

MANIFESTE

SEPTEMBRE 2017



POUR UNE MOBILITE SANS CARBONE

Les Ingénieurs et Scientifiques de France ouvrent un débat sur les dispositions à prendre pour atteindre un objectif de long terme : des transports intérieurs utilisant exclusivement de l'énergie décarbonée

www.iesf.fr

PREFACE

Les enjeux environnementaux auxquels l'humanité devra faire face au cours du 21^{ème} siècle sont considérables. Les solutions restent à inventer, qu'elles soient de nature technologique et scientifique ou qu'elles tiennent à l'organisation de nos systèmes de vie en société.

La communauté des Ingénieurs et Scientifiques de France a un rôle primordial dans la recherche de solutions techniques et économiques contribuant à ces grands débats.

L'une des spécificités du métier d'ingénieur tient à la capacité d'analyse de systèmes complexes, tels que la compréhension des relations entre la production d'énergie et ses réseaux de distribution, la production de véhicules, les infrastructures de transport, l'organisation des déplacements de personnes ou de biens... Cette compréhension a constitué le point de départ nécessaire d'un travail sur les perspectives d'une mobilité totalement décarbonée.

Ce travail prospectif est de toute première importance dans la longue liste de sujets à traiter. IESF en a pris l'initiative et la responsabilité au nom de la communauté des Ingénieurs et Scientifiques, et nous devons nous en féliciter !

Le débat ainsi engagé contribuera notamment aux Assises nationales de la mobilité qui se déroulent au cours de l'automne 2017. A ce titre, j'ai sollicité le soutien de la ministre des Transports à l'initiative des Ingénieurs et Scientifiques de France

Nous souhaitons vivement que ce travail permette d'éclairer les choix de filières énergétiques et industrielles pour les transports durables et d'identifier des chemins permettant à notre pays de bénéficier à terme de moyens de mobilité qui n'utiliseront plus de carburants fossiles.

Marc VENTRE
Président des IESF

AVERTISSEMENT

▪ **NOTRE OBJECTIF : UNE DEMARCHE PLUS AMBITIEUSE**

Le développement des transports décarbonés est principalement fondé sur la performance des moteurs et l'utilisation de sources d'énergie à faibles émissions de gaz à effet de serre. Conjugués avec les économies de mobilité et une meilleure utilisation des moyens de transport, ces leviers d'action permettent de poursuivre et d'amplifier le mouvement, observé depuis 2004, de baisse des émissions de GES des transports en France de l'ordre de 0,8% par an, et d'atteindre (à l'horizon 2050) un facteur 2 de réduction des émissions de GES par rapport à l'année de référence 1990.

Mais ils ne répondent pas à l'objectif de long terme mis en évidence lors de la COP 21, pour se rapprocher d'un facteur 4 de diminution des émissions de CO2 des transports, en France et en Europe, et probablement bien au-delà.

Pour changer notre regard et débattre d'une ambition à la hauteur des enjeux climatiques, les Ingénieurs et scientifiques de France proposent une autre démarche : questionner les acteurs publics et privés concernés, sur les dispositions à prendre pour atteindre le mieux possible un objectif de mobilité sans carbone.

▪ **OUVRIRE UN DEBAT SUR UN SCENARIO DE LONG TERME**

Pour structurer ce débat, le présent manifeste :

- ***Décrit un scénario possible pour une mobilité sans carbone à un horizon de long terme qui n'est pas fixé au départ « Et si...le transport n'utilisait que des énergies décarbonées ! »***

Le scénario définit une organisation de filières énergétiques totalement décarbonées de production-distribution-motorisation des véhicules de transport : cette organisation (ou ses variantes) est considérée comme possible avec des technologies disponibles et ce malgré les incertitudes actuelles sur leurs conditions économiques de développement.

- ***Ouvre un débat avec les acteurs publics et privés sur les conditions d'avancée vers ce scénario, en vue de déterminer des trajectoires, un programme et un calendrier réaliste de mise en œuvre.***

Les principales questions à débattre sont exposées dans la deuxième partie du manifeste. Elles traitent des choix techniques et économiques et des obstacles à lever.

Les remontées du débat feront l'objet d'un livre blanc destiné aux décideurs.

Ce manifeste « Pour une mobilité sans carbone » a été établi sous la direction d'Edouard FREUND, président du comité Energie et d'Olivier PAUL-DUBOIS-TAINE, président du comité Transport, avec le concours de membres ou de partnaires de ces comités sectoriels d'IESF : Claude ARNAUD, Michel BRUDER, Dominique CHAUVIN, Patrick COMMEREUC, Pierre-Louis DEBAR, Jean-Eudes MONCOMBLE, Jacques ROUDIER, Alain SAUVANT, Bruno WILTZ.

INGENIEURS ET SCIENTIFIQUES DE FRANCE (IESF)

La France compte aujourd'hui plus d'un million d'ingénieurs et quelques deux cent mille chercheurs en sciences. Par les associations d'ingénieurs et de diplômés scientifiques qu'il fédère, IESF est l'organe représentatif, reconnu d'utilité publique depuis 1860, de ce corps professionnel qui constitue 4% de la population active de notre pays.

Les comités sectoriels d'IESF rassemblent des connaisseurs de différents domaines d'activité désireux d'apporter une contribution des ingénieurs et des scientifiques aux grands débats nationaux. Ils s'attachent à identifier et analyser des problèmes complexes et importants pour notre avenir qui nécessitent une compréhension des techniques omniprésentes, mais aussi une conscience des autres facteurs, économiques et sociaux. Ils s'efforcent de proposer des solutions concrètes et réalistes.

DESCRIPTION D'UN SCENARIO DE LONG TERME :

COMMENT FONCTIONNERONT LES TRANSPORTS AVEC DES ENERGIES TOTALEMENT DECARBONEES ?

▪ **CHAMP ET HORIZON DU SCENARIO**

Le scénario porte sur la consommation d'énergie pour les transports intérieurs en France compte tenu d'un mix énergétique européen.

La demande de transport intérieur et ses dynamiques d'évolution sont considérées comme suffisamment stables pour apprécier l'ordre de grandeur des besoins énergétiques des différents modes et véhicules de transport (voir les repères présentés en annexe).

L'horizon du scénario n'est pas déterminé au départ, mais résultera des trajectoires considérées comme réalistes compte tenu des délais combinés : de développement de nouveaux systèmes technologiques ; d'adaptation de l'appareil de production (industrie automobile,...) ; de distribution d'énergie aux véhicules de transport (recharges électriques, hydrogène...) ; de renouvellement des parcs de véhicules (actuellement de l'ordre 6% par an en France pour les véhicules légers).

On se place dans une perspective européenne de long terme où la production d'énergie électrique utilisera exclusivement des énergies primaires sans carbone (nucléaire, hydraulique, éolien, solaire, solaire photovoltaïque, géothermique, ainsi que certains biocarburants...) avec des systèmes de stockage et de distribution d'électricité permettant de gérer les pointes de demande et les productions intermittentes.

Le scénario décrit ci-dessous les filières énergétiques envisagées pour les différentes catégories de demandes et de véhicules de transport

▪ **POUR LA MOBILITE DE PROXIMITE DANS LES GRANDES AGGLOMERATIONS : LES VEHICULES SERONT EXCLUSIVEMENT ELECTRIQUES**

Seuls des véhicules électriques seront utilisés pour les déplacements dans les grandes agglomérations denses.

L'usage des véhicules légers tout électrique (véhicules particuliers et véhicules utilitaires légers) est bien adapté aux trajets urbains à faible vitesse et à courte distance, avec recharge journalière. La croissance du parc de véhicules électriques devrait s'accélérer, en raison de facteurs favorables : autonomie améliorée, bornes de recharge largement disponibles (problème des immeubles locatifs et des copropriétés), coût total opérationnel compétitif, excellente compatibilité avec les futurs véhicules autonomes, adaptation aux zones de « pollution zéro ».

Le cas des autobus et autre véhicules utilitaires (livraisons) est similaire, sauf en ce qui concerne leur coût, mais avec une pression plus forte concernant la pollution associée aux véhicules thermiques. *Nota : Le constructeur chinois BYD (fabricant de batteries et de véhicules électrique), investit 10 M€ près de Beauvais dans une nouvelle usine européenne de production bus électriques (Challenges N°522).*

▪ **POUR LA MOBILITE DE PROXIMITE DANS LES TERRITOIRES PERI-URBAINS ET RURAUX : UN RESEAU DE BORNES DE RECHARGE SERA NECESSAIRE**

L'évolution serait la même, mais plus lente pour plusieurs raisons : la motivation « pollution zéro » est moins affichée ; le coût d'usage des véhicules pèse lourd dans le budget des ménages, plus fortement motorisés qu'en milieu urbain dense ; enfin, le problème de l'accessibilité aux bornes de recharge nécessite des réponses spécifiques (mutualisation des possibilités de recharges individuelles, par exemple).

Pour les autocars (dont la part dans les émissions de CO2 est très faible), une amélioration notable résulterait de l'hybridation (analogie forte avec le cas des autobus), en attendant la filière hydrogène. Une solution de type hybride rechargeable permettrait de recharger la nuit, avec une recharge rapide pendant les pauses de la mi-journée.

▪ **POUR LES VOYAGES A LONGUE DISTANCE : LA VOITURE SERA ELECTRIQUE AVEC AUTONOMIE RENFORCEE ET RECHARGES RAPIDES**

Le scénario prévoit de passer directement des véhicules diesels vers des motorisations « sans carbone », en évitant la transition par une « de-diésélisation » du parc automobile, qui entraînerait un supplément d'émissions de CO2.

La solution hybride (y compris hybride rechargeable) n'est pas retenue dans le scénario, car elle n'apparaît pas efficace comme solution totalement décarbonée pour la longue distance.

Pour le moyen terme, la solution alternative disponible sera la voiture électrique améliorée (avec une autonomie assurée de 300 km), associée à un réseau suffisamment dense de bornes de recharges au moins semi-rapides.

La solution de la voiture à hydrogène (pile à combustible), dont la filière sera par ailleurs favorisée pour d'autres applications liées à la transition énergétique, pourra intervenir ultérieurement moyennant : (1) la réalisation d'importantes réductions de coûts, à la fois sur la pile à combustible et sur la production d'hydrogène électrolytique ; (2) la disponibilité de stations-services de distribution ne faisant pas double emploi avec les stations de recharge des véhicules électriques ; (3) la maîtrise avérée des problèmes de sécurité qui conditionnent la crédibilité de la filière.

▪ **POUR LE TRANSPORT DE MARCHANDISES PAR CAMIONS : LE MOTEUR A HYDOGENE ET/OU L'AUTOROUTE ELECTRIFIEE**

La substitution du gazole par le gaz n'apportera pas de diminutions significatives des émissions de CO2 en raison de la baisse de rendement lorsque l'on passe d'une motorisation Diesel (avec le gazole) à une motorisation à allumage commandé (avec le gaz). Cette substitution est envisagée dans les pays disposant de ressources importantes en gaz (cas récemment aux Etats Unis), et elle permet essentiellement de diminuer les pollutions locales (hors CO2).

L'option de motorisation électrique (associée à des batteries) est difficilement envisageable, compte tenu des puissances requises en régime (de l'ordre de 150 kW), ce qui conduit à des capacités de l'ordre du MWh. Elle pourrait par contre être développée sur des grands axes autoroutiers électrifiés (alimentation par caténaires).

La solution hydrogène est une réponse technique alternative ou complémentaire, mais elle se heurte (au moins à moyen terme) au coût de l'hydrogène électrolytique distribué, comparé à un coût du gazole même issu de pétrole à 100\$/baril. Une filière intermédiaire de biocarburants (ou biogaz) pourrait être justifiée, à condition qu'elle soit neutre en carbone.

EN RESUME

Scénario de mobilité routière décarbonée : motorisation électrique ou à hydrogène

- Zones urbaines denses : véhicules électriques le plus rapidement possibles pour les VP, les autobus et les véhicules utilitaires de livraison
- Territoires périurbains et ruraux : VP plus progressivement électriques, en fonction de l'implantation du réseau de bornes de recharge ; autocars hybrides en attendant la motorisation à hydrogène ;
- Déplacements à longue distance : VP électriques avec autonomie améliorée et recharge semi-rapide, puis motorisation à hydrogène à plus long terme ; camions à hydrogène dès que possible et/ou autoroutes électrifiées.

Rappel : Le scénario retenu repose sur la disponibilité, à un horizon de long terme (non encore déterminé), de sources d'énergie primaire totalement décarbonée (et notamment un mix électrique européen alimenté pour une part croissante par l'éolien et le photovoltaïque), en quantité suffisante pour remplacer les carburants fossiles actuellement utilisés par le secteur des transports, lequel est le premier émetteur de gaz à effet de serre (GES) en France (30% des émissions totales, soit 135 MtCO2eq/an).

Y-a-t-il un autre scénario possible pour décarboner à long terme le secteur des transports ? Sinon, y-a-t-il d'autres trajectoires plus efficaces que les filières de motorisation électrique et, à plus long terme, des filières hydrogène ?

QUESTIONS A DEBATTRE

POUR LA MISE EN ŒUVRE DE CE SCENARIO « MOBILITE SANS CARBONE »

*Les acteurs publics et privés qu'il est prévu de consulter n'auront pas nécessairement les mêmes réponses à ces questions.
Cette diversité des points de vue sera en soi éclairante.*

1. QUEL AVENIR POUR LE MOTEUR THERMIQUE A CARBURANTS PETROLIERS ?

La première technologie à considérer est la technologie dominante actuelle : le moteur à combustion interne, qui fait appel aux produits pétroliers ou au gaz naturel (moteur à allumage commandé : essence, gaz naturel, moteur Diesel : gazole, fioul lourd). Des progrès en rendement (donc en consommation) sont possibles, mais limités. A noter au passage les niveaux de rendement élevés d'ores et déjà atteints (40% pour les moteurs de poids lourds, plus de 50% pour les moteurs des grands navires). Le programme du Président de la République affiche un objectif de généralisation des véhicules propres d'ici 2050, et 100 % de véhicules neufs commercialisés dès 2040.

LE MOTEUR THERMIQUE, JUSQU'A QUAND ?

Jusqu'où est-il économiquement raisonnable de développer des véhicules thermiques à très faibles consommation, (le V2L) dont les progrès (liés au rendement des moteurs, à l'hybridation, et à la diminution de la masse) pourraient conduire à des coûts et des délais de disponibilité non concurrentiels avec les progrès du véhicule tout électrique (Exemple : la Zoé à 300 km d'autonomie) ?

Faut-il, pour des services de proximité, développer des autobus et des autocars avec une filière bio-gaz ? Cette filière peut-elle constituer une transition pour les 20 prochaines années, ou faut-il passer directement et massivement au « tout électrique » ?

Comment faudra-t-il fixer les prochaines normes européennes d'émissions des véhicules neufs, dans une perspective d'accélération de la motorisation électrique dans la production automobile à échéance de 10 - 15 ans ?

Y a-t-il une place pour un développement important des véhicules hybrides et hybrides rechargeables (électriques à prolongateur d'autonomie), entre les performances croissantes du véhicule tout électrique et/ou l'émergence probable à long terme d'une filière hydrogène ?

2. QUELLE UTILISATION DES BIOCARBURANTS ?

La substitution partielle ou totale des carburants ex-fossiles par des produits ex-biomasse (les « biocarburants »), présente également de sévères limitations, du moins avec les procédés actuels de première génération. Sauf cas particuliers, ces productions se caractérisent par de faibles rendements (1 à 3 Tép/ha/an), entraînant une occupation des sols importante et la concurrence possible avec la production agro-alimentaire. Elles ne conduisent qu'à une diminution seulement partielle des émissions de CO₂, selon les analyses du cycle de vie.

Les procédés de seconde génération, en cours d'industrialisation, font face à des difficultés similaires. La troisième génération, au stade actuel du développement, se heurte à des problèmes de coûts (conduisant à des installations dont le gigantisme pose problème).

Le biogaz (issu notamment de la méthanisation de déchets) ne présente pas ces inconvénients, mais sa production n'est pas à la hauteur des besoins

Quelles seraient, dans les volumes de production d'énergie issue de la biomasse, les quotités disponibles pour les véhicules de transport (compte tenu des autres usages), et à quelles conditions économiques accessibles ?

Quelles sont les principales limitations de production de ce volume d'énergie ? Surfaces disponibles ? Rendement interne de la seconde et de la troisième génération ? Coûts de production et de distribution, (dont l'énergie décarbonée) ?

LES PRODUCTIONS DE BIOCARBURANTS POURRAIENT ETRE A TERME, AFFECTEES AU TRANSPORT AERIEN

Compte tenu des exigences alimentaires et environnementales rappelées ci-dessus, le volume de production ne pourra raisonnablement satisfaire qu'une faible partie de la demande de carburant du secteur des transports disponible.

A quels usages prioritaires devrait être affectée cette ressource énergétique « sans carbone » et selon quelles trajectoires ? Faut-il réserver cette ressource décarbonée au transport intérieur de marchandises (et autocars longue distance), et à plus long terme au transport aérien pour lequel les technologies de substitution aux motorisations actuelles ne sont pas disponibles ?

3. QUELLE COMMERCIALISATION DES VEHICULES ELECTRIQUES ALIMENTES PAR BATTERIES ?

Les filières de production d'électricité se renouvellent avec des énergies primaires non fossiles, qui malgré leur caractère intermittent (éolien et solaire) ou à risque élevé (comme le nucléaire) peuvent apporter dès aujourd'hui (comme en France) ou à moyen terme (comme en Allemagne) un mix électrique très décarboné, à condition de mettre en place de dispositifs de stockage-régulation pour gérer les fluctuations de la production.

Les (relativement) nouvelles batteries lithium ont effectivement permis de sortir la mobilité électrique des niches étroites où elle était confinée avec les batteries traditionnelles au plomb. Quelles sont les limitations actuelles, et quelles évolutions peut-on prévoir aujourd'hui ? Disponibilité du lithium à grande échelle ? Matériaux alternatifs ? Conditions d'extraction, de production et de recyclage des matériaux ?

LE COUT DES BATTERIES DEVRAIT S'ABAISSE ET SATISFAIRE A COURT TERME LA DEMANDE DE « VOITURES URBAINES »

Partant de 30-40 Wh/kg pour le plomb, les batteries Li-ion dépassent 150 Wh/kg, et pourrait atteindre 250 Wh/kg dans un proche avenir, ce qui conduirait pour une petite voiture à une autonomie raisonnable (consommation de l'ordre de 15 kWh/100 km [soit au passage 1,5 litre d'équivalent gazole/100km]), pour un poids de batterie de 200-300 kg. Le coût aujourd'hui élevé (200-300 euros/kWh) pourra s'abaisser vers une limite qui descendra difficilement en dessous de 100 euros/kWh (soit 5 000 euros pour une batterie « nue » de 50 kWh).

Quels seraient les obstacles à lever pour commercialiser plus rapidement et massivement des véhicules urbains tout électriques, dans la perspective où par exemple, la circulation des voitures thermiques serait fortement limitée dans les grandes agglomérations denses ?

La part croissante des véhicules électriques dans le parc automobile, par ailleurs connectés et progressivement autonomes, va poser, sous un angle technologique nouveau, la question générale de la tarification d'usage de l'infrastructure, à mesure que les ressources de la TICPE (taxes sur les carburants automobiles) iront en s'amenuisant.

Quelle évolution du système de bonus-malus au bénéfice des voitures électriques vous paraît-elle nécessaire pour accélérer l'évolution du parc automobile ? Ne faut-il pas fusionner TICPE et taxe carbone pour les véhicules à propulsion thermique ? Comment assurer la couverture des dépenses d'infrastructures routières par tous les véhicules, quelle que soit leur motorisation, et créer une redevance d'usage des infrastructures applicable à tous ?

DES EQUIPEMENTS DE RECHARGE RAPIDE SERONT NECESSAIRES A LA COMMERCIALISATION DE VOITURES POUR TRAJETS LONGS.

Pour réaliser « un plein » dans les mêmes conditions qu'avec un véhicule actuel, soit 3 minutes, il faudrait, pour une batterie de 50 kWh, une puissance de 1MW. Par ailleurs, des recharges semi rapides, par exemple 15 minutes, ne sont pas favorables à une bonne durée de vie (et nécessite tout de même une puissance de 200kW dans le cas précédent). La troisième difficulté est précisément le nombre de cycles de charge/décharge réalisable avant une perte de capacité donnée (par exemple 20%).

Quels seront les modèles économiques des stations de recharges rapides sur les grands axes interurbains du territoire, notamment dans la période de transition du parc automobile du thermique à l'électrique ? Des dispositifs d'échanges de batteries sont-ils économiquement envisageables ?

Faudra-t-il installer dans chaque station-service des capacités de stockage d'électricité (liées, par exemple, à des unités locales de production d'hydrogène) pour disposer de la puissance nécessaire sans déséquilibrer le réseau électrique ?

4. COMMENT PEUT SE DEVELOPPER L'HYDROGENE COMME CARBURANT POUR LES VEHICULES ?

L'hydrogène produit à partir d'énergie renouvelable (par électrolyse, ou gazéification de la biomasse) est un substitut des carburants fossiles que l'on peut qualifier d'universel : excellent carburant pour les moteurs à allumage commandé (avec un potentiel d'amélioration des rendements), pour les turbines à gaz, ainsi que les moteurs d'avions. C'est également le carburant privilégié des piles à combustibles basse température (technologie PEMFC).

L'introduction de l'hydrogène comme carburant est une solution radicale pour diminuer de manière drastique les émissions de CO2 liées au transport.

Si les principaux problèmes technologiques sont résolus pour la mise sur le marché de véhicules à pile à combustible fonctionnant à l'hydrogène, de nombreux obstacles demeurent : le premier est celui des risques liés au stockage de l'hydrogène (Rapport d'étude de INERIS – 15 mars 2016) ; le plus important est lié au coût de l'hydrogène distribué (produit par électrolyse), et pour l'instant du coût des piles à combustibles, (les véhicules à pile à combustible étant privilégiés en raison du meilleur rendement de la pile par rapport à celui des moteurs thermiques).

Pour l'instant, seule a été retenue la solution « pile à combustible » (PEM). La solution « moteur à combustion interne » a été délaissée (sur la foi d'adaptations peu performantes réalisées à faible coût). Or le potentiel en performance de moteurs dédiés est élevé, comparable à celui des moteurs Diesel, sans émissions de particules, et avec des émissions de NOx faciles à traiter par SCR. Cependant, la transition entre le moteur thermique actuel (au gazole) et le moteur thermique à hydrogène électrolytique rencontre un obstacle aujourd'hui rédhibitoire en raison du coût de développement d'un moteur dédié hydrogène (de l'ordre du milliard d'euros).

En ce qui concerne les véhicules lourds (le maxi codes européen, par exemple), le volume du réservoir de stockage de l'hydrogène (environ une tonne pour 40 kg d'hydrogène apportant une autonomie de 500 km) reste compatible avec l'emport du véhicule. Par contre, la durée de vie de la pile à combustible embarquée, soumise à des rappels à puissance et des transitions fréquentes, peut poser problème.

Des questions encore très ouvertes :

L'INTRODUCTION DE PILES A COMBUSTIBLES ET DE RESERVOIRS A HYDROGENE DANS LES VEHICULES LOURDS SERAIT-ELLE UNE ETAPE ?

A quelles conditions techniques (sécurité, coût de production – stockage) et économiques (synergies avec d'autres stockage énergétiques, incitations publiques) une filière hydrogène pourrait-elle raisonnablement se substituer aux motorisations thermiques classiques des bateaux, des péniches, des trains et des camions ?

POUR LES VEHICULES LEGERS AUX TRAJETS LONGS, LE CHOIX ENTRE BATTERIES ELECTRIQUES ET PILES A HYDROGENE SERA-T-IL LIE AU COUT D'USAGE (TCO) ET LA RAPIDITE RELATIVE DE RECHARGE ?

Les stations de distribution d'hydrogène pour les poids lourds permettraient d'alimenter les véhicules légers sur les grands axes interurbains, ce qui faciliterait l'ouverture du marché de voitures à hydrogène, si leur coût total de possession (TCO,) est voisin de celui d'un véhicule tout électrique.

A quelles conditions les filières de motorisation des véhicules légers par piles à hydrogène pourraient-elles se développer ?

LES AVIONS POURRAIENT-IL FONCTIONNER A L'HYDROGENE ?

La filière hydrogène est-elle envisageable pour le transport aérien ? Y-a-t-il des problèmes spécifiques insolubles, techniques, économiques, ou de sécurité ? Sinon ou seient les principales difficultés ?

ANNEXE

QUELQUES REPERES SUR LA MOBILITE DES PERSONNES ET DES MARCHANDISES EN FRANCE

Les consommations d'énergie pour le transport dépendent au premier degré de la demande de mobilité des personnes et des marchandises, ainsi que des volumes de trafic des différents véhicules de transport utilisés.

Afin de fonder le scénario « mobilité sans carbone » présenté dans ce manifeste, on trouvera ci-dessous **une présentation succincte des dynamiques des flux de voyageurs et de marchandises**, et les évolutions tendanciennes des trafics de véhicules correspondants.

Le tableau ci-après indique, pour chaque catégorie de mobilité, les flux et trafics observés en 2015 (résultant des Comptes Transports de la Nation), en rapport avec les filières énergétiques proposées dans le scénario.

1. Voyageurs à longue distance : 320 Mds Voy-km ; en progression annuelle 1% par an.

- Ces déplacements à longue distance représentent 41% des voyageurs-km annuels parcourus en France, 28 % des km-automobiles et 15% des émissions de CO2 du transport intérieur.
- La demande de mobilité interurbaine s'accroît tendanciellement de 1% par an, dans une hypothèse moyenne de croissance du PIB de 1,5% par an (proposée par le MINEFI au COR).
- La part des modes de transport collectifs (trains, autocars, aérien intérieur), actuellement de 35% pourrait légèrement augmenter, ainsi que le nombre de personnes par véhicule (covoiturage).

2. Voyageurs de proximité : 544 Mds. Voy-km : tendance à la stabilité des voyageurs-km parcourus.

Dont : Grandes agglomérations avec réseau de transports collectifs (40% de la population) : 204 Mds. Voy-km

- Ces déplacements quotidiens de proximité représentent 22 % des voyageurs-km annuels parcourus en France, 23% des km-automobiles et 17% des émissions de CO2 du transport intérieur
- Une majorité de déplacement dans les grandes agglomérations s'effectue à pied, en vélo et en transports collectifs, dont l'utilisation est en forte croissance.
- L'utilisation de la voiture est plutôt en décroissance, liée aux difficultés de circulation et aux restrictions de stationnement.

Dont : Périurbain et rural avec utilisation dominante de la voiture (60% de la population) : 340 Mds. Voy-km

- Ces déplacements quotidiens de proximité représentent 37 % des voyageurs-km annuels parcourus en France, 47 % des km-automobiles et 26 % des émissions de CO2 du transport intérieur.
- L'utilisation de la voiture est omniprésente (93 % des mobilités quotidiennes), mais elle ne s'accroît pas, en raison de l'évolution démographique de la population (vieillesse et sous-emploi).
- L'utilisation des transports ferroviaires de la vie quotidienne (RER et TER) est en forte croissance, permettant l'accès des populations périurbaines aux zones d'emplois des cœurs de métropoles denses.

3. Marchandises longue distance : 303 Mds T-km : reprise de la croissance (+ 1,8% par an), liée au PIB Europe.

- Ces transports à longue distance représentent l'équivalent de 18 % du trafic des voitures particulières (un camion maxi-code équivaut à 3 voitures), et 22,5 % des émissions de CO2 du transport intérieur.
- L'essentiel du transport intérieur (87%) est assuré par les camions (maxi-codes), dont la part de marché s'est accrue au cours des 15 dernières années.
- Le rythme de croissance du trafic des poids lourds devrait cependant rester plus modéré, en raison d'un meilleur remplissage des véhicules et d'une certaine reprise des trafics ferroviaires et fluviaux

4. Véhicules utilitaires légers : un trafic annuel de l'ordre 100 Mds de véh-km, en croissance (+1,2% par an).

- Ce mode de transport est utilisé de façon très diversifiée : activités professionnelles (services à la personne), transport de biens (moyenne distance et distribution urbaine), loisirs (caravaning)...
- Il représente 17% du trafic routier total, majoritairement urbain (près de 30 % des circulations locales) ; et 19,5 % des émissions de CO2 du transport intérieur.
- Sa croissance s'explique notamment par le développement important de la logistique urbaine liée au numérique (e-commerce, par exemple).

TABLEAU CROISE : CATEGORIES DE MOBILITE / FILIERES ENERGETIQUES

En milliards de voyageurs-km ou de tonnes-km

La demande de Transport en France <i>Trafics et émissions CO2</i>				Filières énergétiques <i>X Principaux croisements pertinents</i>			
Voyageurs intérieurs <i>Mds. Voyageurs x km 2015</i>		Trafics 2015 <i>Véh x km</i>	Emission CO2 2015	Pétrole et gaz	Bio-carburants	Electricité Mix européen	Hydrogène
Voyageurs longue distance	Aérien int. 14		3,5				
	Train 70						
	Autocar 50			économies	X		
	V.P. 250	140	19,5	économies		X (hybrides)	X (long terme)
	Total : 384						
Mobilité de proximité : Grandes agglos	Métro/RER 22						
	Bus/ tram 12					X	X
	V.P. 170	120	21,0	économies		X	
	Total : 204						
Mobilité de proximité : Périurbain et rural	Autocar 11				X		
	V.P. 318	230	32,0	économies		X	
	RER-TER 11						
	Total : 340						
TOTAL voy. intérieurs	T.C. 190						
	V.P. 738	490 (1)					
	Total : 928		72,5				
TOTAL Marchandises <i>Mds. Tonnes x km 2015</i>	Train 34,3						X
	Péniche 7,5		1,2		X		X
	Camion 281,4	26,4 (2)	28	Substitution gaz	X		X
	Total : 323						
dont VUL utilitaires légers	Total, dont :	100 (2)	25,5				
	Interurbain	45					
	Urb. dense	25				X	
	Peu dense	30				X	
TOTAL CO2	M. Tonnes		132,3				

(1) En additionnant les trafics de VL et la moitié des trafics de VUL

(2) Aux 26,4 Mds de PL-km (10 tonnes d'export /véh) s'ajoutent 23 Mds de VUL-km (0,35 tonnes d'export / véh.)

NB. Ce tableau permet d'estimer, en ordre de grandeur, les impacts des scénarios (ou trajectoires) de pénétration de chacune des filières énergétiques (en colonnes) dans les différents parcs et trafics de véhicules : train ou métro, autocars ou autobus, voiture interurbaine ou urbaine, camions ou péniches...

Pour chacun des segments de la demande de mobilité, les baisses d'émissions de CO2 sont estimées comme suit : baisse d'émission (Mt CO2) = émissions actuelles (Mt CO2) x part de pénétration de la filière énergétique dans le parc de véhicule (%) x baisse d'émission par véhicule-km apportée par la filière (%). Par exemple, l'introduction des véhicules électriques dans 30 % du parc de voitures utilisé pour les déplacements de longue distance diminuerait les émissions de CO2 de 15 Mt (Citepa 2012) x 30% (part des km électriques) x 100% (économie CO2/km) = 4,5 Mt