

# Les grands enjeux de la transformation du secteur des transports et de la mobilité durable

Par Didier HOUSSIN  
IFPEN

Le secteur des transports doit faire face à des mutations profondes : il doit répondre à une demande de mobilité toujours croissante aussi bien pour le transport des biens que pour celui des personnes, tout en intégrant les contraintes environnementales locales, liées à la pollution et à la qualité de l'air, et globales, liées à ses émissions de CO<sub>2</sub> qui représentent un quart des émissions mondiales.

Ce secteur, toujours dépendant à hauteur de 90 % des carburants issus du pétrole, doit se transformer dans ses différents segments (véhicules, camions, bateau, avion...) et contribuer au développement des technologies bas carbone, comme les biocarburants, le gaz, le moteur électrique ou l'hydrogène.

Décarboner le secteur des transports pour construire une mobilité durable est un enjeu majeur qui nécessitera de repenser non seulement les motorisations et les carburants, mais aussi la gestion du trafic et de l'infrastructure, et demandera même une modification des comportements afin de pouvoir proposer les solutions pertinentes de demain.

Le secteur des transports et de la mobilité durable fait face aujourd'hui à de profondes mutations. Au niveau mondial, la demande de mobilité est en progression constante : celle-ci est en effet tirée par la croissance de la population et du niveau de vie en particulier dans les pays émergents, ainsi que par la mondialisation de l'économie qui s'est traduite par une augmentation continue des échanges de biens et de services.

Simultanément, la prise de conscience des conséquences du réchauffement climatique, causé par l'accumulation dans l'atmosphère des gaz à effet de serre, conduit les gouvernements à repenser leurs politiques dans le secteur des transports pour y limiter la hausse des émissions de CO<sub>2</sub>.

Comment répondre à la demande croissante de mobilité tout en engageant une diminution forte de l'impact carbone de ce secteur encore très dépendant du pétrole ?

Les réponses à ce défi nécessitent de mobiliser des innovations technologiques dans l'offre de mobilité, de poursuivre l'amélioration des rendements et la baisse des émissions des moteurs thermiques, d'aller vers l'incorporation plus grande de carburants bas carbone comme les biocarburants ou les e-fuels. Mais il faut aussi engager des solutions en rupture comme l'électrification du secteur et la modification des comportements et des usages de mobilité.

## Une forte demande de mobilité, mais des spécificités par segment

La demande d'énergie du secteur des transports, selon le scénario tendanciel proposé par l'AIE, devrait croître de plus de 1 % par an d'ici à 2040, dont 0,6 % pour le seul pétrole en dépit d'une hausse de 4 à 7 % de la part des énergies alternatives (les biocarburants, le GNV, le GPL<sup>(1)</sup> ou l'électricité). *A contrario*, c'est une baisse de l'ordre de 2 % par an de la demande de pétrole qui serait nécessaire pour respecter l'Accord de Paris et ainsi limiter la hausse des températures à moins de 2°C d'ici à la fin du siècle.

Même en tenant compte de la montée en puissance des substituts au pétrole, la demande de pétrole devrait progresser au total, selon le scénario central de l'AIE, de 11 Mb/j d'ici à 2040, dont 8 Mb/j pour le secteur des transports qui consomme actuellement 53 Mb/j, soit 56 % de la demande globale de pétrole (voir la Figure 1 de la page suivante).

Le transport individuel contribue peu à cette progression (+ 0,5 Mb/j d'ici à 2040) en dépit du doublement attendu du parc mondial qui pourrait atteindre les 2 milliards de véhicules au cours des vingt prochaines années. En effet, la hausse de la consommation dans les pays émergents

(1) GNV : gaz naturel pour véhicules ; le bioGNV est issu de la filière biogaz. GPL : gaz de pétrole liquéfié.

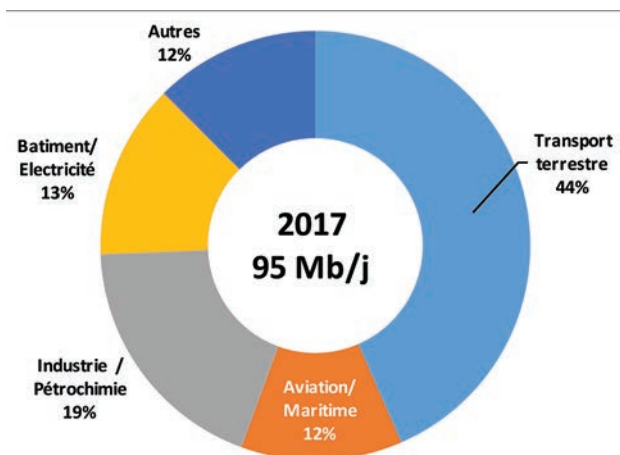


Figure 1 : Répartition par secteurs de la consommation mondiale de pétrole en 2017 (IFPEN, source AIE WEO 2018).

(+ 5,5 Mb/j) est compensée par un recul dans les pays occidentaux (- 5 Mb/j (voir la Figure 2 ci-contre)). Dans ces derniers pays, où la croissance du parc automobile est plus faible, ce recul reflète l'impact de motorisations plus performantes, ainsi que la montée en puissance des substituts aux produits pétroliers et l'essor des véhicules électriques.

En ce qui concerne les autres segments du transport, les progressions attendues de la demande sont le résultat direct de la croissance économique mondiale. C'est le cas pour le transport routier (+ 3 Mb/j environ), l'aviation (+ 3,4 Mb/j) ou le transport maritime (+ 1,4 Mb/j). La hausse annuelle pour ces deux derniers secteurs atteint 1,5 % par an, contre 0,7 % pour le transport par camion, des valeurs à comparer à une augmentation globale de la demande pétrolière de 0,5 % (voir la Figure 3 ci-après).

### Une demande sous contrainte environnementale

Dans ce cadre, le premier enjeu pour le secteur des transports consiste à limiter sa dépendance au pétrole, qui at-

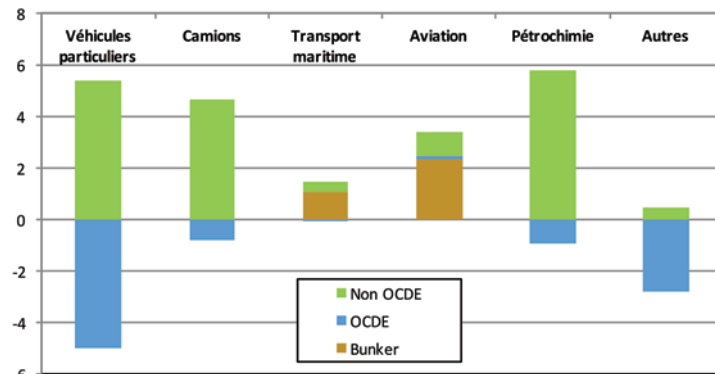
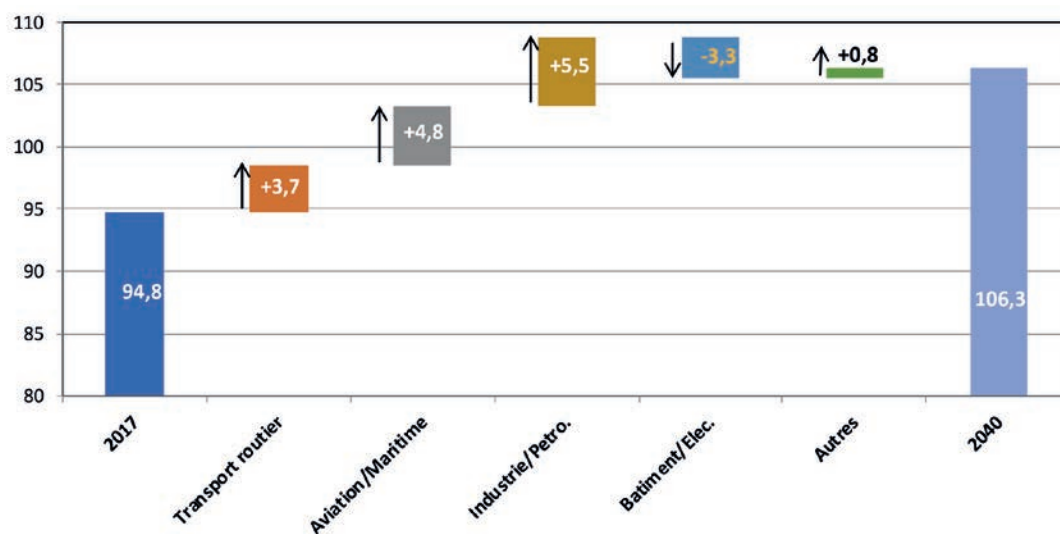


Figure 2 : Croissance attendue de la demande de pétrole par secteurs et par régions entre 2017 et 2040 (scénario « nouvelles politiques » de l'AIE) (IFPEN, source AIE WEO 2018).

teint actuellement 90 % au niveau mondial. L'atteinte de cet objectif permettrait un recours plus restreint aux ressources pétrolières et répondrait à la nécessité de réduire les impacts environnementaux tant locaux, liés à l'amélioration de la qualité de l'air (réduction des particules fines...), que globaux, liés au réchauffement climatique (CO<sub>2</sub>).

S'agissant des émissions de CO<sub>2</sub>, la part du transport dans le total des émissions varie fortement selon les régions, mais reste partout significative. Elle s'établit ainsi à 25 % au niveau mondial, avec plus de 30 % pour les pays industrialisés (28 % en Europe) contre seulement 16 % pour les pays émergents. Les perspectives futures sont également très contrastées : elles se traduisent par une baisse de 1,1 % par an d'ici à 2040 pour les pays occidentaux (- 1,6 % en Europe) et par une progression de 1,9 % par an pour les pays émergents, conséquence de la croissance démographique et de l'accroissement du niveau de vie constatés dans ces pays (voir la Figure 4 de la page suivante).

Ces évolutions tendanciennes ne sont évidemment pas en ligne avec l'Accord de Paris. Il faudrait qu'en 2040,



IFPEN, source AIE WEO2018

Figure 3 : Croissance attendue de la demande de pétrole par secteurs entre 2017 et 2040 (scénario « nouvelles politiques » de l'AIE) (IFPEN, source AIE WEO 2018).

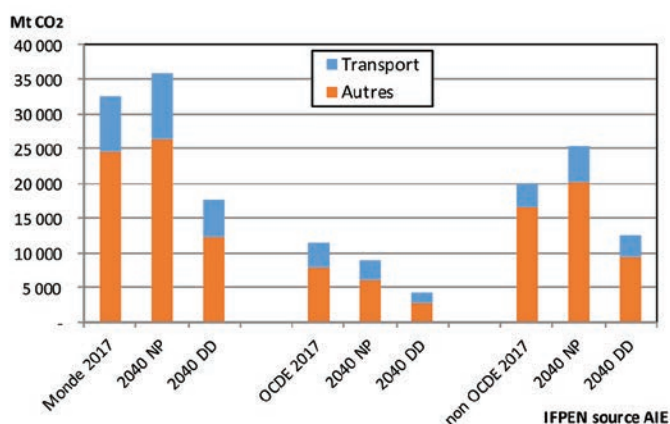


Figure 4 : Émissions mondiales et par régions de CO<sub>2</sub> en 2017 et 2040 (scénarios « nouvelles politiques » et « développement durable ») (IFPEN, source AIE WEO 2018).

les émissions du secteur des transports soient réduites respectivement de 50 % et 40 % pour chacun de deux groupes de pays précités. Cela suppose non seulement de substituer au pétrole des carburants bas carbone, mais aussi d'améliorer la performance des motorisations et de mieux gérer la demande.

## Les biocarburants et les autres substituts aux produits pétroliers

Les contraintes en termes d'autonomie, de sécurité ou de puissance nécessaire sont très différentes selon le mode de transport considéré, qu'il soit individuel, routier, ferroviaire, maritime ou aérien. Mais en dehors du transport ferroviaire dans lequel les trois quarts du trafic passager empruntent des voies électrifiées, il existe un point commun entre les autres secteurs que nous venons de citer, à savoir leur forte dépendance aux produits pétroliers (essence, gazole ou kérosène). Cette situation est en grande partie liée aux avantages intrinsèques de ces produits : ils offrent une densité énergétique massive et volumique bien supérieure à la plupart des solutions alternatives et sont, de surcroît, liquides en conditions ambiantes, et donc facilement transportables.

Pour conserver ces avantages, tout en diminuant les émissions de CO<sub>2</sub>, la transformation de biomasse en biocarburants (bioéthanol, biodiesel<sup>(2)</sup> ou biokérosène) est une solution éprouvée. Ces biocarburants représentent actuellement une offre d'environ 2 Mb/j au niveau mondial, soit 3,3 % de la demande globale de carburants liquides.

La croissance de la production de biocarburants de première génération a été freinée au cours des dernières années par la priorité donnée aux débouchés alimentaires sur fond de hausse des prix des produits agricoles. Dans ce contexte, des technologies dites de deuxième génération (ou avancées) à base de biomasse lignocellulosique

(2) Le bioéthanol de première génération est obtenu par fermentation de produits agricoles comme la betterave, le blé, la canne à sucre ou le maïs. Le biodiesel est produit à partir d'huiles végétales, principalement de colza, de tournesol, de soja et de palme, ou bien de graisses animales, ou encore d'huiles usagées.

sont en cours de développement, principalement aux États-Unis, en Europe et en Asie. Des progrès en matière de baisse des coûts restent toutefois nécessaires pour envisager leur déploiement à grande échelle.

Si l'usage des biocarburants s'est surtout développé dans le secteur du transport routier, leur potentiel est également important dans les secteurs aérien et maritime en raison de l'absence d'alternatives envisageables pour limiter l'empreinte carbone de ces derniers.

Pour le secteur maritime, qui va connaître un durcissement des normes relatives aux émissions de soufre en 2020 et de CO<sub>2</sub> à moyen terme, les options retenues à court terme s'orientent vers une efficacité renforcée de la motorisation<sup>(3)</sup>, des procédés de désulfuration embarqués (*scrubbers*) et vers le choix de carburants moins soufrés, comme le fioul BTS<sup>(4)</sup> ou le gazole marin. Mais d'autres ressources sont envisagées, en particulier le gaz naturel, qui commence à pénétrer ce marché, ou l'hydrogène, mais à un horizon plus lointain. Le transport routier de marchandises explore également ces voies afin de réduire ses émissions de CO<sub>2</sub>.

L'ensemble de ces solutions sont également envisageables pour les véhicules particuliers. Le GNV ou le GPL (et leurs versions bio) font ainsi partie des solutions proposées, mais elles restent cependant d'application limitée au niveau mondial (2 % du parc pour le GNV). Une voie nouvelle connaît en revanche un essor rapide, celle du véhicule électrique.

## Vers l'électrification de la mobilité

L'électrification du groupe motopropulseur (véhicules électriques à batteries ou hybrides) est une solution technologique qui peut à terme remplacer le moteur à combustion interne. Si les ventes mondiales ont dépassé le million d'unités en 2017, et les 2 millions en 2018, le parc mondial reste néanmoins confidentiel avec 5 millions de véhicules (0,5 %) répartis essentiellement entre l'Europe, les États-Unis et la Chine. Ce dernier pays a engagé, à travers une politique publique volontariste, une électrification marquée de son parc automobile.

Les progrès attendus, en particulier pour réduire les coûts et renforcer la densité énergétique des batteries, pourraient permettre d'accélérer le déploiement des véhicules électriques. L'AIE anticipe ainsi un parc de 40 millions de véhicules en 2025 et de 300 millions en 2040. La voie électrique séduit aussi fortement le secteur des deux-roues et constitue une opportunité pour les véhicules utilitaires légers ou les autobus. Il reste cependant encore des freins importants, qu'il s'agisse du coût d'achat des véhicules, du bilan CO<sub>2</sub> en fonction du mix électrique utilisé ou de la disponibilité à terme des ressources minières nécessaires, à l'image du cobalt ou du lithium, à des conditions économiques et environnementales acceptables.

(3) L'Organisation maritime internationale (IMO) a adopté en 2011 un index (Energy Efficiency Design Index ou EEDI) visant à définir un seuil minimum de consommation énergétique par tonne transportée.

(4) BTS : basse teneur en soufre.

Une autre voie d'électrification des véhicules est le recours à l'hydrogène transformé en électricité *via* une pile à combustible. En termes d'autonomie et surtout de durée de recharge, ce type de véhicules est comparable aux véhicules thermiques traditionnels. Néanmoins, outre la concurrence du véhicule électrique équipé de batteries et la question de la construction des infrastructures de transport et de distribution nécessaires, les principaux obstacles à surmonter sont liés au prix actuel des piles à combustible et surtout aux coûts de production de l'hydrogène décarboné par électrolyse de l'eau.

La montée en puissance de ces carburants alternatifs et de l'électrification aurait pour effet, selon le scénario central de l'AIE, de réduire, au niveau mondial, de 10 % la part des produits pétroliers dans le secteur des transports en 2040. Ils continueraient néanmoins à représenter plus de 80 % de la demande ; pour mémoire, leur part est actuellement de plus de 90 %. Il faudrait abaisser cette part à 60 % en 2040 pour être en ligne avec l'Accord de Paris.

Ces données chiffrées sont à peu près du même ordre de grandeur que l'on considère les pays émergents ou les pays industrialisés, notamment européens. Pour contenir la dépendance du secteur des transports au pétrole, il faut donc accélérer le déploiement de carburants plus performants, tout en améliorant non seulement l'efficacité des motorisations mais aussi la gestion de la mobilité.

## Vers une nouvelle gestion de la mobilité

Transformer les usages et la gestion du trafic sont des choix retenus par exemple par le secteur de l'aviation qui se propose, dans le cadre de l'OACI<sup>(5)</sup>, de réduire de 50 % ses émissions en 2050 par rapport à celles de 2005. Pour y parvenir, elle a adopté une approche multiple reposant sur quatre piliers : l'amélioration de l'infrastructure, englobant l'utilisation de systèmes modernisés de gestion du trafic aérien, l'adoption d'un système unique de compensation des émissions de CO<sub>2</sub><sup>(6)</sup>, une plus grande efficacité des opérations aériennes et, au-delà de l'usage de nouvelles technologies de motorisation, le déploiement de carburants « durables ».

Ces pistes prennent une autre forme dans le secteur du transport routier de marchandises : en effet, les opérateurs de ce secteur étudient également les moyens d'améliorer l'efficacité de leur gestion, en y incluant la conduite et la logistique en complément de l'approche moteur/carburants (GNV, bioGNV, GNL...). L'usage des technologies de l'information et du numérique sera mobilisé pour y parvenir. En Europe, ces développements sont encouragés dans la perspective de l'adoption de nouvelles normes visant à réduire de 30 % les émissions de CO<sub>2</sub> des camions et des autocars neufs d'ici à 2030.

(5) OACI : Organisation de l'aviation civile internationale.

(6) Le secteur considère que la mise en place de taxes régionales non harmonisées serait moins efficace.

Une approche similaire est retenue pour le secteur des transports en France à travers le projet de programmation pluriannuelle de l'énergie, laquelle est fondée sur « une évolution conjointe des trafics, des gains de performance énergétique des véhicules et du mix énergétique<sup>(7)</sup> ». En matière d'évolution du trafic, cela repose sur le déploiement de transports collectifs, sur la maîtrise de la demande de mobilité, en concertation en particulier avec les entreprises, ou encore sur une offre de mobilité multimodale performante. Cette dernière est rendue possible par les nouvelles technologies du numérique qui vont permettre une meilleure gestion des données au service de l'utilisateur.

Aujourd'hui, par exemple, on voit se multiplier des applications proposant de modifier sa conduite ou encore de partager un véhicule ouvrant par là même la voie à de nouveaux usages de mobilité. Ainsi, au-delà de la possession d'une voiture particulière, la mobilité, notamment urbaine, devient un service combinant transport en commun, véhicules partagés, véhicules avec chauffeur et usage du vélo (partagé ou non, et notamment à assistance électrique). Demain, l'avènement des véhicules communicants puis autonomes, sous réserve de lever différents verrous technologiques, législatifs et humains, offrira la possibilité d'une gestion plus fluide du trafic routier, et donc d'une réduction des consommations.

Mais certains s'inquiètent déjà de conséquences potentiellement néfastes : effet « rebond » possible induisant plus de trafic, impact sur les ressources minières, ou accroissement de l'appel au *Big Data* lequel est très consommateur d'énergie. Un questionnement légitime qu'il convient d'intégrer en pensant aux solutions de demain pour la mobilité.

## Adapter les infrastructures nécessaires : l'« intendance » suivra-t-elle ?

Dans ce foisonnement d'options envisageables pour le secteur des transports, il reste une condition indispensable à leur éclosion, à savoir l'adaptation des infrastructures de distribution des carburants alternatifs, que ce soit le GNV, le GPL, l'électricité, voire l'hydrogène.

En Europe, une directive datant de 2014 a demandé aux États membres de réfléchir à l'évolution de ces sources d'énergie dans le secteur des transports *via* la définition d'un cadre d'action national. La France a publié le sien en 2017 pour fixer les bases du développement de ces carburants.

En France, la structuration du réseau de distribution varie selon le carburant : si le réseau de distribution du GPL est déjà structuré et utilisé, la recharge des véhicules électriques nécessite des points de recharge chez les particuliers, sur les lieux de travail ainsi que sur le domaine public. Les points de recharge en hydrogène se structurent en premier lieu pour répondre aux besoins de

(7) Source : projet de Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), janvier 2019.

flottes captives identifiées. Le GNL maritime nécessite, quant à lui, un développement spécifique lié à une utilisation en tant que carburant marin, tandis que le réseau de distribution du GNV se développe dans le cadre d'une vision européenne<sup>(8)</sup>.

Il s'agit de pouvoir conjuguer harmonieusement le développement de la production de véhicules alternatifs avec celui d'un réseau de distribution adapté. Le soutien des pouvoirs publics et des collectivités territoriales ainsi que le déploiement de flottes captives constituent une première étape pour initier le mouvement. Il reste des questions de financement à résoudre<sup>(9)</sup>, voire des choix stratégiques à faire, par exemple, choisir entre le déploiement d'un réseau de recharge électrique ou celui d'un réseau de distribution d'hydrogène. Ces deux solutions seront-elles complémentaires à terme ou s'excluront-elles

(8) Source : projet de Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), janvier 2019.

(9) En France, les coûts liés à la mise en place d'une infrastructure de bornes de recharge et de stations hydrogènes sont évalués entre 30 et 100 milliards d'euros sur vingt ans dans le cadre de scénarios d'arrêt des ventes de véhicules thermiques en 2040 (Rapport OPECST, mars 2019).

mutuellement au regard des coûts induits ?

## Une mobilité à repenser

Le secteur des transports est confronté à des transformations majeures non seulement en matière énergétique et environnementale, mais aussi de sécurité. Il s'agit de repenser les motorisations, les carburants, la gestion, et de modifier les comportements afin de proposer les solutions pertinentes de demain.

Les enjeux comme les implications sont considérables : des enjeux technologiques à l'évidence, mais aussi des enjeux industriels, avec des implications sur la compétitivité et les emplois, et des enjeux sociétaux. Une nouvelle géopolitique de l'énergie pourrait aussi se dessiner, non plus fondée sur la production d'hydrocarbures, mais sur la détention des innovations technologiques et des ressources minières nécessaires aux énergies alternatives.

L'ensemble de ces interrogations devront être prises en compte afin de peser les avantages et les risques inhérents aux technologies qui seront retenues et déployées. En tout état de cause, la recherche et l'innovation auront un rôle majeur à jouer pour imaginer et concevoir la mobilité du futur, laquelle devra être à la fois plus sûre, plus performante et plus respectueuse de l'environnement.