



# L'IMPACT DU DÉVELOPPEMENT DES MOBILITÉS PROPRES SUR LE MIX ÉNERGÉTIQUE

## CO-PRÉSIDENTS :

M. Olivier Appert (délégué général de l'Académie des technologies)  
M. Olivier Pérot (président de France Energie Eolienne)

## RAPPORTEUR :

Mme. Delphine Rouilleault (Conseil d'État)

## GROUPE DE TRAVAIL 1

« BOUQUET ÉNERGÉTIQUE »

#éclairerlavenir  
@CRE\_Prospective

[www.eclairerlavenir.fr](http://www.eclairerlavenir.fr)

Juillet 2018



Comité  
de prospective  
de la CRE

ÉCLAIRER  
L'AVENIR





# AVANT-PROPOS

Le Président de la Commission de Régulation de l'Énergie, Monsieur Jean-François CARENCO, a créé à l'automne 2017 un Comité de Prospective rassemblant les grands acteurs du secteur afin d'éclairer le régulateur français sur les perspectives à moyen terme du secteur de l'énergie en France. Trois groupes de travail ont été mis en place à cette occasion, composés d'une trentaine de représentants de haut niveau d'acteurs industriels, associatifs ou institutionnels.

Le groupe de travail n°1 a été chargé de travailler sur les perspectives de développement des mobilités propres et leurs impacts sur le mix énergétique. Il s'est réuni une fois par mois, sous la coprésidence de M. Olivier APPERT (délégué général de l'Académie des technologies) et M. Olivier PEROT (président de France Energie Eolienne) et a bénéficié du concours d'une rapporteure, Mme Delphine ROUILLEAULT (Cour des comptes). La composition du groupe et le programme de ses séances sont présentés en annexe.

## **C'EST DANS CE CADRE QUE LE PRÉSENT RAPPORT A ÉTÉ ÉTABLI. QUELQUES GRANDS PRINCIPES ONT GUIDÉ CES TRAVAUX :**

- Ce rapport tente de prendre en compte la diversité des approches et des sensibilités de la trentaine de ses membres. Il ne résulte pas d'une analyse réalisée d'un seul point de vue par un seul acteur mais tâche au contraire de refléter les positions des principaux acteurs privés ou publics du secteur de l'énergie en France. S'il ne vise pas à faire émerger de consensus « à tout prix », il tient compte, autant que possible, des différences de perspectives et des incertitudes encore nécessairement importantes.

- Ce rapport ne prétend pas à l'exhaustivité. Il fait le choix d'adopter une approche globale de la mobilité des personnes et des marchandises, afin de ne pas limiter la discussion aux seules perspectives du développement du véhicule électrique, objet certes d'une forte mobilisation des acteurs publics, mais qui ne saurait à ce stade représenter la seule solution aux enjeux de dépollution et décarbonation de l'ensemble du secteur des transports.
- Ce rapport expose un ensemble d'éléments, pour la plupart très consensuels parmi des participants d'horizon divers, et dessine ainsi des perspectives réalistes sur le développement prochain des mobilités propres et leur impact sur la demande en énergie. De très nombreux travaux existent sur les différents aspects évoqués ici. La richesse de ces travaux, la pluralité des scénarios existants, par ailleurs pour beaucoup présentés et débattus lors des travaux du groupe, ont largement nourri ce rapport. Pour autant ce rapport, loin d'être une revue de la littérature existante, cherche à tracer une voie à l'intersection de ces différentes approches.
- Ce rapport est rédigé sous la seule responsabilité des deux Co-présidents. S'ils ont essayé de refléter la diversité des points de vue énoncés, ils ont néanmoins été amenés à faire des choix permettant de dessiner un horizon plausible et de tracer des perspectives cohérentes à même de sensibiliser les décideurs publics. Ils demeurent, à cet égard, seuls responsables des erreurs et omissions qui pourraient figurer dans ce rapport.
- Ce rapport est rédigé de manière à être compris par des personnes qui ne sont pas des spécialistes des secteurs de l'énergie et/ou des transports. Il fait ainsi volontairement l'impasse sur certaines analyses techniques dont l'évocation aurait pu conduire à une trop grande complexification du discours.
- Ces travaux mériteraient, de toute évidence, d'être encore approfondis, notamment pour conduire des analyses économiques spécifiques par filières. Si les contraintes économiques et industrielles qui pèsent sur les acteurs ont bien été abordées, des analyses complémentaires pourraient être utilement développées.

Le développement de mobilités propres est devenu, ces dernières années, une tendance de fond alimentant aussi bien les discours et les actions de nombre d'acteurs institutionnels que les stratégies des acteurs industriels. La perspective d'une décarbonation massive du secteur des transports, appuyée par la montée des préoccupations relatives à la lutte contre la pollution atmosphérique, pourrait avoir, à un horizon plus ou moins rapproché, un effet important sur le mix énergétique mondial et français, impactant l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur du transport comme de la production et de la distribution des différentes énergies.

Le présent rapport vise à dresser un état des lieux des perspectives en la matière. Il ne prétend pas dessiner, avec certitude, le paysage des transports propres de demain, mais cherche à éclairer les tendances à l'œuvre, leurs impacts sur les besoins en énergie, les consensus entre acteurs mais également les incertitudes et freins restant à lever. Il se place, en phase avec la plupart des projections établies, à un horizon temporel de 2035.

# LISTE DE PERSONNES AYANT PARTICIPÉ AUX REUNIONS DU GROUPE DE TRAVAIL

David **Marchal**, ADEME

---

Matthieu **Mefflet Piperel**, ADEME

---

Yann **Tremeac**, ADEME

---

Madeleine **Lafon**, Directrice Affaires publiques et communication, AFG

---

Marc **Boudier**, AFIEG

---

Jacob **Teter**, Agence Internationale de l'Energie

---

Hélène **Pierre**, ANODE

---

Huguette **Tiegna**, députée, Assemblée Nationale

---

Jordan **Allouche**, assistant parlementaire, Assemblée Nationale

---

Patrick **Oliva**, Assises de la mobilité, président du groupe «Environnement»

---

Marie **Castelli**, Secrétaire générale, Avere-France

---

Bernard **Aulagne**, COENOVE

---

Catherine **Edwige**, CRE

---

Dominique **Jamme**, CRE

---

Jean-Laurent **Lastelle**, CRE

---

Olivia **Fritzinger**, CRE

---

Matthieu **Morin**, CRE

---

Anne **Delaroche**, CRE

---

Aurélien **Paillard**, CRE

---

Alexandre **Hoffer**, ECUBE

---

Edmée **Cuisiner**, ECUBE

---

Jean **Latapy**, ECUBE

---

Matthieu **Blondel**, ECUBE

---

Pierre **Germain**, ECUBE

---

Julian **Bouchard**, EDF

---

Marc **Bussieras**, Directeur Stratégie Groupe, EDF

---

Jean **Baptiste** Galland, Directeur de la Stratégie, Enedis

---

Jean-Baptiste **Séjourné**, Directeur de la Direction Régulation, ENGIE

---

Jean **Facon**, Directeur adjoint et Chef du Service juridique, FNCCR

---

Benoit **Daly**, FNTR

Dominique **Auverlot**, France Stratégie

---

Arnaud **Mora**, Fresh Mile

---

Bertrand **de Singly**, GRDF

---

Véronique **Bel**, GRDF

---

Charles **Poutiers**, Groupe la Poste

---

Philippe **Madiec**, GRTgaz

---

Vincent **Rousseau**, GRTgaz

---

Delphine **Rouilleault**, GT1 CRE

---

Olivier **Appert**, GT1 CRE

---

Olivier **Perot**, GT1 CRE

---

Francois **Kalaydjian**, IFP Energies Nouvelles

---

Carole **Mathieu**, IFRI

---

Yves **Marignac**, Negawatt

---

Sven **Roesner**, OFATE

---

Catherine **Girard**, PFA

---

Nicolas **Leclere**, PFA

---

Frédéric **Gonand**, Président GT2

---

Cécile **Maisonneuve**, Présidente GT3

---

Felix **Von Pechmann**, RATP

---

Maïté **Jaureguy-Naudin**, RTE

---

Thomas **Veyrenc**, RTE

---

Nicolas **Paquin**, Saft

---

Marion **Lettry**, SER

---

Benoit **Schnell**, SPEGNN

---

Marie-claire **Aoun**, TIGF

---

Mathilde **Woringe**, TIGF

---

Céline **Vuillet**, TOTAL

---

Pascal **Manuelli**, Total

---

Antoine **Carbonel**, UFE

---

Damien **Siess**, UFE

---

Robin **Osmont**, UFE

---

Christophe **Chauvet**, Vice Président, UNELEG

---

Raphaëlle **Imbault**, Présidente de la Commission Climat et Efficacité Energétique, UNIDEN

# TABLE DES MATIERES

<b>AVANT-PROPOS</b>	<b>3</b>
<b>LISTE DE PERSONNES AYANT PARTICIPE AUX RÉUNIONS DU GROUPE DE TRAVAIL</b>	<b>6</b>
<b>TABLE DES MATIERES</b>	<b>8</b>
<b>RÉSUMÉ</b>	<b>10</b>
<b>PREMIERE PARTIE :</b> <b>UN MIX ÉNERGÉTIQUE DU SECTEUR DES TRANSPORTS AMENÉ À ÉVOLUER EN PROFONDEUR</b>	<b>12</b>
<b>1. UN MIX ÉNERGÉTIQUE ENCORE AUJOURD’HUI ORIENTÉ VERS LE « TOUT PÉTROLE »</b>	<b>14</b>
<b>2. UN LARGE CONSENSUS SUR LES ÉLÉMENTS QUI VIENNENT CHANGER LA DONNE</b>	<b>16</b>
<b>a. La montée des préoccupations environnementales</b>	<b>16</b>
<b>b. Un cadre réglementaire de plus en plus contraignant</b>	<b>17</b>
<b>c. Un rapport à la mobilité des personnes qui évolue</b>	<b>20</b>
<b>d. Une mobilisation politique croissante des acteurs centrée sur les pollutions locales</b>	<b>21</b>
<b>e. Des progrès technologiques qui rendent possible les mutations du secteur des transports</b>	<b>21</b>
<b>3. DES INCERTITUDES SUBSISTENT</b>	<b>24</b>
<b>a. Le comportement des acteurs économiques</b>	<b>24</b>
<b>b. Le véhicule autonome, un avenir à plus long terme</b>	<b>24</b>
<b>c. La grande inertie du système énergétique</b>	<b>25</b>



## **DEUXIEME PARTIE :**

LE GAZ ET LES BIOCARBURANTS, CARBURANTS ALTERNATIFS

POUR UN TRANSPORT DE MARCHANDISES PLUS PROPRE ..... **26**

**1. DANS LE TRANSPORT ROUTIER** ..... **28**

**2. DANS LE TRANSPORT MARITIME** ..... **30**

**3. DANS L'AÉRIEN, LES BIOCARBURANT** ..... **31**

## **TROISIEME PARTIE :**

DANS LE TRANSPORT DE PERSONNES, L'ÉLECTRICITÉ DEVRAIT PRENDRE UNE PLACE

PRÉDOMINANTE MAIS NON EXCLUSIVE ..... **32**

**1. LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE, AVENIR DU TRANSPORT PROPRE DE  
PERSONNES ET DE MARCHANDISES À COURTE DISTANCE** ..... **34**

**a.** Des scénarios larges mais convergents et qui s'accélèrent pour  
anticiper un développement fort du VE ..... **34**

**b.** Des infrastructures de recharge en net développement, malgré  
des questions résiduelles ..... **38**

**c.** Un impact sur le système électrique qui semble absorbable mais  
doit être anticipé ..... **43**

**2. LE GAZ ET LES BIOCARBURANTS COMME COMPLÉMENT** ..... **45**

# RESUME

Le groupe de travail N°1 du comité de prospective a consacré ses travaux à l'analyse des perspectives à échéance 2030 du développement des mobilités propres et de leurs impacts sur le mix énergétique. Les travaux du groupe se sont appuyés sur des présentations réalisées par des chercheurs et des acteurs du monde des transports et de l'énergie, afin d'éclairer les différents aspects de la question.

Il convient de prendre en compte toutes les dimensions de la mobilité, transport de personnes ou de marchandises dont les fondamentaux sont différents. Il faut aussi intégrer le rôle important que joue le secteur des transports (sous toutes ses formes, routier, maritime, aérien) dans les émissions de polluants et de gaz à effet de serre et prendre en compte la pression qui pèse sur les acteurs du secteur des transports et de l'énergie pour opérer un changement profond en faveur de mobilités propres. La montée des préoccupations environnementales s'illustre ainsi de plusieurs manières. Elle est portée au niveau local par une mobilisation citoyenne conséquente, particulièrement forte depuis le dieselgate, et par la prise de conscience d'un nombre croissant de collectivités, notamment de grandes métropoles, de la nécessité d'accompagner une transformation radicale non seulement de l'offre de transports collectifs mais également de la mobilité individuelle. Ces mobilisations se traduisent, au niveau international et européen par un durcissement des normes d'émission de polluants et de GES dans tous les secteurs du transport, l'Europe apparaissant nettement en pointe. Les progrès technologiques jouent aussi un rôle déterminant.

Ce changement annoncé de paradigme devrait ainsi se traduire par un développement, en parallèle, de nouveaux moyens de transports fonctionnant à l'électricité, au gaz ou encore à l'hydrogène ou aux biocarburants. Il s'appuie sur des progrès importants, qui rendent désormais possible ce qui pouvait sembler hier un horizon encore incertain. Deux exemples typiques peuvent illustrer ce propos : d'une part, la baisse continue du coût des batteries électriques et son corollaire, l'augmentation de l'autonomie des véhicules, qui représente une étape essentielle à leur développement; d'autre part la perspective de développement de biocarburants dits de « 2ème génération », qui devrait permettre de proposer une alternative énergétique moins polluante que les carburants traditionnels. Toutefois de nombreuses incertitudes planent encore sur le secteur, rendant les projections quant au poids respectifs des différentes alternatives encore fragiles. En tout état de cause, pour parvenir au respect des engagements notamment définis lors de la COP21, tous les modes de transports, de personnes comme de marchandises, devraient, dans un horizon assez rapproché, connaître des transformations profondes de leurs modes de propulsion.

Dans le secteur du transport des marchandises, il apparaît que le gaz et les biocarburants pourraient représenter deux alternatives particulièrement prometteuses. Le transport maritime, qui est particulièrement concerné non seulement par les émissions de gaz à effet de serre mais aussi, et surtout, par la pollution au soufre, pourrait bénéficier d'une augmentation de la propulsion au gaz naturel liquéfié. Toutefois, la transformation du secteur devrait être lente compte tenu de l'inertie du secteur et des contraintes logistiques. Dans le secteur du transport routier de marchandises, plusieurs solutions semblent envisageables. Le gaz et les biocarburants représentent deux alternatives intéressantes avec des atouts différents. Le transport au gaz pourrait notamment bénéficier de la croissance rapide constatée sur le réseau de distribution. Alors que l'on a longtemps considéré qu'un cercle vicieux s'était établi entre d'une part le manque d'infrastructures et d'autre part le faible investissement des constructeurs automobiles,

tous les acteurs se rejoignent désormais pour constater que cette période est dépassée, et que la croissance du nombre de stations permet désormais d'envisager plus sereinement le développement d'un transport routier au gaz. Dans le secteur aérien, les biocarburants de 2eme génération pourraient représenter l'alternative la plus efficace.

En matière de transport de personnes, les travaux du groupe ont notamment mis en évidence les perspectives du développement rapide de ventes de véhicules électriques. Cette perspective, appuyée en France par un faible coût de l'électricité et une mobilisation des acteurs du secteur, se traduit dans de nombreux scénarios modélisant la pénétration, à horizon 20 ans, du véhicule électrique. L'ensemble des scénarios étudiés par le groupe laissent entrevoir un parc minimal de 3 millions de véhicules en 2035, pouvant monter à 15 millions dans les hypothèses les plus ambitieuses. De nombreuses conditions semblent toutefois devoir être réunies pour y parvenir : la réduction du coût des véhicules, le développement de points de charge adaptés aux différents besoins (selon les territoires, les axes routiers et les usages), ainsi qu'une réflexion approfondie sur les impacts d'une pénétration massive des véhicules électriques sur les besoins en charge. L'ensemble des acteurs convergent ainsi pour affirmer que le développement du véhicule électrique ne se traduira pas par une augmentation majeure de la consommation d'électricité. Par contre il peut avoir un impact significatif sur l'appel de puissance. Des progrès technologiques couplés à l'adoption d'une tarification dynamique doivent être mis en œuvre pour permettre de lisser la charge.

En tout état de cause, aucune technologie ne saurait à elle seule représenter la solution unique au besoin de décarbonation et dépollution du secteur des transports. Les travaux du groupe ont mis en lumière la complémentarité de l'ensemble des technologies alternatives existantes, complémentarité qui conduit à encourager au déploiement de toutes ces possibilités. Dans un contexte où la concurrence internationale pour capter ce nouveau marché industriel de production de moyens propres de transport devrait être particulièrement rude, la question de la structuration d'une filière industrielle européenne devra, quoiqu'il advienne, être prise en compte. Le groupe souligne enfin la nécessité d'intégrer dans les décisions à prendre une approche globale incluant l'impact environnemental du « puits à la roue » et les contraintes financières et budgétaires.

# 1



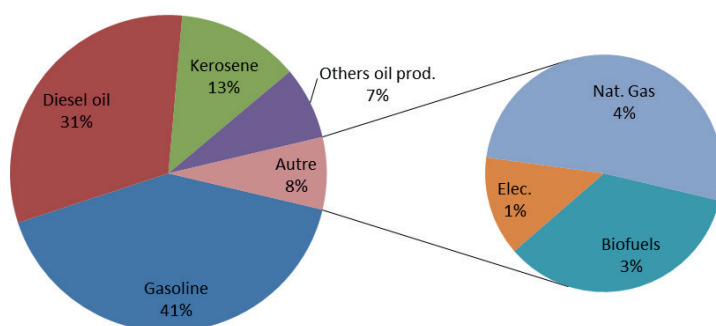
**PREMIERE PARTIE :**  
**UN MIX ÉNERGÉTIQUE DU SECTEUR  
DES TRANSPORTS AMENÉ À ÉVOLUER  
EN PROFONDEUR**

# 1. UN MIX ÉNERGÉTIQUE ENCORE AUJOURD'HUI ORIENTÉ VERS LE « TOUT PÉTROLE »

## UN MIX ÉNERGÉTIQUE DU SECTEUR DES TRANSPORTS DOMINÉ PAR LE PÉTROLE, DANS LE MONDE COMME EN FRANCE

Le secteur des transports est, historiquement, particulièrement dépendant de la consommation de produit pétroliers. Son mix énergétique est à ce jour composé à plus de 90% de produits pétroliers : comme le montre le graphique suivant, en 2012, le pétrole fournissait près de 92% de la consommation mondiale d'énergie du secteur, 4% pour le gaz, 3% pour les biocarburants et 1% pour l'électricité. De plus, les transports pèsent pour près de la moitié de la consommation de pétrole dans le monde et cette consommation a connu une croissance ininterrompue depuis les années 80, faisant du secteur des transports un enjeu stratégique majeur pour les industriels du pétrole.

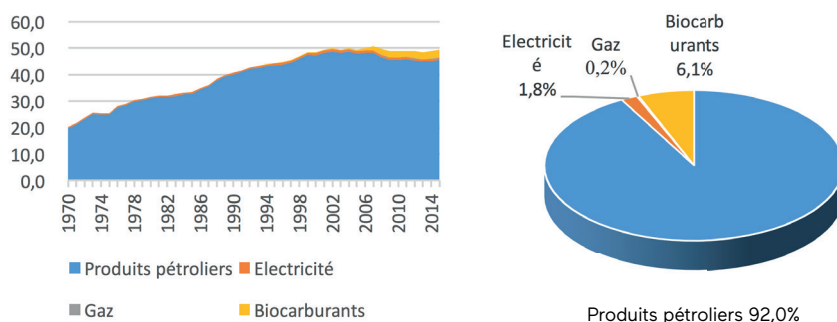
Graphique : Mix énergétique mondial du secteur des transports en 2012



Source : AIE

La consommation française du secteur des transports est très similaire à celle observée dans le monde. Depuis le début des années 70, on constate une multiplication par 2,5 de la consommation, puis une stagnation à partir du début des années 2000 (autour de 50 MTEP), avec une montée progressive (mais encore relativement marginale) des carburants alternatifs au pétrole. Le pétrole et ses dérivés représentent également 92% de la consommation, les biocarburants et l'électricité y sont plus développés (respectivement 6% et 2% du mix total).

Graphique n°1 : Evolution du mix énergétique du secteur des transports en France depuis 1970



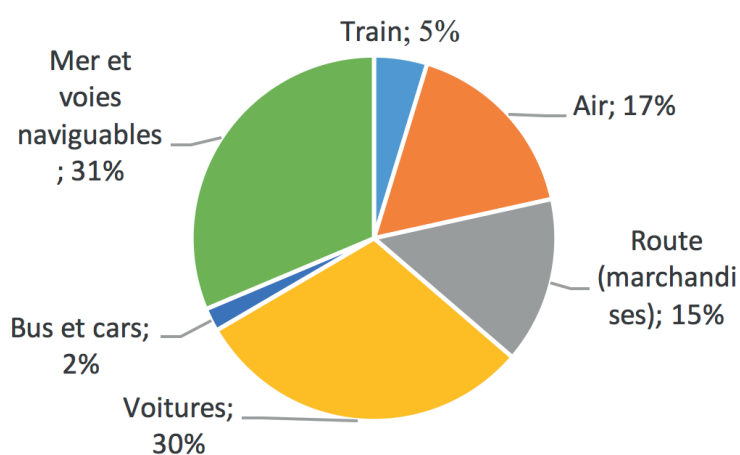
Source : Service de la donnée et des études statistiques, CGEDD

## LE SECTEUR DES TRANSPORTS, FACTEUR PRÉPONDÉRANT DANS LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE.

Le secteur des transports est, à lui seul, responsable de 14% des émissions mondiales de gaz à effet de serre et de 27% des émissions au seul niveau européen (1er facteur d'émission de GES, devant la production d'électricité et de chaleur). Par ailleurs, les données de l'agence européenne de l'environnement mettent en lumière que depuis 1990, en Europe, le secteur des transports est le seul dont l'activité contribue à augmenter la quantité d'émission de GES (de plus de 20% par rapport à son niveau de 1990) alors que l'ensemble des autres secteurs (industrie, construction, agriculture ou production d'énergie) ont pour leur part diminué leurs émissions de près de 20% chacun.

Au sein du secteur des transports, les évaluations respectives du poids des différents modes de transport sont nombreuses et peut parfois diverger. Toutefois, selon des données 2012 de l'OCDE, le transport de marchandises et le transport de personnes seraient chacun responsable d'un volume d'émissions à peu près équivalentes (respectivement 4,42 GtCO<sup>2</sup> et 4,25 GtCO<sup>2</sup>). Deux sous-secteurs apparaissent comme contribuant particulièrement aux émissions : le transport maritime (31% des émissions de GES tous secteurs de transport confondus) et le transport individuel de personnes (30%). Le transport aérien (notamment de passagers) et le transport routier contribuent pour leur part respectivement à 17% et 15% des émissions.

Graphique n°2 : Emissions de GES par sous-secteur des transports dans le monde en 2012



Source : Groupe de travail d'après OCDE, in « Croissance, énergie, climat, dépasser la quadrature du cercle », Philippe Charlez, éditions Deboeck.

Cette distribution met l'accent sur les secteurs dont la décarbonation apparaît à ce jour la plus importante. Ce constat est d'autant plus important que les prévisions, réalisées par l'OCDE, d'évolution des émissions de gaz à effet de serre à horizon 2030 et 2050 donnent à voir, en l'absence de mesure de régulation des émissions, leur augmentation rapide, sous l'effet notamment du développement économique des pays extérieurs à la zone OCDE.

## 2. UN LARGE CONSENSUS SUR LES ÉLÉMENTS QUI VIENNENT CHANGER LA DONNE

---

### a. La montée des préoccupations environnementales

L'évolution en profondeur qui s'annonce du secteur des transports et des énergies qui l'alimentent tient en grande partie à la montée des préoccupations environnementales et s'appuie sur une mobilisation croissante des opinions publiques, ce qui lui confère une légitimité politique indiscutable.

#### LA LUTTE CONTRE LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Ce constat d'un secteur des transports très fortement dominé par les produits pétroliers et responsable d'une part conséquente des émissions de gaz à effet de serre dans le monde fait peser sur le secteur une pression importante au regard des enjeux climatiques. On constate en effet ces dernières années une accélération du réchauffement climatique : la température est supérieure de 1,1 degré à ce qu'elle était au début du XXème siècle et continue d'augmenter de 0,17 degrés par décennie. Au rythme actuel, on pourrait atteindre une hausse supérieure à 3 degrés en 2100, bien au-delà du « scénario 2°C », seuil au-delà duquel les scientifiques craignent des effets irréversibles pour la planète.

C'est pourquoi l'accord de Paris, issu de la COP21, a conduit chacun des pays signataires à prendre des engagements en matière de réduction de ces gaz à effets de serre afin de limiter la hausse des températures à 2 degrés voire, si possible, 1.5 degré. Cela imposerait concrètement d'atteindre la neutralité carbone au cours de la deuxième moitié du 21ème siècle. En matière de transports, le « *Paris Process for Mobility and Climate* », processus né du moment de la COP 21, vise à faire émerger une stratégie mondiale de décarbonation du secteur des transports, par la mobilisation des acteurs publics et privés.

En France, ces engagements sont notamment traduits dans la stratégie nationale bas-carbone issue de la loi de transition énergétique et adoptée par le gouvernement français en novembre 2015. Elle fixe deux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre de 40 % (entre 1990 et 2030) et de division par quatre à horizon 2050. Dans le secteur des transports, elle définit, entre autres, un objectif sur la période 2015-2028 de baisse de 29% des émissions de gaz à effet de serre et « d'au moins deux-tiers » à horizon 2050, grâce notamment à l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules et à la promotion de véhicules propres.

La Stratégie nationale bas carbone est en cours de révision, en liaison avec les travaux de préparation de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE). L'objectif visé serait la neutralité carbone à l'horizon 2050, au lieu d'une division par quatre des émissions de CO<sup>2</sup>.



## LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION DE L'AIR ET LE DIESELGATE

Au-delà de la montée en puissance des préoccupations de réduction des gaz à effet de serre, la prise de conscience des effets néfastes sur la santé des émissions de polluants atmosphériques (NOx et particules fines en particuliers) émerge et contribue à mettre sous pression le secteur des transports, en particulier celui des véhicules à carburants traditionnels. Le « dieselgate », crise intervenue en 2015 à la suite de la découverte de pratiques frauduleuses de certains constructeurs de véhicules destinées à artificiellement diminuer la mesure des polluants atmosphériques émis par leurs véhicules, a été à cet égard particulièrement important, contribuant non seulement à la prise de conscience de l'ensemble des acteurs de l'urgence à faire changer ces pratiques et à diminuer la place des véhicules à carburants traditionnels.

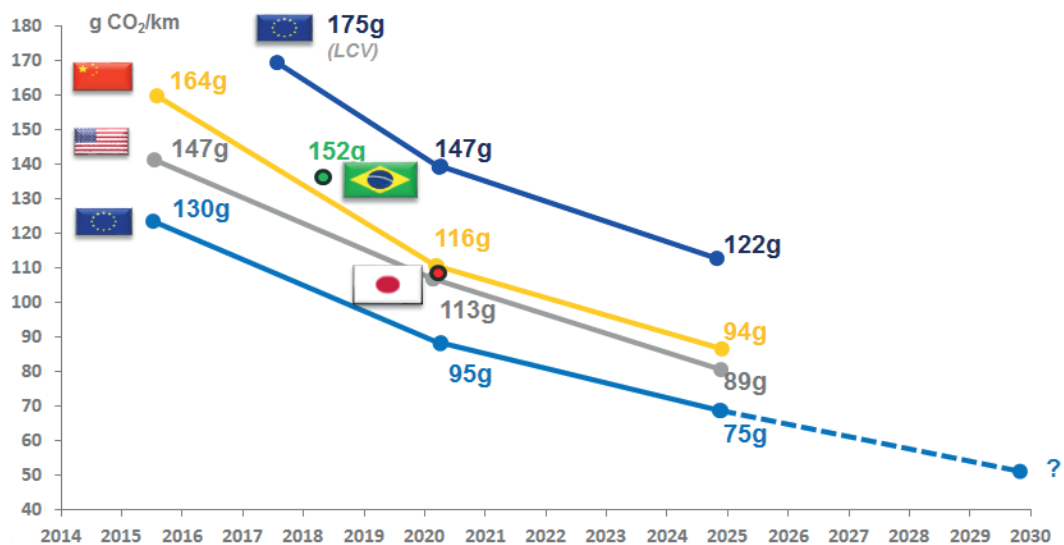
### b. Un cadre réglementaire de plus en plus contraignant

Les évolutions passées et futures des modes de transport s'inscrivent dans un cadre réglementaire particulièrement contraignant, dont le degré de sévérité croît à mesure que les préoccupations environnementales augmentent. Ce cadre réglementaire concerne aussi bien les émissions des gaz à effet de serre que les émissions de l'ensemble des polluants atmosphériques.

A cet égard, les normes européennes d'émission (normes relatives aux émissions de CO<sup>2</sup> ou normes dites « Euro » pour les polluants atmosphériques), jouent un rôle particulièrement structurant. Règlements de l'Union européenne qui fixent des limites maximales d'émission de polluants pour les véhicules roulants, ces normes ont été régulièrement renforcées depuis leur introduction en 1992.

Comme le montre le graphique ci-dessous en matière d'émission de CO<sup>2</sup>, la dynamique d'émission introduite par les normes européennes est désormais suivie par les Etats-Unis et la Chine, qui ont eux aussi défini des objectifs de réduction des émissions de véhicules sur des tendances similaires aux objectifs européens, mais à des niveaux qui restent toutefois sensiblement plus élevés.

**Graphique n°3 : Synthèses des principales normes d'émissions de GES en vigueur**



Source : Plateforme de la filière automobile

Cette dynamique pourrait être encore renforcée par l'ambition, affichée par la Commission européenne en novembre 2017, d'introduire de nouveaux objectifs de réduction des émissions de CO<sup>2</sup> des véhicules neufs : réduction supplémentaire de 15% des émissions à horizon 2021 par rapport à la cible actuellement fixée pour 2021 de 95 g/km puis de 30% à horizon 2030. Si ce projet est encore à ce jour débattu par les institutions européennes (adoption prévue en 2019), il illustre bien la tendance à l'accélération de la transformation du secteur et au durcissement des normes dans lequel l'Europe est engagée.

Assortis d'amendes conséquentes en cas de non-respect des objectifs assignés, ces normes d'émission de CO<sup>2</sup> pourraient prochainement conduire, selon plusieurs études <sup>1</sup>, à la condamnation de certains constructeurs automobiles qui ne respecteraient pas l'objectif actuel de 95g/km en 2021 pour des montants très importants (évalués à plus de 1 Md€ pour certains des constructeurs concernés). Cette perspective pourrait jouer, sans doute, un rôle non négligeable dans les transformations stratégiques vers le véhicule propre opérés par les constructeurs automobiles.

Par ailleurs, d'autres textes réglementaires contribuent à encadrer les émissions de polluants et accompagnent le développement des mobilités propres. A cet égard, deux directives fixent des objectifs importants à l'horizon 2020 en matière de carburants : la directive FQD (Fuel Quality Directive) qui fixe un objectif de réduction de 6% de l'intensité carbone des carburants et la directive RED (Renewable Energy Directive), qui prévoit notamment des objectifs d'incorporation de biocarburants. La révision de ces directives (programmée pour une adoption 2018 pour RED 2) devrait contribuer à durcir encore le cadre pour les carburants conventionnels. En matière de développement du véhicule électrique, on citera également la directive sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs (2014) ou encore la révision récente de la directive sur la performance énergétique des bâtiments, qui toutes deux, visent à accompagner et accélérer le développement du véhicule électrique sur le territoire européen.

<sup>1</sup> Consulter notamment à ce sujet <https://www.paconsulting.com/insights/2017/the-co2-emissions-challenge/>

Cet usage du cadre réglementaire comme moteur du développement des mobilités propres ou, à tout le moins, de carburants décarbonés, porte ses fruits. L'exemple du marché américain est parlant : une réglementation ambitieuse pousse au développement des biocarburants et devrait conduire à une hausse de 50% des usages entre 2017 et 2023, amenant la consommation à 100 Mtep (toutefois, l'administration Trump a annoncé récemment son intention de réviser à la baisse les réglementations environnementales applicables au secteur automobile). Au niveau de la réglementation française, le cadre est double : d'une part la loi sur la transition énergétique, qui fixe un objectif de 15% d'énergies renouvelables dans la consommation finale de carburants à horizon 2030, d'autre part la programmation pluriannuelle de l'énergie.

Dans les secteurs aérien et maritime, d'autres types de normes ou d'engagements entrent progressivement en vigueur, en vertu d'accords internationaux toutefois moins contraignants. Il en va ainsi notamment, dans le secteur aérien, de l'accord signé au sein de l'Assemblée générale de l'Organisation des Nations Unies pour l'Aviation Civile (OACI) le 7 octobre 2016, qui vise à organiser la compensation des émissions de gaz à effet de serre du secteur qui dépasseraient le niveau des émissions de 2020 par un système de crédits d'émissions. Cet accord, s'il est une première étape et représente, en cela, un pas utile vers une prise de conscience des acteurs de leur responsabilité en la matière, reste toutefois très en retrait par rapports aux ambitions poursuivies. Compte tenu des prévisions attendues de croissance du volume du transport aérien, notamment de passagers (qui devrait doubler d'ici 2030), seule une décarbonation « interne » à l'activité apparaît à même d'éviter une contribution croissante du secteur aérien à l'augmentation des émissions de GES. Dans ce cadre, les activités aériennes sont incluses dans le plafond d'émissions européen et le marché carbone européen depuis 2012.

Dans le transport maritime, un accord international a récemment été conclu (le 13 avril 2018), dans le cadre de l'Organisation maritime internationale visant à réduire de 50% les émissions de CO<sup>2</sup> des navires à l'horizon de 2050, compte tenu du cycle de vie des navires. C'est le premier accord concernant les émissions de gaz à effet de serre à être conclu dans ce secteur. Au niveau européen, les navires doivent mesurer leurs émissions à compter de 2018 pour un premier reporting au 30 avril 2019.

En matière d'émission de soufre, polluant atmosphérique particulièrement important dans le secteur maritime, l'annexe VI de la Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (Marpol) conclue dès 1997 prévoit de limiter à 0,5% la teneur maximale en soufre du fioul lourd consommé par les chaudières des navires dès 2020.

## c. Un rapport à la mobilité des personnes qui évolue

Cet encadrement renforcé des normes d'émissions s'accompagne d'évolutions sociétales importantes, qui devraient jouer un rôle non négligeable dans les évolutions du secteur des transports.

Ainsi, le rapport à la mobilité se transforme, à mesure de l'arrivée de nouvelles offres modales et du développement des technologies numériques. Les besoins en transport des populations s'en trouvent modifiés et appellent des réponses différenciées selon le type de besoin. Il est à cet égard essentiel de sortir du cliché qui consisterait à opposer les longues distances aux mobilités urbaines. La réalité est bien plus complexe, les différents modes se mélangent et les besoins en offre de transports sont très variés.

Sur les très courtes et longues distances, il existe aujourd'hui un large choix modal. Ainsi, dans les zones urbaines, denses, les évolutions des offres en transport se sont principalement traduites par des efforts visant à réduire la place du véhicule individuel au profit des mobilités douces ou des transports en commun. Sur très longue distance, le développement d'offre alternative au déplacement individuel (train, avion voire désormais autocar) a également été important ces dernières années.

Mais sur les distances intermédiaires (classiquement entre le domicile et le lieu de travail), dans les zones rurales comme péri-urbaines, l'offre de transports pêche souvent et la voiture reste, pour la plupart des personnes, le seul mode de transport envisageable. On notera, à cet égard, que les français ont, ces dernières années, progressivement éloigné leurs lieux de vie et de travail. La distance moyenne parcourue par un « navetteur »<sup>2</sup> était de 13 km en 1999, elle est de 14,6 km aujourd'hui. Ces distances moyennes nécessitent encore largement l'usage d'un véhicule individuel.

Dès lors les réflexions sur la mobilité doivent accorder une place à la voiture individuelle sans la voir comme une fatalité, source de pollution et d'occupation peu rationnelle de l'espace urbain, mais en l'intégrant aux raisonnements des pouvoirs publics, en tâchant d'une part d'en limiter l'usage (à titre d'exemple, 50% des déplacements sont fait pour une distance inférieure à 3 kilomètres et pourraient être drastiquement réduits) et d'autre part de rendre ces véhicules propres. Dans ce contexte, les enjeux dans les zones urbaines et rurales (ou à faible densité d'habitants) ne sont pas les mêmes et le monde rural appelle notamment le développement de solutions propres spécifiques, par exemple en matière d'usages davantage partagés – autopartage, covoiturage.

En tout état de cause, l'articulation de ces différents transferts modaux semble devoir être encore davantage pensée. L'« optimisation » des choix de transports, qui pourrait notamment permettre de limiter l'usage du véhicule individuel, semble à ce jour un objectif insuffisamment poursuivi.

---

<sup>2</sup> Individu utilisant quotidiennement son véhicule personnel pour les trajets domicile-travail

## **d. Une mobilisation politique croissante des acteurs centrée sur les pollutions locales**

Les évolutions à venir dans le secteur des transports sont sous-tendues, ces dernières années, par une mobilisation politique sans précédent, qui concerne désormais non seulement les pays développés mais également les grandes puissances économiques émergentes que sont la Chine ou l'Inde. On assiste ainsi notamment à la multiplication des engagements des métropoles à interdire le diesel, voire le véhicule thermique, en France mais aussi ailleurs dans le monde.

Ainsi, de nombreuses villes se sont engagées à devenir des « *low emission zones* » (Les premières en 1996, Tokyo en 2003, Londres en 2008) voire désormais des « *ultralow emission zones* » (Londres en 2019). Copenhague a l'ambition de devenir une « *zero emission zone* » en 2030. La ville de Paris a pour sa part annoncé la fin de la circulation des véhicules diesel pour 2024 et la fin des véhicules à essence pour 2030. A cet égard, l'exemple de Stuttgart est particulièrement symbolique. Berceau de l'industrie automobile allemande, la ville de Stuttgart a pris la décision d'interdire la circulation des véhicules roulant avec des normes inférieures à Euro5 à partir de l'année 2017 (inférieur à Euro6 à partir de 2019), une décision récemment validée par la Cour administrative fédérale.

Les annonces du gouvernement chinois envisageant, selon un calendrier encore inconnu, l'interdiction complète des ventes de véhicules à carburant fossile pourraient, à leur tour, profondément restructurer le marché automobile, conduisant les constructeurs chinois à se spécialiser rapidement sur les seuls véhicules électriques.

## **e. Des progrès technologiques qui rendent possible les mutations du secteur des transports**

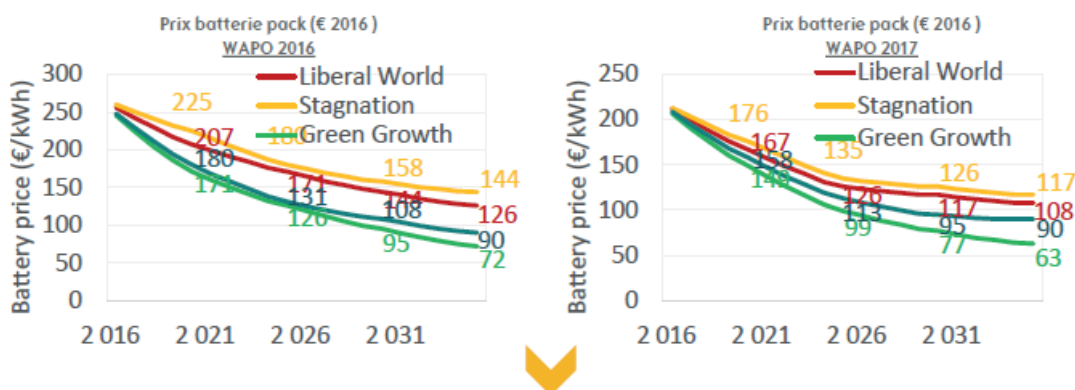
L'ensemble des constats précédemment évoqués dessinent un paysage changeant, dans lequel la norme en vigueur, celle de transports très majoritairement effectués grâce à des véhicules fonctionnant avec des moteurs thermiques, est remise en question à un rythme accéléré. Il convient ici de souligner l'importance des progrès technologiques passés ou annoncés, dans la transition vers une mobilité propre.

## DES PROGRÈS RAPIDES RELATIFS AUX BATTERIES POUR LES VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Le prix des batteries est un facteur clé de succès pour le développement des véhicules électriques. Ce prix a longtemps été élevé, freinant ainsi la croissance des ventes des véhicules électriques et limitant les perspectives de développement du secteur. Toutefois, les progrès technologiques réalisés récemment commencent à porter leurs fruits et le prix des batteries a amorcé une baisse significative qui devrait se poursuivre à un rythme accéléré (les modélisations de la PFA ont sensiblement évolué entre 2016 et 2017, conduisant à anticiper une baisse du prix moyen des batteries encore plus rapide).

Ainsi, on constate une réduction drastique et rapide du coût des pack batteries, passées de 1000 euros au kWh en 2010 à 200-250 euros aujourd'hui et sans doute moins de 100 à la fin des années 2020, selon les hypothèses de la PFA<sup>3</sup>. Cette baisse du coût conduit à un arbitrage pour les constructeurs automobiles, se reflétant à la fois dans une baisse possible du prix des véhicules et dans une augmentation de l'autonomie sur route des véhicules, condition sine qua none de leur succès. Les nouvelles générations de véhicules disposent actuellement en moyenne d'une autonomie d'environ 250 km mais cette moyenne pourrait rapidement être portée à 400 km.

Graphique n°4 : Hypothèses de prix de revient moyen des batteries



Source : Plateforme de la filière automobile

Comme le montre le graphique ci-dessus, issu des modèles de projections de la PFA, le prix des pack batteries devrait diminuer dans tous les scénarios de développement du véhicule électrique, sous l'effet notamment des améliorations de procédés, de l'emploi de nouveaux matériaux, d'un effet de « courbe d'apprentissage ». Mais l'effet volume, directement lié au rythme de développement des ventes, devrait également jouer un rôle particulièrement important dans la baisse du prix unitaire des batteries : dans une hypothèse de forte pénétration du véhicule électrique, le prix unitaire serait à horizon 2035 diminué de moitié.

<sup>3</sup>PFA, filière automobile et mobilité, est une organisation d'intérêt collectif qui rassemble la plupart des acteurs français de la filière

Par ailleurs, des choix technologiques restent encore à réaffirmer. A ce jour, la nature de la motorisation reste très segmentante pour le choix de la batterie. Si les batteries au lithium-ion sont aujourd'hui la technologie de référence, notamment pour les véhicules «tout électrique», tous les constructeurs automobiles n'ont pas fait les mêmes choix.

Enfin, d'autres évolutions sont également à l'œuvre. La première concerne le rythme de recharge des batteries, qui s'accélère fortement mais doit être adapté pour ne pas endommager la batterie. La deuxième concerne le développement de chargeurs intelligents qui peuvent accepter différents types de recharges de différentes puissances, ce qui pourrait permettre de moduler leur impact sur les réseaux électriques. La troisième concerne l'autonomie des batteries. Pour améliorer la densité en énergie des batteries, de nouvelles technologies, employant de nouveaux matériaux et procédés, pourraient arriver sur le marché dans un horizon proche (3 à 5 ans). Enfin, la mise au point de nouvelles technologies, dites «tout solide», qui amélioreraient nettement l'autonomie des véhicules, pourrait représenter, à terme, une nouvelle rupture technologique.

Ces avancées technologiques, au rythme et à l'ampleur encore incertains à ce jour, devraient non seulement conditionner les perspectives de développement du véhicule électrique mais également influencer sur leur impact sur le système électrique dans son ensemble.

## **DES PROGRÈS CONDUISANT À OPTIMISER LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES VÉHICULES**

Au-delà des progrès technologiques précédemment cités, on peut s'attendre à ce que des évolutions, s'appuyant sur ces progrès mais également sur le numérique, conduisent à améliorer l'efficacité énergétique des véhicules, et donc à faire diminuer, nettement, leur consommation. Ainsi, alors que la consommation moyenne des véhicules à carburants traditionnels est aujourd'hui d'environ 4,6 L/100 km, une combinaison de progrès pourrait, à terme, permettre de diminuer leur consommation à 2 L/100 km. Parmi ces progrès, on retiendra notamment l'amélioration de l'aérodynamisme, la réduction des frottements, ainsi que l'ensemble des gains liés à l'hybridation, notamment au démarrage.

## **LE DÉVELOPPEMENT DES BIOCARBURANTS DE 2ÈME GÉNÉRATION**

Les biocarburants (éthanol et biodiesel) sont considérés comme une alternative crédible, peu coûteuse et technologiquement simple à mettre en œuvre, aux carburants conventionnels. Toutefois, leur coût agro-environnemental a conduit à freiner leur développement. De récents progrès permettent aujourd'hui d'envisager le développement de biocarburants dits de « 2ème génération », n'utilisant plus de denrées alimentaires mais plutôt des résidus, de la biomasse ligno-cellulosique. Ils sont désormais considérés comme l'avenir des biocarburants et conduisent à renforcer la conviction que ces carburants pourraient contribuer, à leur échelle, à la décarbonation attendue du secteur des transports. Dans cette perspective, de nouvelles lignes de production (ou de démonstration) sont en cours d'installation en Europe (en éthanol ligno-cellulosique, en biogazole et en bioGNV).

On soulignera toutefois que la remise en cause, plus globale, des véhicules à carburants traditionnels (et pas uniquement des véhicules circulant au diesel), alimentée notamment par le dieselgate, pourrait conduire à limiter l'ampleur du développement des biocarburants. En effet alors qu'ils ont été développés dans une optique de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre, ils sont moins adaptés pour répondre à l'autre préoccupation environnementale, relative à la lutte contre la pollution de l'air. Dès lors, les perspectives de développement des biocarburants pourraient être freinées par la volonté de limiter la place des véhicules légers à carburants traditionnels, voire de les interdire.

### 3. DES INCERTITUDES SUBSISTENT

---

Toutefois, ces tendances lourdes qui dessinent une accélération du développement des mobilités propres restent soumises à des incertitudes de nature variée.

#### a. Le comportement des acteurs économiques

La question des choix comportementaux des consommateurs reste pleinement ouverte. Il est en effet délicat d'anticiper les choix individuels en matière d'alternatives servicielles aux déplacements inutiles : pour limiter la consommation d'énergie dans les transports, il conviendrait en effet de limiter les transports inutiles notamment les très courtes distances parcourues par des véhicules particuliers. Toutefois, l'atteinte de cet objectif dépendra en grande partie des choix individuels de recours soit à des mobilités douces (pour les très courtes distances) soit à des transports collectifs ou à de l'autopartage. Des mécanismes d'incitation à ce type de comportements vertueux pourraient à cet égard être nécessaires.

Par ailleurs, la question du coût individuel des mobilités doit être prise en compte : le coût peut être un moteur pour encourager au développement de mobilités propres, mais ce n'est pas encore le cas aujourd'hui. Il n'existe à ce jour aucun « signal prix » clair envoyé aux automobilistes ou aux gestionnaires de flottes : le coût au kilomètre du transport en voiture individuel est encore très compétitif et la fiscalité sur les carburants ne joue plus de rôle incitatif compte tenu de son niveau déjà élevé.

#### b. Le véhicule autonome, un avenir à plus long terme

Les perspectives de développement du véhicule autonome font l'objet de débats. Celui-ci pourrait apporter des solutions, notamment aux enjeux de décongestionnement de certains axes, s'il est pensé prioritairement comme une flotte de véhicules mis en partage et pourrait ainsi à terme conduire à une réduction de la place des véhicules dans les villes. Toutefois, cette perspective est encore lointaine et pourrait être contredite, en cas de développement rapide du véhicule autonome entraînant une nette réduction du coût de la mobilité, par le développement important de la flotte, conduisant à l'inverse à une hausse de la demande de transport et une densification des véhicules en circulation.

Il semble en tout état de cause acquis que le véhicule autonome se développera en premier lieu sous la forme de navettes autonomes, sur des trajets plus ou moins fixes : actuellement la technologie peut être maîtrisée en ville à basse vitesse ou sur autoroute, mais pas encore au sein d'une « flotte mixte ». Dans certaines situations (véhicule autonome comme navette urbaine), les modélisations réalisées dans des villes comme Lisbonne ou Helsinki tendent à montrer des résultats potentiellement impressionnants sur la réduction de la congestion automobile. Toutefois, les premières expériences (Helsinki, Boston, Kansas City) ne sont à ce stade pas concluantes, en raison notamment de la fragilité de leur modèle économique. Le développement du véhicule autonome appellera à cet égard des progrès tant en matière d'organisation et de tarification adaptée du service, que d'évolution des mentalités.



## c. La grande inertie du système énergétique

Dans l'ensemble des éléments à prendre en compte pour anticiper les mutations du secteur, l'inertie du système énergétique ne doit pas être négligée. On l'a vu dans le cas de l'accord sur le transport maritime, l'horizon de transformation du système est souvent considéré comme celui de la durée de vie du mode de transports, 30 ans en ce qui concerne un navire, plus encore pour un avion. En matière de transport routier, les durées de vie sont toutefois plus courtes. Le taux de renouvellement du parc de la voiture particulière est de l'ordre de 15 ans, celui des véhicules lourds plutôt entre 7 et 10 ans. Ce constat appuie l'intérêt des dispositifs d'incitation au renouvellement accéléré du parc, type « prime à la casse ».

L'ensemble de ces constats, largement partagés par les acteurs du secteur et source d'un consensus fort lors des travaux du comité de prospective, conduisent à dessiner un avenir de la mobilité propre différent selon les types de transports analysés et les usages associés.

# 2



**DEUXIEME PARTIE :**  
**LE GAZ ET LES BIOCARBURANTS,**  
**CARBURANTS ALTERNATIFS POUR**  
**UN TRANSPORT DE MARCHANDISES**  
**PLUS PROPRE**

# 1. DANS LE TRANSPORT ROUTIER

---

Le transport routier de marchandises, largement diésélisé à ce jour, est un secteur particulièrement stratégique en matière de décarbonation et de lutte contre la pollution atmosphérique. Il convient, tout d'abord, de souligner le caractère assez atomisé du secteur en France et la part croissante, dans le transport routier, prise par des entreprises à pavillon « *low cost* » en provenance de pays d'Europe de l'Est, sur lesquels seul le durcissement des réglementations de circulation peuvent agir. Il convient également de ne pas ignorer que le secteur connaît de faibles marges, dans lequel le coût des carburants représente, selon les distances poursuivies, entre 16 et 23% du coût de revient. La question du coût de la transformation à opérer apparaît donc particulièrement sensible.

A cet égard, le gaz représente un carburant alternatif prometteur, notamment en raison de son niveau de maturité : il est aisément disponible, les constructeurs automobiles maîtrisent la technologie et le réseau gazier et les infrastructures de distribution sont là. Il permet de remplir les critères d'émissions de polluants atmosphériques (NOx, SOx, particules fines notamment PM2,5). En matière d'objectif de « décarbonation », en utilisant du gaz d'origine fossile, le gain varie entre 5 à 15 % selon le type d'usage et de véhicules. Dès lors que le gaz utilisé est d'origine renouvelable (BioGNV), les gains sont beaucoup plus élevés avec des réductions de 80% par rapport aux carburants traditionnels.

Les objectifs de développement de la filière sont importants : 200 000 VL, 250 000 utilitaires et 180 000 poids-lourds au gaz en 2030 (dans le scénario le plus ambitieux établi par l'association française du gaz naturel véhicule - AFGNV). Ce scénario permettrait, en proportion de l'incorporation de bioGNV (de 20% à 40% selon les hypothèses), une baisse des émissions de GES. Cette ambition pourrait être rendue possible par l'accélération du maillage territorial que l'on constate et anticipe : alors qu'il existait 125 points d'avitaillement fin 2017, l'AFGNV prévoit qu'il en existe 700 d'ici 5 ans et 2000 en 2030 (au rythme d'une ouverture par mois en 2016, de 2 par mois en 2017 et d'une par semaine en 2018...).

Cette dynamique est fondamentale et illustre le décollage de la filière. La question n'est plus de savoir si on pourra avoir accès à des stations d'avitaillement au gaz, mais seulement à quel rythme celles-ci seront disponibles. Un réel consensus s'établit ainsi désormais pour dire que l'on est sorti du discours sur « la poule et l'œuf », conduisant à justifier le faible développement des ventes de véhicules au gaz par le peu d'infrastructures de distribution disponibles, et le manque d'infrastructure par la faiblesse du parc. Le sujet est désormais davantage celui du rythme de la montée en charge, de la confiance des acteurs, et de la manière de le faire au meilleur coût, tant financier qu'environnemental.

La logistique d'avitaillement se structure en effet progressivement, en parallèle, à la fois sous la forme de stations publiques, ouvertes à tous, mais également par des stations dédiées pour une flotte privée. La grande majorité des stations ouvertes récemment sont des stations publiques accessibles aux poids lourds. Le développement des stations, qu'elles soient d'accès public ou privé, est réalisé soit par des acteurs publics (collectivités locales et syndicats d'énergie) ou des acteurs du marché (opérateurs gaziers, carburantiers, etc.)

On notera à cet égard un appel à projet lancé par l'État et l'ADEME pour accélérer l'installation de stations au GNV soutenu à hauteur de 30M€ par l'Etat (soutien financier tourné principalement vers l'achat de véhicules qui vise à augmenter le nombre de véhicules, donc à rentabiliser les investissements dans les stations).

Les prévisions conjointes GRDF, GRTgaz, TEREGA et SPEGNN envisagent environ 70% des bus et 25% des camions fonctionnant au gaz à horizon 2035, ce qui représenterait, en matière de volumes acheminés, entre 20 et 50 TWh.

Un tel développement du transport au gaz ne devrait pas poser de difficultés particulières au niveau des réseaux de transport et de distribution-réseau. GRDF considère ainsi, compte tenu de la réduction de la consommation de gaz constatée et attendue grâce à la sobriété énergétique dans le résidentiel, que les réseaux sont largement susceptibles d'absorber le flux que représenterait un développement des transports au gaz, et que les investissements que cela nécessiterait apparaissent limités. Toutefois si le développement du transport de marchandises au GNV est désormais enclenché, les écarts de coûts à l'achat (30%) des véhicules restent un frein majeur. La question de l'incitation financière à l'achat de ce type de véhicule devra se poser.

## L'INCERTITUDE AUTOUR DE L'HYDROGÈNE

Après avoir connu un premier essor au début des années 2000, le transport à l'hydrogène poursuit son développement avec des plans de déploiement d'infrastructures dans certaines régions du monde (notamment Japon). A ce jour, des industriels mondiaux et des collectivités se sont engagées dans divers modes de transport à l'hydrogène. Ainsi, le Conseil Mondial de l'Hydrogène a été créé en 2017 réunissant les principaux acteurs concernés. Le principal frein identifié est la capacité à rentabiliser les investissements que les industriels seraient prêts à consentir moyennant des politiques publiques de long terme claires et stables. Les risques en matière de sécurité font l'objet d'avancées.

## 2. DANS LE TRANSPORT MARITIME

---

Le transport maritime (transports de marchandises principalement, mais également de passagers) est, on l'a vu, un secteur en forte croissance source à la fois d'émission de gaz à effet de serre mais aussi de pollution au soufre, qui fait l'objet d'une attention particulière.

Pour poursuivre cet objectif de limitation des émissions de soufre, couplé à la volonté de réduction des émissions de GES, trois options s'offrent aux armateurs : le maintien du système actuel avec l'installation sur les bateaux de dispositifs (*scrubers*) permettant de réduire les émissions de soufre à l'échappement des navires, le choix d'un carburant liquide désulfuré ou le passage au gaz naturel liquéfié (GNL). Leurs poids respectifs dans le futur mix énergétique dépendront largement des évolutions de leurs prix. L'échéance de 2020 fixé par la directive Soufre se rapproche rapidement, mais il est constaté, à ce stade, encore beaucoup d'attentisme.

En effet, au-delà du coût des carburants, le coût du changement de flotte est également majeur. Il est assez vraisemblable que les arbitrages financiers d'une majorité des acteurs se tournent tout d'abord vers les solutions les moins coûteuses initialement (*scrubers*), et que le développement de la propulsion au gaz, dans un contexte où les infrastructures portuaires devront être adaptées pour permettre sa distribution, n'intervient qu'à un horizon plus éloigné.

Toutefois le GNL semble se développer à un rythme désormais affirmé et apparaît progressivement comme une solution efficace de dépollution du secteur. Ainsi, 103 bateaux étaient en activité en 2017, dans tous les segments (tankers, porte-conteneurs, transports de passagers...) et 97 bateaux étaient en commande sur la période 2017-2019. La flotte devrait donc être amenée à doubler en 3 ans. Toutefois, leur nombre reste très faible au regard de la flotte actuellement en activité (près de 45 000 navires tous segments confondus).

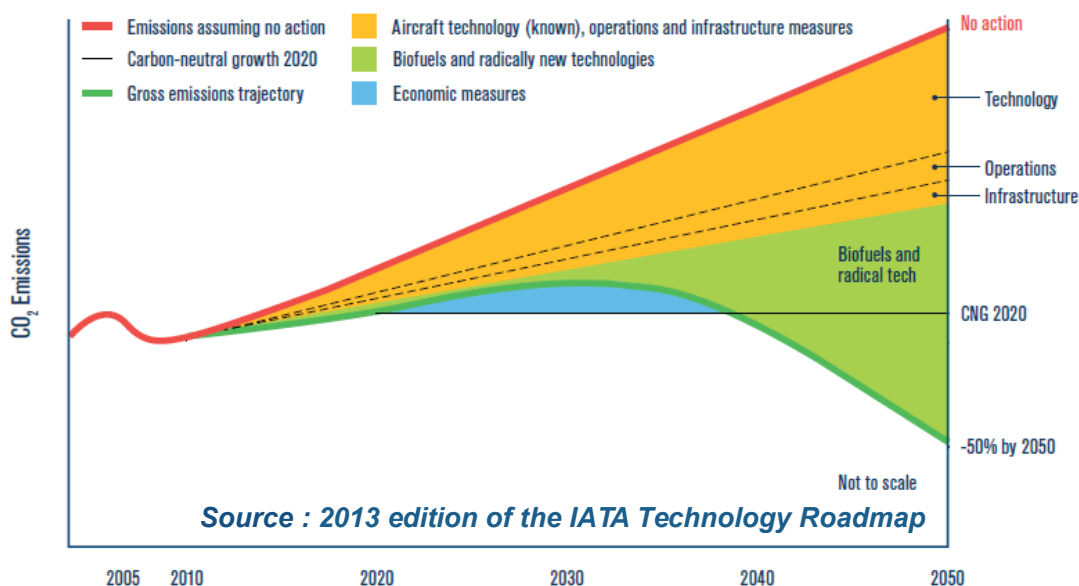
Certains grands armateurs et industriels se tournent vers le GNL maritime, notamment Maersk, plus grand armateur de porte-conteneurs au monde, qui a noué un partenariat avec Qatargas et Shell pour le développement du GNL maritime, la CMA CGM qui a confirmé en 2017 la commande de 9 navires porte-conteneurs au GNL, l'alliance d'armateurs européens Gothia Tanker Alliance qui a commandé 6 navires à propulsion duale GNL/fioul ou encore le groupe VW a commandé 2 navires au GNL pour transporter ses véhicules entre l'Europe et les Etats-Unis. Bien qu'elles restent minoritaires, ces commandes pourraient jouer un rôle majeur dans la structuration de la logistique mondiale, car il va falloir adapter les chaînes d'avitaillement aux besoins de ces bateaux.

Différentes solutions existent en effet en matière d'avitaillement, qui rendent possible le recours au gaz pour toutes les formes de transport : du camion au bateau, par le biais d'installations fixes dans les zones portuaires ou par le biais de barges mobiles qui permettent d'avitaillement les plus gros navires au large des zones portuaires. Mais en tout état de cause, les infrastructures portuaires devront s'adapter à cette nouvelle demande.

### 3. DANS L'AÉRIEN, LES BIOCARBURANTS

La décarbonation du secteur du transport aérien apparaît particulièrement problématique en raison du peu d'alternatives technologiques. Dans son ensemble, le secteur s'est fixé l'ambition de parvenir, en 2050, à diviser par deux ses émissions. En termes de carburant, pour y parvenir, la seule piste réellement sérieuse à ce jour pour décarboner le secteur du transport aérien est celle des biocarburants liquides. Toutefois l'introduction de biocarburants ne saurait à elle seule suffire à limiter les émissions à hauteur des ambitions affichées, et des progrès importants devront également être réalisés notamment en limitant le poids des appareils ou encore en décarbonant le roulage au sol, source d'une part importante des émissions actuelles.

Graphique n°5 : Perspectives de maîtrise des émissions de GES dans le transport aérien



Source : Conseil Français de l'Énergie

# 3





**TROISIEME PARTIE :**  
**DANS LE TRANSPORT DE PERSONNES,**  
**L'ÉLECTRICITÉ DEVRAIT PRENDRE**  
**UNE PLACE PRÉDOMINANTE**  
**MAIS NON EXCLUSIVE**

# 1. LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE, AVENIR DU TRANSPORT PROPRE DE PERSONNES ET DE MARCHANDISES À COURTE DISTANCE

---

En matière de transports de personnes, la perspective du développement du véhicule électrique comme principal moteur de la décarbonation du secteur est communément partagée. Elle l'est d'autant plus, en France, que le mix énergétique primaire, comparativement aux autres pays européens, est particulièrement favorable à l'utilisation de l'électricité comme moyen de décarbonation.

## a. Des scénarios larges mais convergents et qui s'accélèrent pour anticiper un développement fort du VE

Les véhicules électriques peuvent être de trois types : les véhicules hybrides (VH), première génération de véhicules électrifiés, qui disposent d'une motorisation électrique et thermique mais ne permettent pas de recharge électrique ; les véhicules hybrides rechargeables (VHR), qui disposent d'un système de charge par raccordement, et les véhicules 100% électriques (VE), qui ne disposent plus d'un moteur thermique. Le développement annoncé du véhicule électrique devrait se traduire par une évolution du parc vers un mix entre VHR et VE, dans des proportions et à un rythme qui restent toutefois à confirmer, et qui conditionnent très largement les évolutions futures du système. En France, en 2017, près de 120 000 véhicules électriques et hybrides rechargeables étaient en circulation.

### DES SCÉNARIOS QUI ANNONCENT UN DÉVELOPPEMENT RAPIDE DU VÉHICULE ÉLECTRIQUE, DANS UNE FOURCHETTE QUI RESTE TOUTEFOIS PARTICULIÈREMENT LARGE, ENTRE 3M ET 15M DE VÉHICULES À L'HORIZON 2035

De nombreux acteurs, investis aussi bien dans la filière automobile que dans la production et la distribution de l'électricité ont établi des scénarios visant à anticiper les évolutions des ventes (et du parc) de véhicules électriques. Le présent rapport s'appuiera principalement sur les projections établies par la plateforme de la filière automobile (PFA) à horizon 2035, qui font la synthèse des hypothèses communiquées par les acteurs de la filière automobile en France (constructeurs, équipementiers, etc.).

L'ensemble des projections réalisées donnent lieu à l'élaboration de scénarios dont la probabilité de réalisation dépend largement d'hypothèses variées : niveau de contrainte environnementale et réglementaire, comportement des consommateurs, prix des batteries, croissance économique, etc. Pour la PFA, le scénario le plus probable est celui d'une évolution du marché dans un contexte de forte contrainte réglementaire et de croissance économique modérée qui conduirait, en 2035, à un parc français à 9M de véhicules.

Ces scénarios envisagent, en 2035, les parts de marché (vente de véhicules) suivantes au niveau mondial : 33,4% pour l'essence, 4,4% pour le diesel, 36,8% pour les véhicules hybrides, 8,9% pour les VHR, 12,7% pour les VE et 4% pour les véhicules au gaz. Au niveau européen, la part des véhicules tout électrique serait encore plus forte passant à 19%.

La forte progression du véhicule électrique dans le parc automobile fait désormais l'objet d'analyses approfondies sur ses conséquences pour le système électrique. Dans le cadre de sa mission légale du Bilan prévisionnel, RTE étudié les différents scénarios de transition énergétiques – dont les scénarios *Volt* et *Ampère* repris par le Gouvernement pour la préparation du débat public sur la future programmation pluriannuelle de l'énergie – en utilisant des trajectoires très contrastées de développement de l'électromobilité, afin de tester le fonctionnement du système électrique dans des « mondes différents ». Ces trajectoires, retenues à l'issue de la consultation publique, aboutissent à un nombre de véhicules électriques et hybrides rechargeables compris entre 3,5 et 15,6 millions d'unités à horizon 2035 (dont une proportion de VE comprise entre 50% et 70%) .<sup>4</sup>

Enfin, les hypothèses sur lesquelles se fonde Enedis, en matière de parc automobile vont de 3,2 à 9,6 M de véhicules (VHR et VE), pour une consommation allant de 8 à 25 TWh. RTE, pour sa part, élabore des scénarios variant entre 3,5 et 15,6 M de véhicules.

Deux éléments sont importants à retenir : tout d'abord, la révision annuelle des scénarios mondiaux montre qu'une bascule importante s'est opérée entre les scénarios établis en 2015 et ceux désormais admis : alors qu'en 2015 on anticipait encore une part de marché des véhicules diesel proche de 20% en 2035, les effets notamment du dieselgate se traduisent par une chute très forte des prévisions de ventes de véhicules diesel (7% au niveau mondial). Ce constat implique ainsi une accélération, plus rapide que prévu, des ventes de véhicules électriques, notamment tout électrique.

De plus, la bascule vers le véhicule électrique ne sera sans doute pas linéaire. Ainsi, jusqu'en 2025, l'électrification progressive du parc devrait être davantage le fait des flottes d'entreprise. Un relais au sein des ménages devrait ensuite s'opérer. Il convient toutefois de souligner que les taux prévisionnels de bascule des ménages vers l'électrique diffèrent beaucoup selon les territoires et les CSP des ménages.

## **UNE RÉPARTITION ENTRE HYBRIDE RECHARGEABLE ET TOUT ÉLECTRIQUE QUI DEVRAIT LARGEMENT DÉPENDRE DES COÛTS DES VÉHICULES**

La structure du futur parc de véhicules électriques (la répartition entre véhicule tout électrique et hybride rechargeable), jouera un rôle majeur dans les besoins en infrastructure, une éventuelle bascule plus rapide vers le tout-électrique imposant une refonte bien plus structurante des réseaux actuels de distribution d'énergie sur route.

---

<sup>4</sup> La trajectoire la plus haute a été cadrée en fonction des annonces du Plan climat de juillet 2017, et notamment d'une interdiction à la vente du véhicule thermique à horizon 2040.

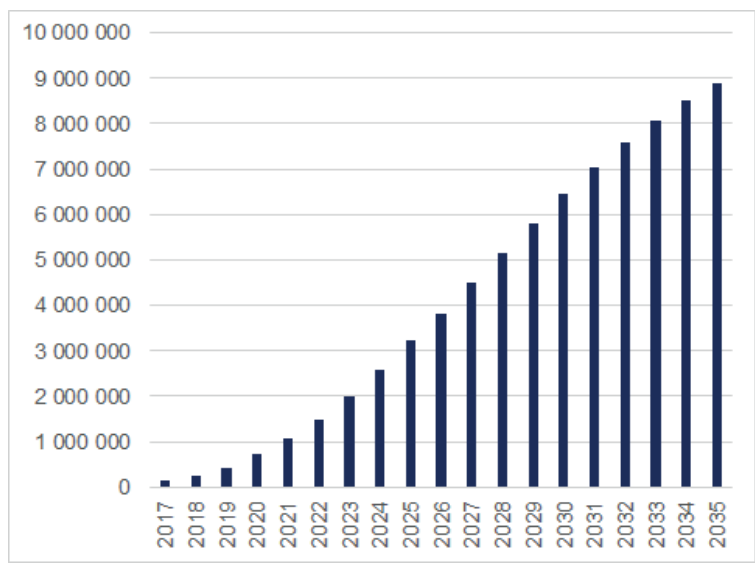
**Tableau n°1 : Répartition des ventes de véhicules légers neufs par mode de chaîne de traction en France**

	2020	2035
VH	10,9	28,9
VHR	6	20,4
VE	7,2	30,5
Essence	34,3	14,7
Diesel	41,7	5,6

Source : Plateforme de la filière automobile

Il est à ce jour communément admis que le VE devrait, à terme, et à condition que le prix du véhicule continue de se rapprocher du prix des véhicules à carburants traditionnels, devenir majoritaire. En termes de ventes, dans son scénario le plus ambitieux, la PFA anticipe que les ventes de véhicules électriques pourraient représenter en 2035 jusqu'à 80% des ventes de véhicules légers (véhicule hybride compris), les véhicules tout-électriques représentent 30% des ventes et le diesel chutant à 5% contre 40% aujourd'hui. L'effet annoncé à terme sur le parc français serait d'environ 9M de véhicules électriques, dont 6M de tout électrique. Il nécessiterait des infrastructures de l'ordre de 450 000 points de charge.

**Graphique n°6 : Evolution prévisionnelle du nombre de véhicules électriques et hybrides rechargeables en France**



Source : Plateforme de la filière automobile

La question du coût des différents formats de véhicules se pose également. A ce jour, les véhicules tout-électriques sont toujours, en moyenne, de 8 à 10 000 euros plus cher à l'achat que les véhicules à carburants traditionnels, ce qui pose clairement un frein à leur développement. Ainsi, le pari du tout électrique ne réussira que si on parvient à développer des véhicules à moindre coût. Ce constat pourrait toutefois être tempéré par le fait que, s'ils restent plus cher à l'acquisition, les véhicules électriques apparaissent ensuite sensiblement plus économiques à l'usage.

## MOBILITÉ PROPRE ET DERNIER KILOMÈTRE : L'EXEMPLE DU GROUPE LA POSTE

L'évolution du modèle du groupe La Poste, présenté lors du groupe de travail, illustre les enjeux relatifs à la livraison du dernier kilomètre. Les solutions en matière de décarbonation du transport de marchandises de proximité devraient ainsi désormais se trouver dans un mix entre transport au gaz et, prioritairement, à l'électrique, qui semble assez largement enclenché.

La Poste est confrontée à un profond changement de paradigme, une baisse (7% par an) du volume de courrier (17 Mds de plis en 2010, entre 6 et 8 Mds prévus pour 2025) mais une hausse continue du volume de colis à livrer, bien plus rapide que ce que les projections avaient initialement prévues (+7% par an en France, +30% à l'international, avec une prévision de multiplication par 5 des volumes d'ici 2025 sur le marché mondial). Cette augmentation forte du volume unitaire de ses livraisons, qui lui impose d'être en capacité de livrer non seulement les petits colis mais également les gros volumes. Pour cela, le groupe développe différentes approches logistiques susceptibles de répondre aux différents besoins afin de devenir un acteur complet de la logistique de proximité.

Ce changement impacte clairement les besoins en transports : la taille des véhicules, l'ensemble des outils logistiques doivent s'adapter. Tout cela va entraîner des évolutions majeures du parc de véhicules du groupe. Dans ce contexte, les réflexions du groupe sur sa flotte de véhicules sont centrales, pour répondre aux enjeux aussi bien écologiques qu'économiques. Le groupe La Poste, a déjà diminué ses émissions de CO<sup>2</sup> en faisant évoluer sa flotte et en modifiant sa manière de charger ses colis, afin de limiter le nombre de véhicules en circulation (chargement en vrac, usage de remorques qui permet de charger désormais 4000 colis par véhicule et plus 1500). Cette massification des chargements devrait se poursuivre pour permettre d'atteindre une diminution jusqu'à 20 ou 25% du nombre de camions.

Le format des véhicules va être amené à changer et, compte tenu de la taille des colis, à grossir. Plusieurs évolutions peuvent ainsi être anticipées : une diminution du nombre de vélos électriques au profit des scooters ; une diminution du nombre de Kangoo («véhicules à tout faire») au profit d'un côté de petits utilitaires urbains compacts permettant de circuler facilement en ville et d'utilitaires de plus gros volumes pour des livraisons de colis de plus grande taille (5m<sup>3</sup>) ; et enfin, un développement important des utilitaires de 9m<sup>3</sup>. En termes de source d'énergie, La Poste anticipe le recours à l'électrique sur les petits volumes et au thermique pour les plus gros volumes, le GNV pouvant remplacer le diesel si celui-ci est interdit.

Toutefois, ces perspectives de développement peuvent se retrouver freinées par la réglementation et les capacités des réseaux. A titre d'exemple, actuellement, La Poste serait ainsi en capacité de mettre en circulation 1000 véhicules électriques supplémentaires à Paris (8000 actuellement). Le groupe est toutefois contraint par une disposition réglementaire qui interdit la charge de véhicules en sous-sol (au-delà du 1er étage souterrain) pour des raisons de maîtrise du risque incendie.

En termes de coûts, le surcoût lié aux véhicules électriques est estimé par le groupe La Poste 25% plus cher et le GNV, à ce stade, revient 60% plus cher, ce qui impose une recherche de rentabilisation des véhicules encore plus grande. A l'inverse, alors que les prix de l'essence vont converger avec ceux du diesel et que les dépenses de maintenance sont plus faibles, seule 4% de la flotte fonctionne à l'essence. La Poste cherche donc à avoir une approche pragmatique qui optimise les différentes sources d'énergies selon leurs coûts et seuils de rentabilité. Elle a, à cet égard, complètement arrêté son expérimentation de véhicules à l'hydrogène. In fine, si l'électrique est la solution d'avenir immédiat qui va se développer, le bioGNV peut représenter une solution par défaut pour la décarbonation du secteur.

## b. Des infrastructures de recharge en net développement, malgré des questions résiduelles

Pour accompagner le développement du véhicule électrique, l'ensemble des questions relatives aux infrastructures de distribution et à l'impact de ce développement sur la demande en électricité et ses conséquences sur les réseaux doivent être appréhendées.

### UN RYTHME RAPIDE ET QUI S'ACCÉLÈRE DE DÉVELOPPEMENT DES POINTS DE CHARGE EN FRANCE

Fin 2017, 171 900 points de charges étaient installés en France, soit près de 30 points de charge pour 100 000 habitants. En termes d'accessibilité, ils se répartissent entre environ 23 000 (13%) accessibles au public, 63 500 chez les particuliers (37%) et 85 400 en entreprise (50%). La puissance totale est ainsi non négligeable, dépassant 1,1 GW. Les points de charge accélérés étant plus nombreux dans le domaine public, ce dernier représente 32% de la puissance totale. On constate au global, en comparaison avec nos voisins européens, qu'à ce jour, la France est au même niveau ou en avance en matière d'installation de bornes de recharges. Ce nombre de ces points de charge augmente très rapidement, près de 40% par an.

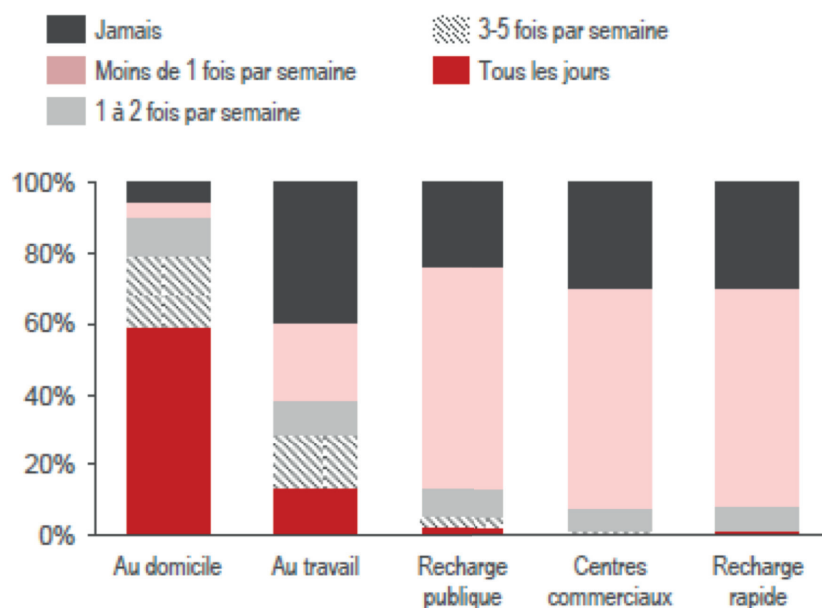
En s'appuyant sur les demandes de raccordement au réseau recensées, Enedis prévoit qu'en 2019, plus de 22 000 points de charge publics supplémentaires devraient être installés, soit un doublement de la situation actuelle. Ces points de charge devraient majoritairement être installés en 22 kVA, contribuant ainsi à une augmentation encore plus rapide de la puissance installée.

A cet égard, il importe de souligner que les objectifs fixés par la loi de transition énergétique semblent pouvoir être atteints. La LTE a fixé un objectif d'installation de 7M de points de charges, dont 10% de points de charge publiques (soit 700 000) à horizon 2030. Chaque borne pouvant contenir plusieurs points de charges, cet objectif se traduirait par environ 450 000 bornes de charge, ce qui apparaît, dans les scénarios centraux, atteignable.

### UN ENJEU : ADAPTER LE TYPE DE POINTS DE CHARGE AUX BESOINS DE MOBILITÉ

L'analyse des usages des différentes formes de charge en Norvège, pays très en avance, est à particulièrement éclairante. Elle illustre une segmentation très forte des usages du véhicule électrique : la recharge à domicile joue un rôle majeur dans l'usage quotidien du véhicule (pour les courts trajets), la recharge sur le lieu de travail apparaît jouer un rôle de complément à la recharge à domicile, quand l'ensemble des autres modes de recharge situées dans le domaine public ne sont utilisés que plus exceptionnellement, pour des trajets de plus longue distance essentiellement. Si ces constats ne sauraient être transposés en France, ils sont néanmoins riches d'enseignement.

## Graphique n°6 : Evolution prévisionnelle du nombre de véhicules électriques et hybrides rechargeables en France

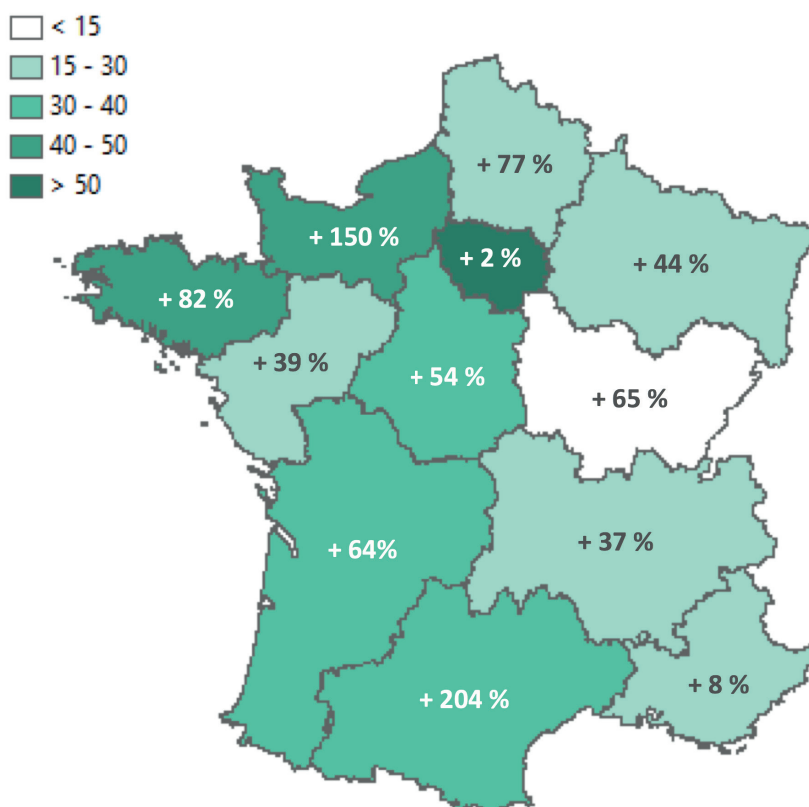


Source : Etude E-cube Strategy Consultants

Les discours publics tendent en effet à mettre l'accent sur l'importance du développement des bornes publiques de recharge, dont le développement dépend assez largement des niveaux d'investissement public consentis. Or il apparaît, à terme, que le maillage privé devrait concerner près de 80% des points de charge. Dès lors, sans pour autant remettre en question l'importance du maillage public, les mesures (notamment législatives et réglementaires) visant à faciliter l'installation de bornes de recharges dans le résidentiel, en particulier dans le cadre des copropriétés dont les règlements type actuels ne sont pas adaptés à une mise en place aisée de solutions de recharge et dans les parkings d'entreprises, doivent être renforcés particulièrement.

Ce constat doit être articulé avec les réflexions sur le maillage territorial en matière de bornes publiques de recharge. On constate en effet à ce jour une certaine hétérogénéité dans leur répartition géographique, qui fait craindre l'apparition, à terme, de « déserts » en matière d'accès à des points de charge publics. Comme le montre la carte ci-après, des écarts importants existent entre les différentes régions. Si ce constat doit être relativisé par la relative faible utilisation des bornes publiques au quotidien, elle impose toutefois une réflexion large en termes d'aménagement du territoire et renvoie, également, à l'enjeu de l'élaboration d'un modèle économique viable autour de ces bornes de recharge. Il importe à cet égard de souligner que, malgré l'absence à ce jour de rentabilité directe des bornes de recharge, il pourrait exister une rentabilité indirecte en fonction des externalités générées pour les collectivités ou pour les commerces ce qui pourrait contribuer au développement rapide de ces infrastructures.

**Graphique n°8 : Evolution du nombre de points de charge et leur évolution (2017)**



Source : Etude Enedis

A ce jour, on constate in fine surtout des travaux d'anticipation du besoin de charge à haute puissance pour les véhicules en itinérance, ce qui suppose de penser un maillage spécifique sur les grands axes routiers. Des projets, engageant divers acteurs, sont actuellement développés. De grands opérateurs se lancent chacun dans l'installation de plusieurs centaines de stations, au total, à haute puissance (de 50 à 150 kVA pour certains, allant jusqu'à 150 à 350 kVA par points de charge pour d'autres), sur les autoroutes, le réseau routier national, ainsi que dans certaines concessions automobiles.

D'autres projets, davantage tournés vers le développement des bornes dans le résidentiel privé, afin de faciliter le raccordement des logements existants, sont également en cours. Toutefois, les impacts complets de ces différents projets sont difficiles à évaluer et la puissance totale disponible à 5 ans semble encore délicate à anticiper.

Enfin, cette analyse doit être relativisée par le fait que la hausse annoncée de l'autonomie des batteries pourrait conduire à une évolution des usages de recharge qui pourraient se concentrer davantage sur les fins de semaine.



## DES ENJEUX TECHNIQUES ET COMMERCIAUX SUR CES POINTS DE CHARGE ENCORE NON RÉSOLUS

Le développement de ces bornes de recharge, publiques comme privées, soulève encore toutefois de nombreuses difficultés qu'il importe de résoudre. La première d'entre elles tient à la diversité des dispositifs existants, des appareils comme des infrastructures et des véhicules. La filière est encore insuffisamment structurée, certaines technologies apparaissent peu compatibles, comme le montrent les premiers retours d'expérience conduits par les opérateurs de charge. La fiabilité de certaines bornes, comme de certains véhicules, semble encore fragile. Une meilleure structuration du réseau apparaît à cet égard nécessaire. De plus, d'autres problèmes pourraient émerger relatifs à la fiabilité de la connexion internet des bornes. Pour transmettre autant de données, il sera central de s'assurer de la qualité des réseaux de communication.

Enfin, la question du cadre réglementaire applicable à ces installations devra également être posée. Les normes, notamment relatives aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), peuvent dans certaines situations représenter un frein au développement du raccordement au réseau, notamment par exemple l'encadrement très strict du raccordement des parkings souterrains ou pour des installations d'ampleur quasi-industrielle comme le montre les enjeux rencontrés par la RATP dans le cadre de son projet d'électrification de la flotte.

## LE PLAN 2025 DE LA RATP, UN PROJET DE MOBILITÉ PROPRE DE GRANDE AMPLEUR

Le « Plan 2025 » conduit par la RATP est un projet de conversion de l'ensemble de son parc autobus à l'électricité et au biogaz à horizon 2025, son parc actuel étant de 4700 bus répartis dans 25 dépôts. Il est censé permettre d'atteindre, à terme, une baisse de 50% des émissions de GES et une baisse massive de NOx et de particules fines.

Son origine se trouve dans une décision du syndicat des transports d'Ile-de-France de 2013 interdisant à la RATP d'acheter des véhicules diesel. Compte-tenu du prix trop élevé des véhicules hybrides, la RATP a décidé de basculer directement sa flotte sur des véhicules 100% électricité ou 100% biogaz, visant à terme un parc de 3000 bus électriques et 1700 circulant au biogaz. Sa transition est déjà entamée : elle dispose actuellement de 800 autobus hybrides (qui auront vocation à leur tour à être remplacés par des bus 100% électriques), de 140 circulant au GNV et de 75 bus électriques. Une ligne a déjà été entièrement convertie.

Cette transformation correspond pour la RATP à un chantier industriel d'envergure qui impose non seulement l'acquisition de matériaux roulants à un rythme très rapide mais également le réagencement de l'ensemble des dépôts, soulevant des enjeux complexes.

L'électrification des dépôts représente un vrai défi. Si la recharge des bus sur la voie publique n'a pour l'instant pas été retenue (pour des raisons de coût et de sécurité notamment), l'ensemble des dépôts devront être électrifiés. La recharge des bus est en effet prévue pour se faire de nuit, une charge par jour apparaissant suffisante compte tenu de l'autonomie des bus et de leur faible vitesse de circulation. Toutefois ces dépôts ne sont pas nécessairement adaptés et susceptibles de respecter les normes relatives aux installations classées (ICPE) notamment en matière de risque incendie. Ce point est identifié par la RATP comme un risque majeur de ralentissement du projet (en termes de coût et de respect des délais).

Par ailleurs, la RATP rencontre des enjeux d'espace et de localisation pour la construction de nouveaux dépôt. Le terrain est tout d'abord rare et cher sur Paris et sa proche banlieue. De plus, les risques en matière de sécurité (risque ICPE également), notamment s'agissant des terminaux au gaz, imposent des installations particulièrement encadrées dans les centres urbains, qui pourraient limiter sa capacité à développer le transport au gaz.

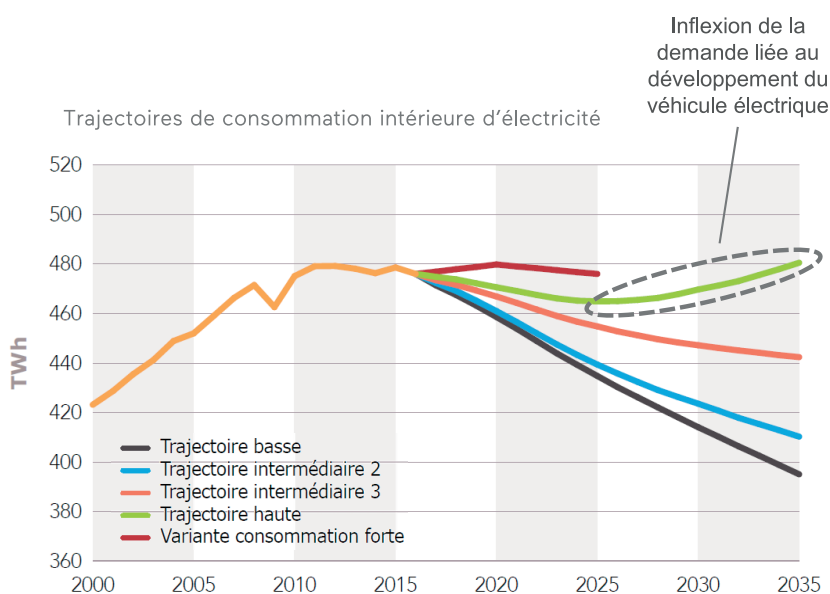
En matière d'impact sur le réseau, on retiendra tout d'abord que la RATP envisage de se raccorder directement au réseau de distribution d'électricité et au réseau de transport et de distribution de gaz selon les sites. La consommation annuelle en électricité est estimée à terme à 170 GWh par an, avec des courbes d'appel de puissance (10 MW par centre bus) assez variables, mais présentes notamment aux heures de pointes du matin et soir, ce qui conduit la RATP à travailler à des modèles de recharge différées.

## c. Un impact sur le système électrique qui semble absorbable mais doit être anticipé

L'impact de ce développement annoncé sur le système électrique apparaît, de l'avis de l'ensemble des acteurs, principalement centré autour de la question des pics de consommation (par exemple lors des grandes journées de départ en vacances) et de la gestion des appels de puissance, davantage que sur celui du volume d'énergie nécessaire.

Ainsi, comme le montre le graphique suivant, la baisse attendue, sur la même période, de la demande d'électricité dans la plupart des autres secteurs de consommation, conduit à rendre tout à fait absorbable, la gestion de la future demande induite par le développement du véhicule électrique. Ainsi, un million de véhicules électriques équivalent à une demande de 2 TWh, ce qui rapporté à 480 TWh de consommation annuelle totale d'électricité apparaît relativement marginal. Dans les projections établies par RTE, seul le scénario « maximaliste », à 15M de véhicules électrique, conduirait à un regain de consommation totale d'électricité, à un niveau qui resterait toutefois, en 2035, au niveau actuel.

**Graphique n°9 : Evolution prévisionnelle de la trajectoire de consommation d'électricité**



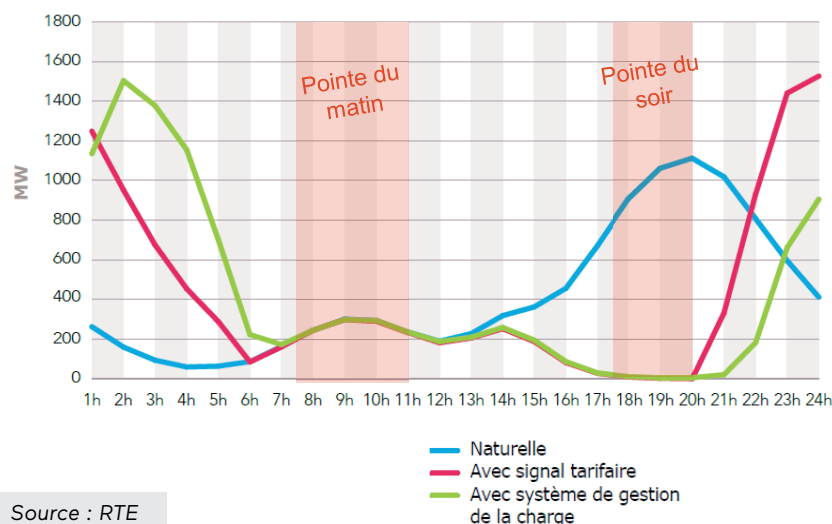
Source : RTE

Toutefois, l'ensemble des acteurs concernés convergent également pour souligner que le développement du véhicule électrique ne sera pas pour autant neutre sur le système, mais nécessitera d'anticiper et de s'assurer que les mécanismes en place permettent de réelles incitations au pilotage de la recharge et une maîtrise de l'effet sur les pointes de consommation. En effet, à terme, le véhicule électrique deviendra « le premier appareil électroménager du foyer », jouant un rôle important dans la structuration de la demande. Compte-tenu des éléments présentés précédemment, relatifs à l'importance de la demande privée pour des usages quotidiens du véhicule, un pic de demande pourrait être observé en fin de journée, d'une ampleur supérieure à celle constatée aujourd'hui. Ce constat amène l'ensemble de la filière à réfléchir aux diverses formes que pourrait prendre un pilotage efficace de la recharge.

La gestion des appels de puissance est ainsi fondamentale et s’articule autour de plusieurs enjeux : la typologie de recharge, le nombre de points de charge et le comportement des utilisateurs. A titre d’exemple, selon Enedis, dans un scénario de développement à 9M de véhicules, si tout le monde se connectait le soir au même moment, on verrait le besoin de puissance augmenter de 10,2 GW au pic. Toutefois, des modalités de pilotage de la recharge simples pourraient permettre d’absorber cet effet. En décalant la recharge de 3h après le passage en heures creuses, on arriverait à 1,6 GW de besoin de puissance, ce qui serait parfaitement acceptable. Les situations extrêmes (journée de forte affluence sur autoroute par exemple) restent toutefois encore à modéliser et des solutions spécifiques à l’aide de moyens de stockage pourraient être envisagées.

### Graphique n°10 : Modélisation de la courbe de charge d’un million de VE/VHR

Courbe de charge associée à la recharge d’un million de VE / VHR pour un jour ouvré de janvier selon la stratégie de pilotage de la recharge



Source : RTE

Mais comme le montre le graphique ci-dessus, un système de signal tarifaire heures pleines / heures creuses pourrait à lui seul permettre de décaler la demande en électricité liée au véhicule électrique en dehors de la pointe du soir et lisser ainsi la charge d’une manière considérée par les opérateurs comme toute à fait supportable par le système. En effet, un décalage dans le temps de la recharge du VE en fonction de la capacité du système électrique est tout-à-fait acceptable dans la plupart des modes de mobilité, sauf dans le cas spécifique du transport longue distance pour lequel des solutions adaptées devront être mises en place.

Trois types de solutions sont ainsi envisageables, de la plus simple à la plus compliquée. La plus simple et la plus immédiate est la mise en œuvre d’un signal tarifaire de type « heures pleines / heures creuses ». Des modèles plus compliqués adaptant les rémunérations aux enjeux de réglage de fréquence voire aux zones de congestion pourraient également être élaborés, voire se compléter. Des travaux supplémentaires ont été annoncés par RTE et porteront spécifiquement sur ces questions et le « passage à l’échelle ».

Enfin, la question de l'optimisation charge /décharge pourrait venir compléter le dispositif. Un pilotage dynamique de la charge pourrait offrir des opportunités pour améliorer la gestion d'un système électrique dont la variabilité pourrait s'accroître avec le développement des énergies renouvelables. Le pilotage intelligent de la recharge permettrait alors de proposer des solutions de flexibilité au système électrique. A terme, les solutions agrégées de « *vehicle to grid* », consistant à rendre des services au réseau ou au système électrique à partir des batteries de véhicules électriques pourraient représenter une opportunité d'améliorer la sécurité d'alimentation du système électrique. A ce jour toutefois, le business model n'est pas stabilisé, même si des expérimentations sont en cours dans plusieurs pays européens et aux Etats-Unis <sup>5</sup> . En tout état de cause, des initiatives, comme Girève, portées par des opérateurs de charge et de mobilité, permettant, grâce à des flux croisés d'informations, de mieux anticiper les besoins de charge et sans doute de pouvoir optimiser, à terme, la tarification, apparaissent prometteuses.

## 2. LE GAZ ET LES BIOCARBURANTS COMME COMPLÉMENT

---

En matière de transport individuel de personnes, il apparaît ainsi clairement que le développement du transport électrique devrait, à terme, représenter la principale dynamique. Toutefois, ni le gaz ni les biocarburants ne devraient pour autant disparaître, pour des raisons de modèle économique et d'autonomie.

Ainsi, le modèle économique du transport au gaz apparaît largement comparable à celui du diesel, sous trois conditions : faire bénéficier le secteur du transport au gaz des aides à l'acquisition de véhicules ; avoir un kilométrage dépassant 120 000 km, seuil en deçà duquel le coût de possession du véhicule est trop important ; bénéficier de prix du carburant compétitif par rapport au diesel, ce que la trajectoire actuelle de prix semble confirmer. Sous ces trois réserves, la solution du transport au GNV devient rentable, notamment par rapport au véhicule électrique, dont le coût de possession est bien plus grand et l'autonomie plus faible. Pour leur part, les biocarburants n'impliquant de modification technologique majeure dans les véhicules thermiques, ils apparaissent comme une solution alternative de moindre coût, dont l'effet en termes de lutte contre les polluants atmosphériques reste toutefois de moindre intensité.

---

<sup>5</sup> Voir à ce sujet le rapport du GT n°2 du comité de prospective

Ce rapport a cherché à dresser un panorama des perspectives d'évolution des besoins en énergie du secteur des transports au regard des enjeux de dépollution et de décarbonation qu'il rencontre. Lors des débats du groupe de travail, plusieurs aspects importants ont été abordés. Ils n'ont pas fait l'objet d'une analyse approfondie car ils ne relevaient pas directement du mandat du groupe. Ils doivent cependant être pris en compte par les décideurs. On retiendra ainsi que :

- La recherche d'une amélioration de l'efficacité énergétique doit être prioritairement prise en compte dans l'ensemble des décisions prise dans ce secteur.
- Les choix publics d'investissements dans les mobilités propres et les aides à l'acquisition de véhicules doivent s'appuyer sur des études d'impact économique permettant d'évaluer le coût complet des différents projets et leur rentabilité pour la collectivité, en termes notamment de coût à la tonne de CO<sup>2</sup>.
- Les recettes fiscales sur les transports seront impactées par les évolutions annoncées. Il conviendra de s'interroger, à moyen terme, sur leurs évolutions et d'élargir la réflexion sur les sources de financement mobilisables pour accompagner la transition.
- Les décisions liées au développement du véhicule électrique doivent, autant que possible, davantage intégrer la question du cycle de vie complet, notamment des batteries. La capacité de la filière à intégrer cette perspective dans une optique la plus large possible pourrait conditionner une part non négligeable de sa réussite.
- L'impact environnemental doit être évalué dans une approche dite « *well to wheel* », qui prend davantage en considération l'ensemble des émissions de polluants engendrés sur l'ensemble du cycle production/consommation. Cette approche, non retenue par la réglementation européenne, apparaît indispensable pour attester, à terme, de la performance environnementale des nouvelles mobilités.
- Derrière le développement de nouveaux types de véhicules (électriques et gaz) se pose un enjeu majeur de politique industrielle pour la France et l'Europe. Le cas de la « filière photovoltaïque » devrait conduire à un travail ambitieux de structuration de la filière de production de batteries et de véhicules, pour éviter un risque réel, à horizon relativement rapproché, de perte de souveraineté économique pour l'Europe. L'enjeu, pour la France et l'Europe, de parvenir à conserver, sur son territoire, l'essentiel de la chaîne complète de production des véhicules apparaît à cet égard essentiel pour capter une part de la valeur annoncée.





Comité  
de prospective  
de la CRE

**ÉCLAIRER  
L'AVENIR**