un véhicule moyen d'aujourd'hui.** Des économies plus importantes peuvent être réalisées avec les nouveaux véhicules électriques et hydrogène de gamme similaire : environ 1008 euros par an et par automobiliste sur les dépenses dédiées à la voiture. Toutefois, le montant des économies réalisées dépend fortement des choix du gouvernement français en matière de fiscalité des carburants et des sources d'énergie pour le transport. Suivie au niveau mondial, cette transition permettrait de diminuer les prix du pétrole brut, tout en permettant quelques points de croissance dans les économies importatrices, comme la France.

Le prix d'acquisition de ces véhicules techniquement plus avancés peut néanmoins s'avérer supérieur aux autres véhicules. **Le surcoût peut être entièrement compensé en quelques années par les économies réalisées à la pompe,** allégeant ainsi le budget voiture des ménages. Au niveau industriel, les innovations de la décarbonation peuvent permettre aux entreprises françaises de conserver une avance technologique déterminante par rapport aux compétiteurs mondiaux, donc d'accroître à terme leur chiffre d'affaire et les emplois.

A l'échelle nationale, d'ici à 2030, le coût total de renouvellement et d'alimentation du parc automobile en France et la distribution d'énergie associée devrait être de 12,4 milliards d'euros inférieur grâce à l'intégration des véhicules bas-carbone comparé à un parc automobile



circulant avec les technologies actuelles. Dans le cas où les prix du pétrole persistent aux niveaux de 2015, le coût serait de 6,4 milliards d'euros inférieur.

Dans leur ensemble, ces éléments sont susceptibles de renforcer l'économie française. **Le rapport montre que l'évolution du parc automobile vers des véhicules bas-carbone permettrait de créer 66 000 emplois en France d'ici à 2030,** au cours d'une période de transition dominée par les véhicules hybridés et électriques.

En outre, les émissions de CO₂ des voitures et véhicules utilitaires pourraient être réduites de 45% d'ici à 2030 et jusqu'à 90% d'ici à 2050. Dans ce cas, la pollution atmosphérique en lien avec les oxydes d'azote et les particules fines serait également fortement réduite, de 97% en 2050. **Les bénéfices pour la santé associés à une meilleure qualité de l'air sont estimés à 5,1 milliards d'euros pour l'économie française en 2030¹.**

L'analyse du projet a démontré que, si l'on s'oriente vers une gestion intelligente des systèmes de charge et un déploiement du solaire photovoltaïque associé à des solutions de stockage, le nombre de véhicules électriques modélisés dans le projet ne nécessiterait pas de capacités de production électrique additionnelles, notamment nucléaire et fossiles et faciliterait l'évolution vers un mix électrique plus décarboné.

Graphique 1
Baisses des émissions de CO₂ et des polluants atmosphériques des véhicules dans un scénario bas-carbone.
Sources : European Environmental Agency, Cambridge Econometrics

Cependant, cette transition bas-carbone ne se fera pas sans volonté politique : elle nécessite de travailler ensemble pour créer les conditions favorables à sa réalisation. Des investissements dans les infrastructures seront nécessaires ; la formation des employés est cruciale pour permettre à la France d'être compétitive ; il faut prévoir une formation ou une reconversion professionnelle pour ceux qui perdent leur emploi dans le secteur du raffinage ou des technologies qui n'auront plus cours.

La France, motrice des investissements bas-carbone



Après des débuts balbutiants, l'industrie automobile française moderne se développe après la première guerre mondiale. Un siècle plus tard, elle connaît une mutation importante marquée par des améliorations technologiques incontournables face aux défis climatiques. La recherche appliquée a ainsi permis de réduire la cylindrée d'un moteur tout en préservant ses performances et en émettant moins de polluants. Acteur incontournable de l'innovation en France, l'industrie automobile dépense environ 6 milliards d'euros par an en recherche et développement (R&D)².

La réforme du Crédit d'Impôt Recherche (CIR) et l'introduction du bonus-malus écologique en 2008 ont permis d'accompagner l'adaptation du secteur, plaçant la France, à l'instar des Pays-Bas et de la Norvège, dans le peloton de tête des pays qui ont diminué en moyenne les émissions de CO₂ du parc de véhicules légers. Le soutien affirmé de la puissance publique a donc permis d'orienter les investissements vers une stratégie bas-carbone à long terme. Les équipementiers consacrent par exemple une part importante de leur chiffre d'affaire aux dépenses de Recherche et Développement. A ce titre, Valeo a été le 5^{ème} déposant de brevets en France en 2014. La loi de transition énergétique promulguée en août 2015 renforce en ce sens les ambitions du gouvernement français en matière

d'électromobilité, sans négliger les atouts de la production hexagonale.

Renault a également investi 50 millions d'euros dans l'usine de Cléon en Normandie pour développer et produire les moteurs électriques de dernière génération qui équipent les modèles Zoé et Kangoo-ZE. Les batteries sont une partie stratégique de l'architecture des voitures électriques et l'hexagone compte déjà plusieurs sites de fabrication. Limités à ce jour, les volumes de production ont vocation à satisfaire la demande grandissante de la mobilité électrique.

La France dispose d'un savoir-faire tout à fait significatif pour le développement et la production de batteries lithium-ion. L'usine Saft de Nersac en Poitou-Charentes est le premier site industriel au monde à avoir produit en grandes séries des batteries lithium-ion pour l'automobile hybride, et a une vocation stratégique pour soutenir le transport durable. Au travers d'un process certifié ISO-TS (automobile), l'usine de Nersac offre la capacité de réaliser plusieurs milliers de véhicules électriques par an. Les investissements pour augmenter ces capacités sont liés à de tangibles perspectives quant à un réel essor de ce marché.

Tendances et potentiels des technologies d'avenir

La nécessité de maintenir les températures en-dessous du seuil de 2 degrés Celsius et d'améliorer la qualité de l'air en milieu urbain donne une indication claire sur la poursuite des politiques d'incitation aux investissements dans les technologies bas-carbone à mettre en oeuvre.

Dans ce projet, nous avons exploré l'impact des véhicules à faibles émissions en France en réalisant une série de scénarii. De nombreux experts pensent que les futurs véhicules seront alimentés par une variété de technologies bas-carbone, associées à des efforts d'allègement inscrits dans une dynamique d'économie circulaire. Ces technologies comprennent notamment les moteurs à combustion plus efficaces énergétiquement avec différents degrés d'hybridation, les véhicules électriques et les véhicules à hydrogène. Les scénarii ont été construits pour atteindre les objectifs de la loi française de transition énergétique, ainsi que les objectifs européens de réduction de 60% des émissions du transport d'ici à 2050.

Les véhicules électriques munis d'une batterie joueront certainement un rôle important dans la réduction des émissions de CO₂ et des polluants sur les routes françaises. Le déploiement futur des véhicules électriques rechargeables est difficile à prévoir, bien que 15 045 véhicules³ aient été vendus en 2014. Comparées aux analyses déjà existantes, les estimations de ventes du scénario central de l'étude se situent dans une fourchette moyenne. Les ventes de véhicules électriques représentent environ 5% en 2020 des ventes de voitures et véhicules utilitaires neufs et augmentent jusqu'à 30% en 2030 et 65% en 2050. A plus longue échéance, les moteurs électriques pourront être alimentés par la conversion d'hydrogène dans les piles à combustible. La commercialisation de ce type de véhicule est déjà en cours. Le scénario central de déploiement estime les ventes de véhicules à hydrogène entre 7% en 2030 et 25% en 2050.

Les véhicules électriques sont une option de la mobilité bas-carbone dans laquelle le secteur de l'automobile investit et innove. De grands progrès ont été réalisés pour améliorer l'efficacité énergétique des moteurs à combustion interne. La technologie stop and start est la première étape à l'amélioration des types de propulsion électrique. De nombreuses technologies hybrides déjà compétitives sont aujourd'hui disponibles sur le marché de l'automobile et d'autres feront leur entrée. Le scénario de l'étude considère que les véhicules hybrides représenteront 20% des ventes françaises en 2020 et 42% en 2030.

Tous les véhicules quel que soit leur type de motorisation peuvent être plus efficaces sur le plan énergétique en réduisant leur poids, la résistance au roulement et en

améliorant l'aérodynamisme. Dans la voiture d'aujourd'hui, environ un plein de carburant sur cinq en moyenne est consommé dû aux conditions actuelles de résistance aux frottements. Les équipementiers développent de nouvelles tailles de pneus, en hauteur et en largeur qui, couplées avec une architecture interne novatrice des plateformes et des matériaux légers permettent une nette diminution de la résistance au sol et à l'air.

Les projections de l'étude permettent d'envisager un gain énergétique d'environ 15% en 2030 et jusqu'à 25% en 2050, seulement par une réduction de la masse des véhicules. Des procédés d'allègement sont déjà réalisés sur les sièges, le vitrage, les composants intérieurs, et par l'utilisation accrue de l'aluminium et des aciers à haute résistance, combinés de métal et de composés plastiques de haute-technologies pour les structures et les carrosseries de véhicules. Les composants relatifs au groupe propulsion, au système d'essuyage et d'éclairages bénéficient également de ces procédés. Dans le cas des voitures électriques, déjà efficaces énergétiquement, ces gains se traduisent par une meilleure autonomie des batteries.

A moyen et long terme, des réductions de poids plus importantes, de l'ordre de 30% à 40%, sont réalisables par l'allègement de la structure de la carrosserie, au moyen de l'aluminium et un recours plus important aux résines plastiques renforcées par des fibres. Légèrement plus lourd que la fibre carbone, le plastique renforcé par des fibres de verre bénéficie de coûts de production et d'un prix de la matière première largement inférieurs, ce qui rend viable sa production de masse. Les matériaux d'allègement peuvent permettre à eux seuls de réduire les dépenses de carburants de 1580 euros sur la durée de vie du véhicule d'ici à 2030, en augmentant les coûts de production d'un véhicule moyen de seulement 220 euros.

L'utilisation de matériaux ultralégers est en hausse et fait de plus en plus partie des stratégies de réduction de CO₂ des constructeurs automobiles. Une réglementation favorable à l'allègement des véhicules permettrait de réduire de 16% le coût total nécessaire pour atteindre les normes européennes d'émissions de CO₂ sur la période 2020-2030, selon une étude récente réalisée par Ricardo-AEA⁴.

Infrastructures de recharge électrique et en hydrogène

Le déploiement des véhicules bas-carbone nécessite la mise en place d'infrastructures de recharge adaptées à l'échelle de la région ou du territoire national. Cela inclut la recharge à domicile, l'installation de bornes de recharge électrique accélérée et rapide et de postes de recharge en hydrogène pour les véhicules avec piles à combustible. Mises en place dans le cadre du plan automobile et de la loi française de transition énergétique, les mesures de soutien à l'installation des bornes de recharge devraient permettre de renforcer le maillage territorial tout en accompagnant le développement de la mobilité électrique. En France, le déploiement de bornes électriques publiques multistandard accélérées et rapides a commencé depuis l'année dernière et les projets publics incluant ces types de bornes se sont multipliés en 2015. Il est à ce titre important de prendre en compte l'évolution des usages liés à la recharge électrique et en hydrogène pour organiser au mieux ce développement.

Afin d'évaluer au mieux les infrastructures de recharge nécessaires pour soutenir la transition vers des véhicules bas-carbone, nous avons considéré un scénario en deux étapes. Sur l'ensemble de la période de l'étude, le déploiement des points de recharge électrique est dominé par l'installation de Wallbox dans les logements individuels et collectifs. En parallèle, un déploiement important des

bornes de recharge publiques est mis en place afin de soutenir la baisse des coûts de l'infrastructure. La distribution en hydrogène reste relativement centralisée ou identique dans les différents scénarii.

L'installation à domicile d'une borne permet une charge dite normale. En fonction de la taille de la batterie, entre 4 et 10 heures sont nécessaires pour recharger le véhicule au maximum, quel que soit le type de la prise de courant. En fonction de la taille de la batterie, le temps de charge peut évoluer. Au bureau et dans les parkings une charge normale est d'abord privilégiée mais l'étude considère un déploiement des bornes de recharge accélérée dès 2020, avec un chargement possible en 1 heure environ. Sur les autoroutes, les voies rapides et les points de passage bénéficiant d'une fréquentation importante, des bornes rapides sont installées. Elles permettent une charge en 30 minutes environ. La plupart des projets publics de déploiement de points de recharge électrique incluent déjà à ce jour 5 à 15% de bornes accélérées et rapides.

Après 2025, l'augmentation du nombre d'utilisateurs des bornes de recharge accélérée et rapide devrait permettre le développement de modèles de gestion privée menant à une augmentation du nombre de points de recharge disponibles. Compte-tenu de l'évolution de la taille des

batteries des véhicules et de la baisse des coûts, le pourcentage que représentera ces types de bornes devrait aller croissant. A ce titre, qu'elles soient de recharge électrique ou en hydrogène, le taux d'utilisation des bornes est un élément déterminant de la rentabilité de ces infrastructures.

Le déploiement des infrastructures de recharge en hydrogène devrait aller de pair avec l'entrée sur le marché automobile des véhicules équipés de piles à combustible. Le coût des bornes de recharge, par exemple installées dans les stations-service, devrait être réduit de 50% d'ici à 2030 grâce aux économies d'échelle et une amélioration de la chaîne de distribution du combustible. Selon les projections du scénario de l'étude, 600 stations de recharge en hydrogène devraient être installées d'ici à 2030 en France.

Les coûts des infrastructures de recharge à domicile ou au bureau sont couverts par les propriétaires des véhicules électriques. Alors que l'installation des bornes de recharge électrique et en hydrogène sur la voie publique nécessite un investissement de l'Etat et des collectivités territoriales. Leur déploiement devrait ainsi se poursuivre sur la base de collaborations entre les différents acteurs privés et publics, en privilégiant des technologies compatibles avec une gestion intelligente de la demande énergétique.

Synergies entre véhicules et systèmes électriques

L'évolution vers l'électrification des véhicules crée des défis et des opportunités pour le système électrique français. S'il est mal géré, ce changement peut induire de lourds investissements pour accroître les capacités de production d'énergie et pour renforcer les réseaux de transport et de distribution électrique. Mais dans le cas où la charge électrique est pilotée, les véhicules électriques peuvent aider les fournisseurs d'énergie et les opérateurs de réseaux à mieux gérer les déséquilibres entre l'offre et la demande. Cela est possible en chargeant ou en redistribuant une partie de l'électricité stockée dans les batteries. Les véhicules électriques peuvent également contribuer à maîtriser les surcharges, les niveaux de tension et la fréquence électrique en absorbant les surplus d'énergies renouvelables. Cette meilleure gestion est une condition nécessaire pour ne pas recourir à des capacités de production additionnelles au moment des pics de demande.

Dans ce projet, nous avons estimé le nombre maximum de véhicules électriques qu'il est possible de déployer en France sans installer de nouvelles capacités de production électrique. Nous avons également estimé les coûts potentiels de renforcement du réseau de distribution, rendus nécessaires par le déploiement des véhicules électriques. Afin d'avoir une connaissance approfondie de l'ensemble des impacts de la transition vers des véhicules à très faibles émissions sur le système électrique français, ces coûts ont été



comparés à la valeur des synergies potentiellement créées par la recharge intelligente.

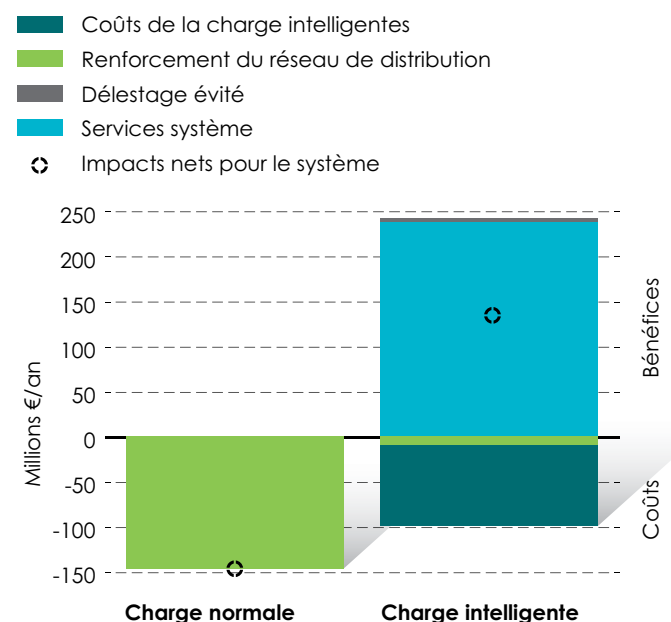
Un modèle qui prend en compte les départs et les arrivées des véhicules a été utilisé pour observer les heures pendant lesquelles la plupart des véhicules circulent et les heures pendant lesquelles la grande partie des véhicules sont branchés au réseau, prêts à être chargés. Dans un système non géré, la charge, dite normale, interviendrait principalement après les heures matinales de pointe, lorsque les voitures sont branchées sur le lieu de travail, ou juste après les heures de pointe de fin de journée, lorsque les véhicules sont branchés à la maison.

A l'opposé, la charge pilotée, dite intelligente, interviendrait en utilisant les technologies qui permettent aux gestionnaires des réseaux de distribution d'électricité d'optimiser le chargement lors de plages horaires compatibles avec les besoins du système électrique. Dans ce cas, les charges du matin pourraient être maîtrisées et étendues aux heures de travail, pour absorber les surplus de l'énergie solaire, alors qu'en soirée, elles pourraient être déplacées pendant la nuit, intégrant les surplus de l'énergie éolienne.

Le stockage de l'hydrogène, par exemple produit par électrolyse, peut également être un levier complémentaire pour intégrer les énergies renouvelables aux réseaux de



Graphique 2
Coûts et bénéfices de l'intégration des véhicules rechargeables dans les réseaux de distribution d'électricité en France.
 Source : Element Energy



distribution électrique. Un stockage en bouteille de 5 kilos d'hydrogène permettrait, par exemple, d'intégrer 300 kWh électrique en prenant en compte les rendements de compression et de l'électrolyse. Bien que ce sujet n'ait pas été traité dans cette étude, l'électricité stockée ou produite pourrait par ailleurs servir à réapprovisionner les réseaux de distribution électrique.

L'analyse du projet a ainsi démontré que, si l'on s'oriente vers une gestion intelligente des systèmes de charge et un déploiement du solaire photovoltaïque associé à des solutions de stockage, le nombre de véhicules électriques modélisés dans le projet ne nécessiterait pas de capacités de production électrique additionnelles, notamment nucléaire et fossiles et faciliterait l'évolution vers un mix électrique plus décarboné.

Des calculs ont également été réalisés afin de quantifier l'impact de la réduction des besoins de renforcement des réseaux de distribution et les effets des services aux réseaux électriques, qualifiés ici de services système. Ces estimations

sont fondées sur des coûts et des bénéfices annualisés et supposent une valeur de ces services égale aux prix actuels. En France, la charge normale permettrait ainsi d'intégrer jusqu'à 4 millions de véhicules électriques sans avoir recours à des capacités de production supplémentaires alors qu'une gestion intelligente de la charge permettrait d'en intégrer plus de 20 millions. Un parc de 4 millions de véhicules électriques pourrait générer près de 228 millions d'euros par an de bénéfices pour le système en 2030. Dans les deux cas, cela suppose que des lignes de distribution électrique supplémentaires soient construites pour subvenir aux besoins énergétiques des véhicules. Néanmoins, seulement 10 millions d'euros par an en 2030 devraient être mobilisés en cas de gestion intelligente de la demande électrique, comparés aux 150 millions d'euros pour la charge normale.

Lorsque tous les coûts et les avantages décrits ci-dessus sont combinés, la gestion intelligente du chargement des véhicules électriques peut contribuer à créer un bénéfice net de 125 millions d'euros en 2030 pour le système énergétique, tout en permettant une plus grande intégration des énergies renouvelables⁵.

Ramené au nombre de véhicules du scénario central de l'étude cela représente un bénéfice de 30 à 50 euros par an et par automobiliste. En trouvant un moyen efficace de monétiser leur mise à disposition, ces services réduiraient le coût total de propriété et procureraient des services bénéfiques au réseau sans besoin important d'améliorer l'infrastructure. Néanmoins, le modèle commercial de mise à disposition de ces services dépend de la manière dont la conception du marché et la réglementation des gestionnaires et opérateurs de réseaux de transmission et de distribution d'électricité évoluent.

L'automobiliste français, gagnant de la mobilité bas-carbone



Bien que l'évolution des prix des carburants à la pompe soit difficile à anticiper (notamment, le prix du baril brut et l'évolution des taxes qui représentent aujourd'hui de l'ordre de 60% du prix final), ce projet utilise une série de projections. Il montre que le coût d'usage d'une voiture pour l'automobiliste français sera réduit dans tous les scénarii bas-carbone, comparé à la situation actuelle. L'ajout de technologies pour réduire la consommation de carburant augmente le coût des nouvelles voitures, mais cela est plus que compensé en quelques années par la réduction des dépenses en carburant, avec des économies significatives sur la durée de vie de la voiture.

Certaines études ont montré qu'à l'achat les automobilistes sous-estiment les économies futures en carburant. Cependant un sondage récent⁶ sur les acheteurs potentiels montre qu'un tiers d'entre eux sont prêts à payer entre 1000 et 2000 euros de plus pour une voiture hybride, et plus d'un quart sont prêts à payer 2000 euros et plus.

Les véhicules conventionnels contiennent d'ores et déjà un niveau croissant de composants électriques. Par exemple, la technologie stop and start est aujourd'hui utilisée par presque tous les constructeurs et certains types de semi-hybrides se généralisent.

Dans le scénario central, le coût de production des véhicules plus efficaces sur le plan énergétique augmenterait de 2166 euros pour une nouvelle voiture en 2030 comparé aux coûts d'aujourd'hui, mais la facture énergétique de la voiture serait réduite, en moyenne de 591 euros par an, une économie allant jusqu'à 7681 euros sur la durée de vie du véhicule. Le nombre de kilomètres parcourus pendant les premières années après l'achat est très supérieur aux années suivantes⁷, cela contribue à accélérer le retour sur investissement des technologies d'efficacité énergétique. En conséquence, le retour sur investissement de l'automobiliste français moyen dans des véhicules équipés des technologies d'économie d'énergie intervient en 2,2 ans.

Les véhicules électriques et à hydrogène offrent une configuration de propriété différente, avec un solde du prix d'achat plus important mais des coûts de fonctionnement inférieurs. C'est pourquoi, il est intéressant de tenir compte non seulement du coût à l'achat mais de l'ensemble des dépenses réalisées sur la période d'usage du véhicule. Bien que l'auto-partage et le covoiturage n'aient pas été intégrés quantitativement à l'analyse, ceux-ci contribuent également à diminuer les coûts de la mobilité pour les citoyens français.

L'étude montre que le coût total de propriété d'une voiture électrique comparé à celui d'une voiture conventionnelle est à parité dès 2025.

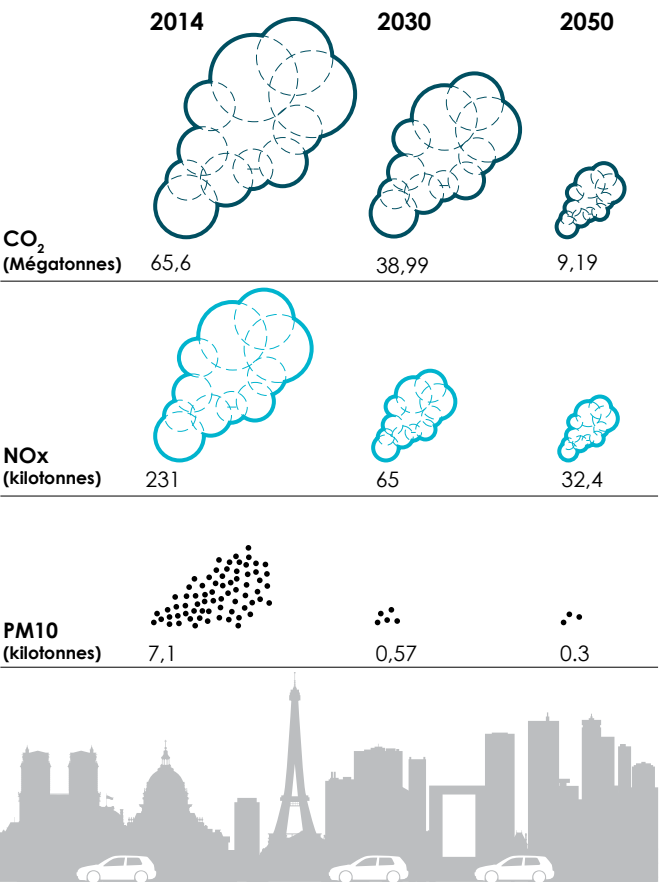
Les chiffres ci-dessus présentent les économies réalisées si les prix du pétrole suivent les prévisions de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE). Dans la réalité, les prix des produits pétroliers peuvent être inférieurs, ce qui dans ce cas diminue les économies réalisées sur la facture de carburant. Cependant, l'étude envisage un scénario de prix du pétrole de 30% inférieur aux projections de l'AIE. Il en résulte que le surcoût des véhicules bas-carbone serait toujours amorti par la baisse des dépenses en carburant dans la 3^{ème} année de la durée de vie d'un véhicule moyen.

L'électrification des voitures est en elle-même suffisante pour réduire les prix du pétrole. Les mesures d'efficacité énergétique ont fait diminuer la consommation en produits pétroliers. Par exemple, l'économie américaine a grimpé de 8,9% depuis 2007, alors que la demande en produits pétroliers finaux a diminué de 10,5%⁸. Les américains du nord conduisent moins et choisissent des véhicules moins gourmands en énergie. A l'inverse, en l'absence de telles politiques, le monde aurait eu besoin d'exploiter des volumes de pétrole bien plus importants, avec une pression accrue sur les prix.

La continuité de l'action politique contribuera à relâcher cette pression. Une action concertée menée par un groupe de pays à l'économie développée suffirait pour en ressentir les effets ; un accord décidé au niveau global aurait un impact encore plus important. Selon l'AIE, un scénario qui tend à limiter l'augmentation des températures à 2°C en-dessous de leurs niveaux préindustriels pourrait diminuer les prix du pétrole jusqu'à 35% d'ici à 2040⁹. Plusieurs recherches réalisées par la New Climate Economy¹⁰ indiquent que ces effets pourraient mener à une réduction des prix jusqu'à 50%.

De cette façon, les automobilistes qui conduisent des véhicules bas-carbone aident également les conducteurs des voitures à moteurs thermiques, en contribuant à la baisse de leurs dépenses en carburant.

Graphique 3
Les émissions de CO₂, NOx et de particules sont très largement réduites entre aujourd'hui et 2050 dans un scénario bas-carbone.
Sources : European Environmental Agency, Cambridge Econometrics



Pour éviter un réchauffement de la planète de plus de 2 degrés Celsius et les conséquences désastreuses du changement climatique, il est largement admis que l'ensemble des émissions doivent être réduites d'au moins 80% en dessous des niveaux de 1990 d'ici à 2050. Étant donné l'ampleur du défi que de telles réductions représentent pour les secteurs du transport, il sera nécessaire de compenser en permettant que les voitures et véhicules utilitaires soient presque entièrement décarbonés d'ici à 2050.

En considérant que la durée de vie des véhicules en France est de 14,5 ans, cela suggère qu'aux alentours de 2035, toutes les ventes de nouveaux véhicules devront être pratiquement zéro-émission à l'échappement, si nous voulons rester sur la voie de nos objectifs climatiques. En conséquence, une transformation profonde doit être opérée au sein du parc de véhicules. Le passage aux technologies bas-carbone telles que décrites dans cette étude réduirait de manière substantielle les émissions de CO₂ de 40% en 2030 et de 86% en 2050¹¹.

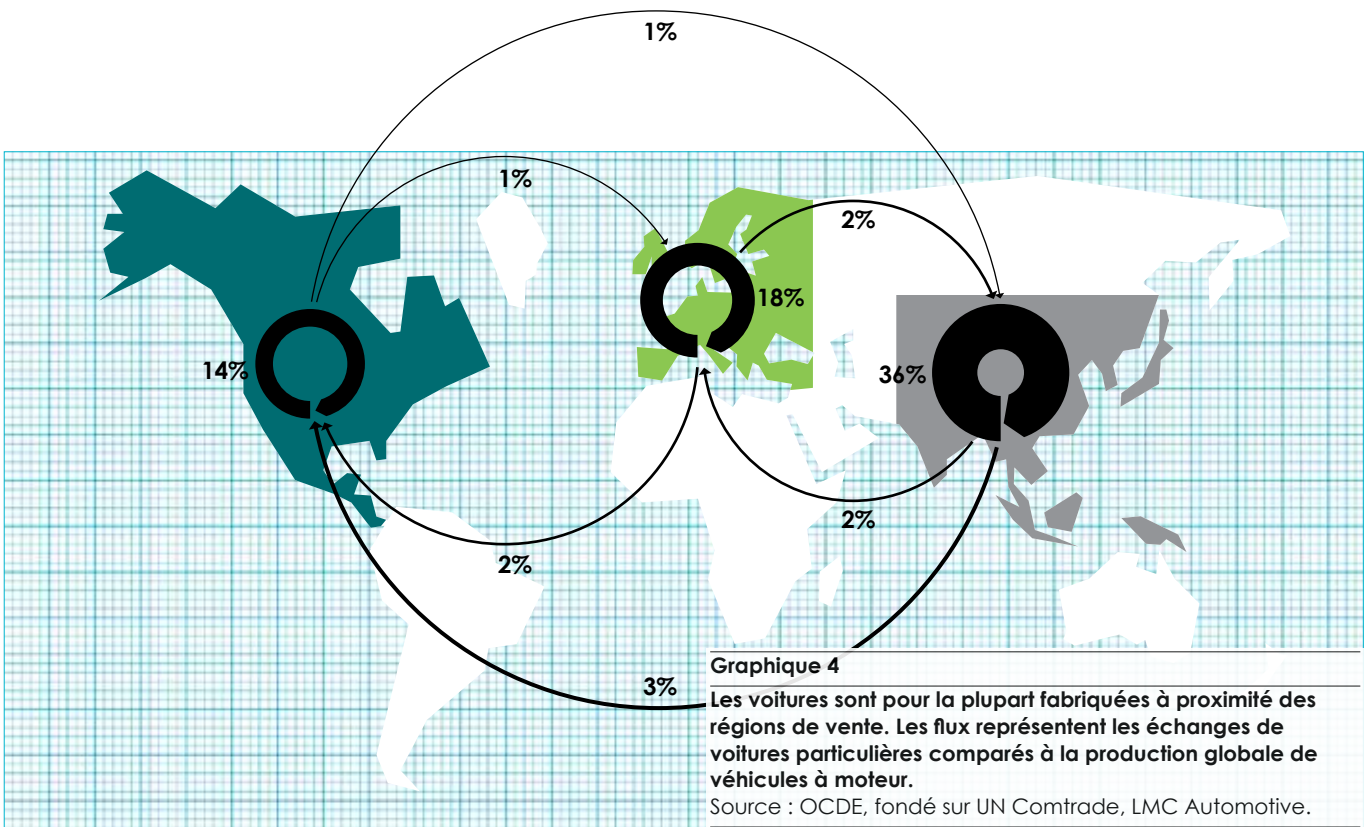
Lors de la combustion des carburants, les voitures produisent également des nitrates (NOx) et des particules. En forte concentration, ces polluants atmosphériques ont des conséquences néfastes pour la santé humaine. Les estimations actuelles sont de 983 000 tonnes de NOx et d'environ 270 000 tonnes de particules émises chaque année en France.¹² L'ozone, polluant secondaire car issu de la transformation chimique dans l'atmosphère des oxydes d'azote avec les composés organiques présente également un impact sanitaire ainsi que sur le rendement des cultures. Les technologies de décarbonation conduisent à diminuer la consommation de carburants fossiles, réduisant ainsi la production des NOx et de particules issus de la combustion. La transition vers des technologies bas-carbone pour les véhicules telles que décrites dans cette étude réduirait les émissions de NOx par 72% en 2030 et par 86% en 2050. En clair, la décarbonation aurait des effets bénéfiques pour réduire efficacement les émissions directes de NOx du pot d'échappement des véhicules.

Dans le scénario de référence, où aucune des technologies bas-carbone n'est déployée, les émissions de NOx sont jusqu'à 63% inférieures en 2050 du fait de la mise en place des standards sur les polluants atmosphériques Euro 5 et Euro 6. Cependant, ces réductions sont moins certaines et de moins grande ampleur que celles réalisées grâce aux technologies du scénario technologies bas-carbone qui inclut un grand nombre de véhicules qui n'émettent pas en roulage et qui émettent peu à la production d'énergie si elle est d'origine renouvelable.

Les particules (PM10 et plus petites) ont également un effet sur la santé humaine. Les estimations montrent qu'elles ont été responsables de 458 000 décès prématurés en Europe en 2011.¹³ L'Agence Européenne pour l'Environnement estime que 90 à 95% de la population urbaine en Europe serait exposée à des niveaux de PM10 au-dessus de ceux prescrits par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en moyenne annuelle, alors que seule 10 à 14% a été exposée à des concentrations de PM10 au-dessus des valeurs limites réglementaires. Le passage à des technologies bas-carbone, telles que décrites dans l'étude, réduirait fortement les émissions de particules à l'échappement issues du transport routier (véhicules particuliers) de 92% en 2030 et de 96% en 2050.

Tous les véhicules ont une empreinte carbone. Les différentes études d'Analyse du Cycle de Vie (ACV) démontrent une empreinte carbone plus faible pour les véhicules hybrides, électriques et hydrogène comparativement à des véhicules thermiques conventionnels. Cette empreinte diminuera avec le déploiement des énergies renouvelables et les progrès technologiques, tels que l'augmentation de la densité des batteries, les solutions de recyclage des matériaux et l'amélioration des processus de fabrication.

Impacts sur la compétitivité du secteur automobile



L'industrie manufacturière automobile évolue dans un marché global. Étant donnés les volumes et les dimensions des voitures, la logistique représente un coût non négligeable, que les moyens soient routier, ferroviaire ou maritime. Les constructeurs localisent donc généralement les chaînes de production à proximité du marché de vente. Par exemple, la quantité de voitures physiquement assemblées en Asie, puis importées en Europe représente 2% du commerce automobile mondial, quand les importations de voitures américaines vers l'Europe représentent à peine 1%.¹⁴

De même, les équipementiers automobiles installent généralement leurs sites de production à proximité des usines d'assemblage des constructeurs.¹⁵ La France compte plus de 628 sociétés équipementières qui équivalent à 75% de la valeur du produit final de l'industrie des véhicules.¹⁶ En complément, les industries plastiques et chimiques jouent un rôle important dans la fourniture de matériaux innovants et de solutions techniques pour aller vers une mobilité à faibles émissions de carbone.

En Europe, les importations depuis des pays non-européens représentent une partie relativement faible de l'approvisionnement. Les données du commerce indiquent que le total des importations de véhicules légers à moteurs en Europe était d'environ 28 milliards d'euros en 2013 comparé à un marché du véhicule neuf en Europe proche de 470 milliards d'euros. La même année, les exportations européennes de véhicules à moteur représentaient 123 milliards d'euros¹⁷ et 40 milliards d'euros¹⁸ pour ceux fabriqués en France. Alors qu'au niveau individuel, les constructeurs perçoivent les changements de marché durant la transition vers une économie bas-carbone, les variations pour

l'ensemble du secteur de la construction automobile en Europe devraient être plutôt limitées.

Il est intéressant de noter que la majeure partie de la valeur ajoutée générée par les constructeurs automobiles revient aux salariés à travers la chaîne d'approvisionnement et non pas aux employeurs. Il est donc important de considérer la localisation de la production des véhicules et de ses composants, plutôt que le siège social de la compagnie propriétaire de la production. Un des défis majeurs de l'industrie automobile est d'ores et déjà d'anticiper les besoins de compétences et de préparer les investissements nécessaires à un plein développement de ses filières industrielles.

Les investissements réalisés dans les technologies d'amélioration des véhicules à combustion ont déjà permis aux constructeurs et équipementiers français de se situer à l'avant-garde de l'innovation mondiale. Pendant la transition vers un transport bas-carbone, des investissements supplémentaires doivent être réalisés dans les technologies, par exemple dans l'hybridation partielle des moteurs. Les véhicules 100% électriques, par exemple chargés grâce à l'énergie renouvelable, fournissent la solution ultime de la mobilité à très faibles émissions; un secteur où les constructeurs français ont déjà pris une longueur d'avance.

En résumé, la transition vers un air plus pur et une société décarbonée aidera les constructeurs à rester à la pointe de l'innovation mondiale. Il est à présent nécessaire de préserver un climat de stabilité propice à l'investissement et de stimuler la collaboration entre les différents acteurs impliqués dans la transition vers une mobilité à faibles émissions de carbone.

Moins de pétrole pour plus d'emplois et de croissance

La France est fortement importatrice de pétrole. Plus de 51 millions de tonnes de pétrole brut ont été importées en France en 2014. Comparée au secteur des véhicules à moteur et à d'autres secteurs de l'économie française qui bénéficient d'une redistribution des économies des ménages réalisées sur les dépenses de la voiture, la chaîne de valeur associée à l'essence et au diesel revêt deux caractéristiques principales. Elle a une faible densité de main-d'œuvre, ce qui signifie que pour chaque million d'euros dépensés en carburants routiers, relativement peu d'emplois sont créés; 60% de la chaîne de valeur est située en dehors du territoire français, ce qui signifie que la plupart des dépenses en essence et en diesel (hors taxes) sortent de l'économie.

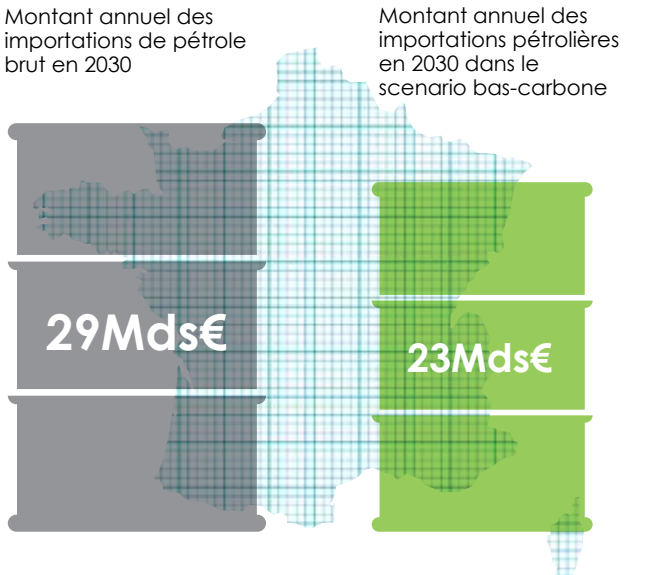
En déployant un parc de véhicules bas-carbone, les coûts de production à l'échelle nationale sont réduits. Ceci est également le cas avec plusieurs scénarii de prix du pétrole. Le graphique 5 montre que la facture énergétique des voitures et véhicules utilitaires augmenterait jusqu'en 2030 si aucun investissement n'est réalisé dans les technologies pour réduire les émissions. En 2030, la France dépensera 10,4 milliards d'euros de plus en carburants routiers, si les prix du pétrole restent proches des estimations de l'AIE.

Dans le scénario technologies bas-carbone du projet, tous les nouveaux véhicules à combustion interne seront plus légers et optimisés d'ici à 2030, et la plupart utiliseront l'énergie de freinage pour une meilleure efficacité. Les véhicules à propulsion électrique feront bon usage de chaînes moteurs électriques encore plus performantes. En conséquence, les gains d'efficacité énergétique sont importants; d'ici à 2030 la facture française en carburants automobiles sera de 5,7 milliards d'euros inférieure, c'est à dire 41% de moins comparée à une situation qui ne compte aucun investissement dans les technologies bas-carbone.

Permettre au parc de véhicules en France d'être moins coûteux à exploiter entraînerait une augmentation des dépenses dans d'autres domaines de l'économie française. Le passage à de l'électricité et de l'hydrogène produits localement permettrait de reporter la part des dépenses énergétiques consacrée aux véhicules sur l'offre des entreprises françaises, afin de réalimenter l'économie nationale. Ainsi, la transition vers les véhicules bas-carbone correspond à une réorientation des investissements dans les énergies fossiles, à faible valeur ajoutée, vers les chaînes de valeur électriques et hydrogène et vers des véhicules qui génèrent des retombées économiques relativement plus importantes en France.

En parallèle, des investissements seront nécessaires pour construire les infrastructures de recharge. Dans le scénario technologies bas-carbone, le coût du capital agrégé augmentera de 1,8 milliards d'euros d'ici à 2030 (hors taxes), comparé à un futur où le parc continue de rouler avec les technologies actuelles. Alors que ces fonds représentent un coût pour le consommateur, ils

Graphique 5
Dépenses françaises en carburants automobiles en 2030 selon deux scénarii de déploiement technologique.
Source : Cambridge Econometrics



représentent également une source de revenus pour la chaîne de valeur automobile.

Le développement des filières industrielles repose sur plusieurs domaines technologiques qui évoluent en fonction des investissements réalisés. En France, l'amélioration des performances environnementales des véhicules conventionnels, le déploiement des véhicules bas-carbone tels que décrits précédemment et l'utilisation de matériaux légers nécessitent le recrutement d'une main-d'œuvre spécialisée et la formation des personnels en poste. Le recyclage des véhicules bas-carbone constituera également une étape décisive pour la réduction des émissions de la chaîne de valeur du transport, tout en étant source d'emplois. Selon une étude de l'Observatoire Paritaire de la Métallurgie, les compétences nécessaires pour réaliser cette transition se situent aux niveaux BAC + 3 et BAC + 5.¹⁹

En utilisant le modèle macro-économique E3ME, nous avons estimé les impacts nets qui surviennent par la modification des échanges économiques.

L'effet net de la réduction des dépenses en pétrole et diesel ; des dépenses plus importantes dans une électricité produite localement et dans le combustible hydrogène ; et des dépenses supérieures dans les véhicules se traduisent par une augmentation du PIB français de 0,2% à 0,4% en 2030. Ce taux de croissance est étroitement lié au choix du gouvernement français de compenser ou non la baisse de revenus des taxes sur les carburants routiers.

Dépenser plus pour les véhicules, moins pour les énergies fossiles importées, et plus encore dans d'autres filières de l'économie conduisent à des créations nettes d'emplois de 66 000 à 71 000 en France d'ici à 2030.

1

Agence Européenne pour l'Environnement. (2011). Présentation des coûts de la pollution atmosphérique provenant d'établissements industriels en Europe. Bruxelles : Agence Européenne pour l'Environnement.

2

Comité des Constructeurs Français d'Automobiles. (2014). L'industrie Automobile Française, Analyse & Statistiques 2014. Paris : Comité des Constructeurs Français d'Automobiles.

3

Avere-France - Association nationale pour le développement de la mobilité électrique. (2015). Le marché du véhicule électrique maintient sa progression en 2014.

4

Ricardo-AEA. (2015). The potential for mass reduction of passenger cars and light commercial vehicles in relation to future CO₂ regulatory requirements. Brussels : Report for the European Commission, DG Climate Action.

5

Artelys & Element Energy. (2015). EV Grid Synergy Analysis, France. Cambridge : Element Energy Limited.

6

Caroline Klein and Isabell Koske (2013). Capacity needs in the automobile industry in the short-to medium run. Paris : OCDE, Economic department working paper No. 1097.

7

Sujith Kollamthodi, Ricardo-AEA. (2014). Understanding vehicle lifetime mileage and its impacts on the cost-effectiveness of light-duty vehicle CO₂ Regulations.

8

Nelson, D., Hervé-Mignucci, M., Goggins, A., Szambelan, S. J., Vladeck, T. and Zuckerman, J. (2014). Moving to a Low Carbon Economy: The Impact of Different Policy Pathways on Fossil Fuel Asset Values. Climate Policy Initiative.

9

Agence Internationale de l'Energie. (2014). World Energy Outlook 2014. Paris : Agence Internationale de l'Energie.

10

Nelson, D., Hervé-Mignucci, M., Goggins, A., Szambelan, S. J., Vladeck, T. and Zuckerman, J. (2014). Moving to a Low Carbon Economy: The Impact of Different Policy Pathways on Fossil Fuel Asset Values. Climate Policy Initiative.

11

Agence Européenne pour l'Environnement. (2011). Présentation des coûts de la pollution atmosphérique provenant d'établissements industriels en Europe. Bruxelles : Agence Européenne pour l'Environnement.

12

Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique. (2014). Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France.

13

Agence Européenne pour l'Environnement (2014). Qualité de l'air en Europe – rapport 2014. Agence Européenne pour l'Environnement. Rapport, No 5/2014.

14

Caroline Klein and Isabell Koske. (2013). Capacity needs in the automobile industry in the short-to medium run. Paris : OCDE. Economic department working paper No. 1097.

15

Comité des Constructeurs Français d'Automobiles (2011). L'industrie automobile française, analyse et statistiques 2011. Paris : Comité des Constructeurs Français d'Automobiles.

16

Les équipementiers fournissent des produits qui répondent aux spécifications techniques et fonctionnelles requises par les constructeurs automobiles. Les constructeurs intègrent ces produits dans les systèmes contenus dans leurs véhicules et effectuent toutes les validations techniques et réglementaires applicables.

17

European Automobile Manufacturers Association. (2015). Pocket Guide 2015-2016. Bruxelles : European Automobile Manufacturers Association.

18

Comité des Constructeurs Français d'Automobiles. (2015). L'industrie automobile française, analyse et statistiques 2014. Paris : Comité des Constructeurs Français d'Automobiles.

19

L'observatoire de la métallurgie. (2012). Etude prospective sur l'évolution des emplois et des métiers de la métallurgie. Paris : L'observatoire de la métallurgie.

Conditions d'utilisation

Ce rapport peut être distribué librement, en partie ou dans son intégralité. Aucune reproduction d'une quelconque partie de ce rapport ne peut être vendue ou distribuée à des fins commerciales, ni être modifiée ou incorporée à des fins publicitaires. L'utilisation des informations contenues dans ce rapport requiert d'en citer explicitement la source.

