



Vers les mobilités propres



Jean-Pierre Hauet

Introduction

Le besoin de mobilité est consubstantiel à l'être humain et l'apparition de nouveaux modes de transport, le chemin de fer d'abord, l'automobile et l'avion ensuite, a révolutionné nos modes de vie et ouvert de nouveaux espaces de croissance économique. Mais bien entendu, toute médaille a son revers et le développement des formes modernes de transport a entraîné l'apparition de diverses atteintes aux biens, aux personnes et à l'environnement : les accidents de la route, le bruit et, plus récemment, la pollution atmosphérique et la contribution au dérèglement climatique.

Aujourd'hui, ces deux dernières préoccupations sont primordiales. Dans les pays européens, elles viennent à peu près à égalité dans l'opinion et dans les priorités reconnues par les responsables politiques. La pollution par les particules fines $PM_{2,5}$ provoquerait en France la mort prématurée de quelque 35 800 personnes par an et les émissions de NO_2 celle de 9 700 personnes¹. Simultanément, la lutte contre le dérèglement climatique et la réduction des émissions de gaz à effet de serre, de CO_2 en particulier, est reconnue en Europe comme une grande cause humanitaire. En France, le gouvernement s'apprête à inscrire dans la loi et dans les textes qui en découlent – Stratégie nationale bas carbone (SNBC) et Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) – un objectif de neutralité carbone à horizon 2050, en lieu et place de l'objectif dit du « facteur 4 » qui visait une réduction de 75 % des émissions au même horizon.

Mais dans les pays en développement, et tout particulièrement en Chine, c'est l'objectif de réduction de la pollution atmosphérique qui prime, tant l'air est devenu irrespirable dans les grandes métropoles. Cette détérioration des conditions de vie en milieu urbain est due à la circulation automobile, dont on connaît la croissance très rapide en Chine, mais aussi aux effets de la production d'électricité à partir de centrales au charbon qui déversent toutes sortes de polluants sur les grandes cités. Dans ces pays, la recherche d'une mobilité propre est un impératif de santé immédiate, mais qui rejoint

¹ Source : Agence européenne de l'environnement – Rapport Air Quality 2018.

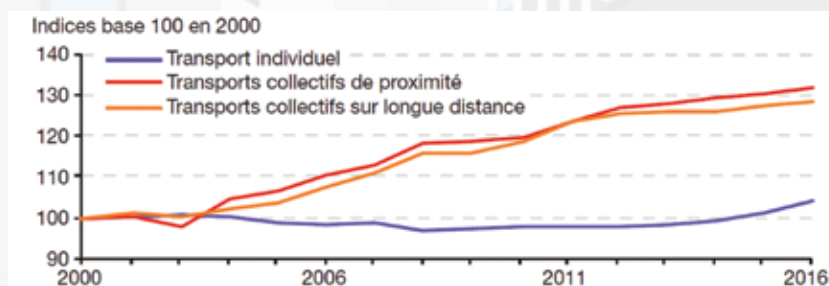


Figure 1 : Evolution des transports intérieurs de voyageurs en France (en voyageurs-kilomètres, base 100 en 2000).
Source : Chiffre-clés des transports (CCT) 2018.

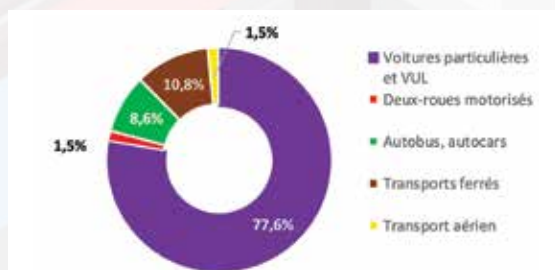


Figure 2 : Transports intérieurs par mode en 2016.
Source : CCT 2018.



Figure 3 : Parts modales du transport terrestre de marchandises en 2016 (hors oléoducs) – Source : CCT 2018.

fort opportunément la préoccupation de l'urgence climatique.

Cependant, migrer en quelques décennies de modes de transport encore très majoritairement dépendants du pétrole vers des mobilités nouvelles plus respectueuses de l'environnement est un défi considérable qui repose sur des évolutions techniques, économiques, environnementales et sociétales dont le succès n'est pas aujourd'hui assuré.

La Commission européenne en a fait l'une de ses priorités essentielles avec les directives successives sur les émissions de substances polluantes et de CO₂ qui font peser sur l'industrie automobile européenne une pression considérable. En France, en parallèle à l'adoption d'une « petite loi » qui viendra modifier la loi de 2015 relative à la croissance énergétique pour la croissance verte (LTECV), sont entrées en discussion la nouvelle PPE et la loi d'orientation sur les mobilités (loi LOM).

Le contexte était donc approprié pour que la REE se préoccupât de ce sujet essentiel et c'est l'objet du présent dossier. La question de la mobilité propre est une question extrêmement vaste qui a donné naissance à de longs débats lors des Assises nationales de la mobilité qui s'étaient tenues à l'automne 2017. Seuls quelques aspects majeurs en sont donc présentés dans les articles qui suivent, pour l'essentiel axés sur le transport des personnes. Il faudrait pouvoir étendre le champ des investigations à bien d'autres domaines : le fret et les poids lourds, le

transport maritime et le transport aérien notamment. Parmi les solutions approfondies dans ce dossier, le véhicule électrique tient une place importante car il constitue aujourd'hui la solution d'ampleur prépondérante pour progresser vers une mobilité plus propre. Mais d'autres solutions ne doivent pas être négligées, les biocarburants et l'hydrogène en particulier, tout en restant conscient de leurs limites.

Avant d'inviter le lecteur à pénétrer dans ce dossier, nous voudrions appeler son attention sur quelques points importants en nous focalisant surtout sur le cas de la France.

La mobilité : un secteur en croissance qui reste dominé par le transport individuel

La figure 1 retrace l'évolution du transport intérieur en France depuis 2000. 956 milliards de voyageurs-kilomètres ont été recensés en 2016, en croissance de 2,16 % sur 2015. La croissance des transports collectifs a été soutenue sur l'ensemble de la période mais le transport individuel, après avoir fléchi pendant une bonne dizaine d'années est reparti à la hausse (+2,7 % en 2017), comme si les appels à utiliser toujours davantage les transports en commun connaissaient des signes d'essoufflement.

Le transport individuel de voyageurs reste donc largement dominant, avec une part de marché pratiquement égale à 80 % (figure 2). Dans le domaine des marchandises, le transport routier l'emporte largement avec 88 % du trafic (figure 3).



Figure 4 : Evolution des consommations d'énergie du secteur des transports et de la part des produits raffinés – Source : SDES.

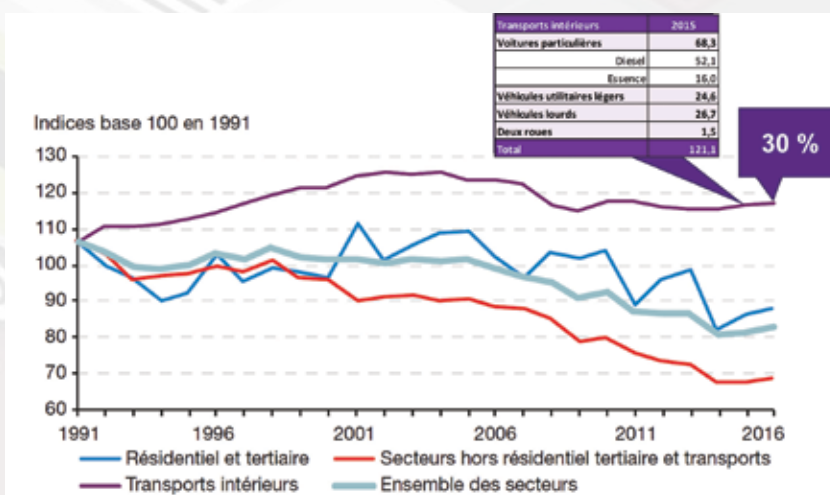


Figure 5 : Evolution des émissions de gaz à effet de serre des principaux secteurs consommateurs – Source : SDES et CITEPA (2017).

Un secteur qui reste très largement dominé par les produits pétroliers

Les consommations totales du secteur des transports ont très peu évolué au cours des dernières années et sont stabilisées aux environs de 44 Mtep. C'est le résultat de l'effet combiné de la croissance continue de la demande de mobilité et des progrès techniques qui ont permis de réduire la consommation unitaire des véhicules et stabiliser au final le volume de consommation.

Mais la part des produits pétroliers ne décroît que très lentement et dépassait encore, en 2016, 90 % (figure 4) ce qui rejaillit directement sur les émissions de CO₂.

Des émissions de GES qui ne diminuent pas

Les émissions de GES du secteur des transports, à la différence de celle de la plupart des secteurs consommateurs, n'ont pas diminué depuis 1990

(figure 5) et ont représenté en 2017 30 % des émissions totales (38 % pour les seules émissions de CO₂). Une lente décline semblait avoir été amorcée à partir de 2003 mais les émissions sont reparties à la hausse et se situaient à la fin 2017 très sensiblement au-dessus de la trajectoire arrêtée en 2015 par les pouvoirs publics pour atteindre le facteur 4 en 2050.

Ce retard, qui dépassait 6 %, constitue une difficulté majeure alors que le Gouvernement souhaite accélérer le rythme de décarbonation du secteur pour atteindre la neutralité carbone en 2050.

La nécessité d'une politique beaucoup plus active en matière de réduction des consommations et des émissions est d'autant plus patente que le secteur des transports est également aux avant-postes des émissions de substances polluantes : NO_x, PM_{2,5} et COV (composants organiques volatiles) (figure 6).

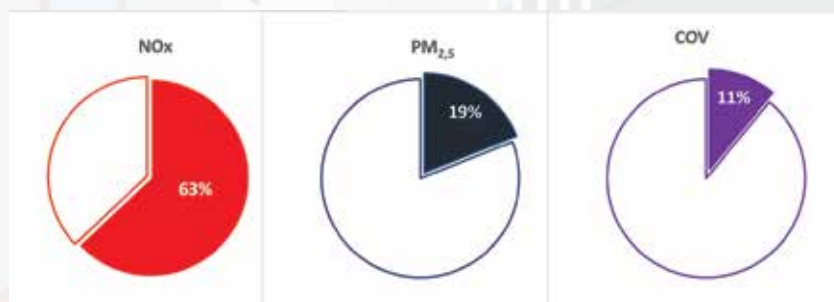


Figure 6 : Responsabilité du secteur des transports dans les émissions de différentes substances polluantes.

Le défi de la neutralité carbone

On sait que le CO₂ émis par l'homme qui ne peut pas être absorbé par des puits de carbone, s'accumule dans l'atmosphère, probablement pour des centaines d'années, et que le « budget carbone » dont l'humanité disposait pour éviter que la température moyenne de surface ne s'élève au-delà de 1,5 ° ou 2 °C sera épuisé avant 2050. Il est donc indispensable de viser la neutralité carbone dès que possible et l'orientation prise au niveau de la Commission européenne et du gouvernement français est d'atteindre cette neutralité à l'horizon 2050.

C'est un défi d'une ampleur considérable : au cours des toutes dernières décennies, il a à peine été possible de contenir l'évolution des émissions, c'est-à-dire de compenser par le progrès technique ou une meilleure organisation des transports, l'effet mécanique de la croissance des besoins en mobilité, stimulée par l'effet rebond de la baisse des coûts dans le transport aérien notamment. Sera-t-il possible d'aller plus loin et d'infléchir fortement la courbe des émissions : c'est tout le pari engagé.

L'idée n'est pas de réprimer le besoin de mobilité mais d'y répondre en combinant deux approches.

La première est une approche organisationnelle fondée :

- d'une part sur l'utilisation des technologies numériques pour satisfaire par des déplacements virtuels le besoin de rencontre des populations : télétravail, téléenseignement, télé médecine, etc ;
- d'autre part par le développement de modes alternatifs au véhicule individuel : deux roues et autres engins, autopartage, covoiturage, location de voiture, etc.

Jusqu'où est-il possible d'aller dans cette direction qui, jusqu'à présent, n'est pas parvenue à imposer un changement de modèle ? Certains pensent qu'à la faveur d'un changement de génération, le modèle de la « possession » de la voiture individuelle cédera

la place à un modèle de « *mobility as a service* ». C'est la thèse développée par **Khadija Guennoun** dans son article. De son côté, **Sylvie Banoun**, coordinatrice interministérielle pour les questions relatives à la marche et au vélo, nous fait partager ses convictions quant à la priorité à donner désormais aux mobilités actives.

La deuxième approche est une approche technique consistant à favoriser la mutation massive vers les véhicules à très faibles émissions. La liste des possibilités n'est pas très longue. On dispose en effet des solutions suivantes :

- moteurs thermiques utilisant des biocarburants liquides ;
- moteurs thermiques utilisant des carburants gazeux sous deux formes : le gaz naturel véhicule (GNV) et sa version renouvelable, le bio-GNV ;
- véhicules électriques à hydrogène (dotés d'une pile à combustible) ;
- véhicules électriques 100 % batteries ou hybrides,
- sans oublier la voiture à air comprimé, développée par un Français, Guy Nègre, investiguée par Peugeot, mais qui n'a pas à ce stade réussi à convaincre.

L'article de **Stéphane Dupré la Tour** et **Franck Pernollet** montre comment ces différentes approches peuvent se combiner pour bâtir une stratégie zéro carbone à horizon 2050.

Toutes ces solutions ont un intérêt potentiel, sur certains marchés et pour répondre à certains objectifs. Le GNV, par exemple, est une solution intéressante pour réduire la pollution émise par les transports de marchandises, mais n'apporte que peu de bénéfices si l'on considère les émissions en CO₂. Le bio-GNV n'est pas disponible en grandes quantités, ses difficultés de collecte et son prix de revient ne permettent pas de le considérer comme une solution généralisable. Les biocarburants sont largement utilisés en mélange mais leur développement se heurte également à la limitation de la ressource et à un bilan

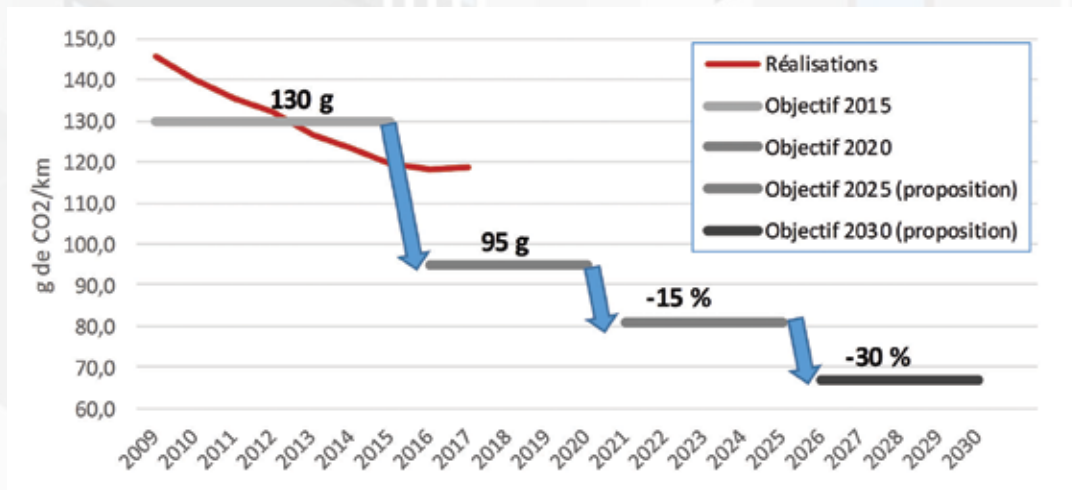


Figure 7 : Evolution des taux maximaux d'émission des véhicules automobiles imposés par les règles européennes.

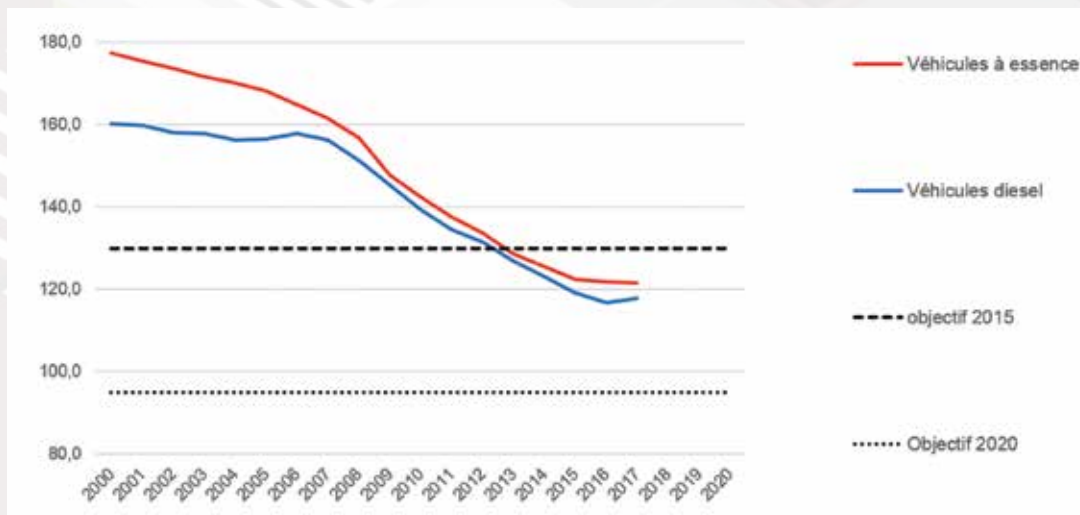


Figure 8 : Evolution des émissions moyennes des voitures particulières neuves mises sur le marché en Europe. Source : Agence européenne de l'environnement.

CO₂ qui, au moins pour les carburants de première génération, est incertain. L'hydrogène peut convenir pour des transports lourds (trains, péniches) ou pour des flottes professionnelles ; mais son usage génère beaucoup de contraintes et son équation économique est très difficile à équilibrer.

Aujourd'hui les seules solutions de grande ampleur sont les solutions électriques et en particulier les solutions 100 % électriques qui tirent parti des progrès très importants réalisés au cours des dernières années sur les batteries Li-ion.

L'influence déterminante des règles européennes

Dans l'histoire des technologies, le véhicule électrique est un sujet récurrent que l'on a vu à plusieurs reprises sur le point d'émerger depuis plus d'un siècle. A chaque tentative, les conditions techniques,

économiques et réglementaires n'étaient pas réunies pour permettre son décollage. Aujourd'hui, il semble qu'elles le soient et la Commission européenne agit comme un stimulant très fort pour inciter les constructeurs à migrer vers la mobilité électrique.

Les directives communautaires successives imposent en effet des réductions drastiques dans les taux d'émission moyens des véhicules mis sur le marché (figure 7). La prochaine échéance est celle de la fin 2020, date à laquelle les émissions devront avoir été ramenées à moins de 95 g de CO₂ au km. Au-delà, les émissions devront être à nouveau être réduites de 15 % en 2025 et 30 % en 2030. Une réglementation similaire est en cours de finalisation sur les poids lourds.

Le seuil de 130 g de CO₂ par km avait été facilement franchi en 2015 grâce aux progrès techniques réalisés sur les moteurs thermiques (figure 8).

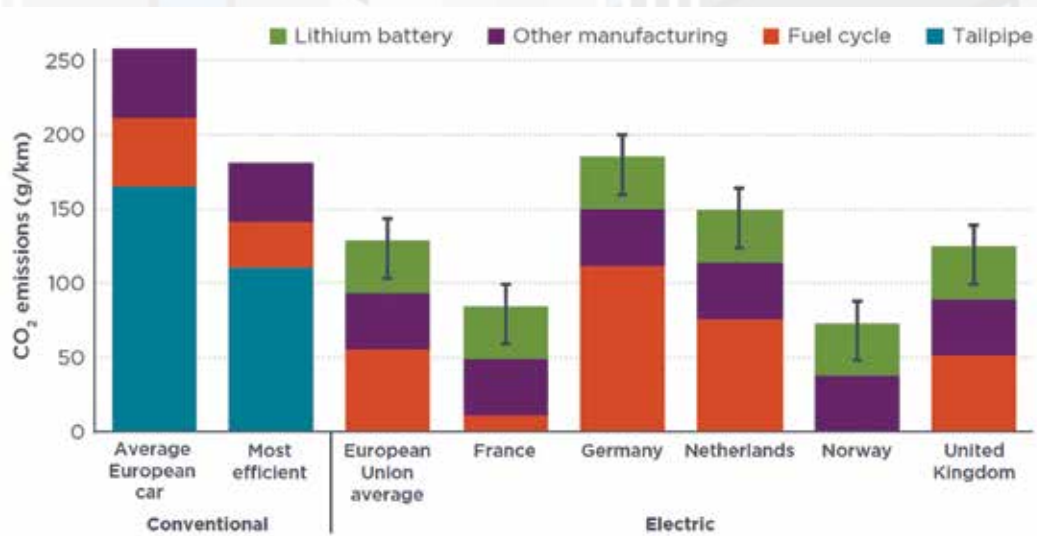


Figure 9 : Bilan climatique comparatif (en g de CO₂ par km) des véhicules à motorisation thermique et électrique dans différents pays européens – Source : ICCT (2018).

Le seuil de 95 g le sera beaucoup plus difficilement, surtout compte tenu du renforcement des contrôles intervenus à la suite de différents épisodes ayant opposé certains constructeurs à la Commission. Les objectifs de 2025 et au-delà seraient quant à eux extrêmement difficiles à franchir avec des véhicules à moteur thermique car la mise sur le marché de véhicules consommant 2 l/100 km reste pour l'instant une hypothèse spéculative. Les constructeurs n'ont donc d'autre choix que de faire le pari de la mobilité électrique et sont soutenus en cela par les pouvoirs publics nationaux.

Le mobilité électrique doit être une mobilité vraiment propre et ne doit pas créer de nouvelles dépendances

Cependant, le véhicule électrique ne doit pas être considéré comme une panacée pour résoudre le problème de la mobilité propre. La mobilité électrique suscite des interrogations auxquelles il doit être répondu.

La première est celle du bilan carbone que l'on doit faire en cycle de vie, en allant du puits à la roue, c'est-à-dire en tenant compte de l'énergie prise contenue dans les batteries. L'article d'**Aurélien Schuller** apporte des réponses précises à ce problème et montre que le bilan en CO₂ du véhicule électrique est toujours positif dès lors que le contenu carbone des kWh utilisés pour la recharge des batteries est inférieur à 200 g de CO₂ par kWh, ce qui est très largement le cas en France. La situation est plus tendue en Allemagne et a fortiori en Chine

ou en Pologne où les kWh proviennent de centrales à charbon pour l'essentiel. Cependant, il faut tenir compte de la décarbonation probable de l'ensemble du secteur électrique d'ici trois ou quatre décennies.

Pour confirmer ces conclusions, nous reproduisons dans la figure 8 les conclusions d'une importante étude publiée en 2018 par l'International Council on Clean Transportation. Cette étude, qui fait la synthèse d'un grand nombre d'études publiées à ce jour sur le sujet, fait apparaître un bilan positif du véhicule électrique en moyenne européenne et un bilan très positif dans le cas de la France.

Parmi les autres points auxquels il faut veiller, il y a bien sûr le recyclage des batteries qui doit être organisé bien au-delà des obligations qui s'imposent aux Etats membres du fait de la directive européenne 2066/66 qui est en cours d'actualisation. Les batteries pour véhicules électriques ont une durée de vie qui semble s'approcher de 10 ans. Il n'y a donc pas urgence en la matière mais les filières industrielles doivent être mises en place, afin notamment de récupérer les matériaux qui peuvent devenir stratégiques : cobalt, nickel et lithium.

La dépendance vis-à-vis des sources d'approvisionnement de ces métaux, auxquels il faut ajouter certaines terres rares utilisées pour la fabrication des aimants permanents des moteurs électriques (néodyme, praséodyme, dysprosium) est souvent présentée, de façon médiatique, comme un *remake* de l'histoire de du pétrole. Le problème n'est pas de la même ampleur, au stade actuel du moins, et il ne faut pas fonder une politique sur les emballements

spéculatifs que connaissent toujours à certains moments de leur histoire, les marchés de matières premières. Cependant c'est un problème important et nous publions dans ce dossier un article consacré au **problème qui nous semble le plus important, celui du cobalt**. Il existe des réponses au niveau de la demande et de l'approvisionnement : il faut s'y préparer et la responsabilité des pouvoirs publics est ici patente.

Le véhicule électrique : une marche vers le véhicule autonome

Le véhicule électrique offre beaucoup de points positifs. Il est possible que l'avenir lui en reconnaisse encore davantage et que la mobilité électrique, associée aux technologies du numérique, soit le point d'entrée vers le véhicule autonome et connecté.

L'article de **Sidi-Mohammed Senouci** et al discute des apports possibles du véhicule autonome à la mobilité propre. Ces apports pourraient combiner les deux approches que nous évoquions précédemment : des améliorations substantielles en matière d'impact environnemental mais aussi un moyen de faire évoluer drastiquement les habitudes en matière de mobilité. Le défi du véhicule autonome va bien au-delà des seuls problèmes énergétiques, il pose le problème de la confiance que l'on peut accorder aux techniques d'intelligence artificielle et ce faisant celui de l'acceptabilité sociale des technologies nouvelles.

L'acceptation par les populations reste au cœur du débat

L'acte de mobilité répond à un besoin et à un engagement de chacun. Quel que soit le brio des technologies nouvelles, celles-ci ne se développeront à grande échelle que si elles sont acceptées par nos compatriotes. Le combat n'est pas encore gagné pour la mobilité électrique, même si des indices laissent à penser que l'heure du véritable décollage est arrivée. De nombreux obstacles subsistent : celui du prix, de l'autonomie et du rayon d'action, de la disponibilité des bornes de recharge, de leur interopérabilité, etc.

La mobilité propre ne doit pas en outre être vue sous son seul aspect technique. C'est un problème d'évolution des comportements et des rapports au véhicule, délaissant la recherche de

L'AUTEUR

Jean-Pierre Hauet est ancien élève de l'Ecole polytechnique et ingénieur au corps des mines. Il est président du Comité scientifique, économique, environnemental et sociétal de l'Association Equilibre des Energies. Il est aussi rédacteur en chef de la REE.

la possession au profit de celle du service rendu et imposant, ne serait-ce que pour des raisons de gestion ménagère de l'électricité stockée, d'en venir à une conduite plus apaisée et plus sûre. C'est aussi, plus en amont, un problème d'urbanisme, de conception et d'évolution des logements et des quartiers pour tirer le meilleur parti de ce qui ne sera souvent à l'avenir qu'un maillon d'une chaîne de transport multimodale intégrée, associant les

mobilités électriques à des transports collectifs rendus accessibles à tous.

Dans cet esprit, le lecteur trouvera dans ce dossier deux témoignages : celui d'**Ariel Weil, maire du IV^e arrondissement de Paris** et celui de **M. Jean-Paul Hulot** qui, depuis quatre ans a scrupuleusement noté et exploité toutes les informations relatives au fonctionnement de sa ZOE dont il est au demeurant entièrement satisfait. ■

LES ARTICLES

La neutralité carbone dans les transports en 2050.

Un générateur de trajectoires possible

Stéphane Dupré la Tour, Franck Pernollet p. 42

L'empreinte carbone de la mobilité électrique en France.

Éléments de comparaison avec le véhicule thermique

Aurélien Schuller p. 42

Les enjeux du cobalt pour la mobilité électrique

Jean-Pierre Hauet p. 42

Mobilité : le modèle de possession en voie de disparition au profit du modèle serviciel

Khadija Guennoun p. 42

Les mobilités actives, une réponse aux enjeux de société contemporains

Sylvie Banoun p. 42

La place du véhicule autonome dans une mobilité propre

Pierre Romet, Franck Gechter, El-Hassane Agzim, Benoîte Lefort, Sidi-Mohammed Senouci p. 42

A Paris : réduire la place de la voiture individuelle polluante

Entretien avec Ariel Weil p. 42

Un usager témoin : 52 mois d'utilisation d'un véhicule électrique

Jean-Paul Hulot p. 42