

Les mobilités du futur : vecteurs techniques, modèles économiques et politiques publiques

04

Introduction

Serge CATOIRE

Mobilités du futur et organisations collectives

06

Pour une nouvelle approche de la mobilité

Jean-Claude RAOUL

12

Mobilité, temps de transport et investissements collectifs

Pr. Yves CROZET

Les nouveaux vecteurs de mobilité

16

Les enjeux économiques et industriels du véhicule connecté et automatisé

Ilarion PAVEL, Denis VIGNOLLES et Gérard LALLEMENT

21

L'électrification des véhicules utilitaires légers : tendances et interrogations

Michel SAVY et Pierre CAMILLERI

25

La mobilité électrique et les bornes de recharge

Joseph BERETTA

31

Les batteries destinées aux véhicules hybrides et tout-électriques

Philippe AZAIS, Thierry PRIEM et Florence LAMBERT

36

Les nouvelles formes de la mobilité : trottinettes électriques, *hoverboards*, bicyclettes électriques...

Frédéric HÉRAN

41

Les téléphériques urbains : l'exemple d'Orléans

Charles-Éric LEMAIGNEN

Acteurs économiques et politiques publiques

45

La filière automobile, soutien des PME et ETI françaises en matière de mobilité du futur

Éric POYETON

49

La voiture individuelle, un nouveau mode de transport collectif ?

Stéphane BEAUDET

52

Quel futur pour le covoiturage ? Comment surmonter les obstacles ?

Matthieu JACQUOT

56

The way out of institutional complexity:

Transport for London (TfL)

Alex WILLIAMS

60

L'organisation des transports dans la métropole de Londres : un historique de ses atouts et de ses difficultés

Christian FATRAS et Pauline VIRLOUVET

65

Mobilités du futur : le Grand Paris Express ouvre la voie

Philippe YVIN

68

Les nouveaux services interurbains d'autocars : un atterrissage en douceur, ou un atterrissage en catastrophe ?

Laurent GUIHÉRY

75

Traductions des résumés

78

Biographies des auteurs

UNE SÉRIE DES
**ANNALES
DES MINES**
FONDÉES EN 1794

RÉALITÉS INDUSTRIELLES

Série trimestrielle • Mai 2018

Rédaction

Conseil général de l'Économie, de l'Industrie,
de l'Énergie et des Technologies, Ministère de
l'Économie et des Finances
120, rue de Bercy - Télédock 797 - 75572 Paris Cedex 12
Tél. : 01 53 18 52 68
<http://www.annales.org>

François Valérian

Rédacteur en chef

Gérard Comby

Secrétaire général

Delphine Mantiene

Secrétaire générale adjointe

Liliane Crapanzano

Assistante de la rédaction

Myriam Michaux

Webmestre

Membres du Comité de Rédaction

Grégoire Postel-Vinay

Président du Comité de rédaction

Godefroy Beauvallet

Serge Catoire

Pierre Couveinhes

Jean-Pierre Dardayrol

Robert Picard

Françoise Roure

Bruno Sauvalle

Rémi Steiner

Christian Stoffaes

Claude Trink

François Valérian

Photo de couverture :

Douze autocars 100% électriques du fabricant chinois
Yutong, livrés au groupe de transport SAVAC, Paris, 6
octobre 2017.

Photo © Simon Lambert/HAYTHAM-REA

Iconographie

Christine de Coninck

Abonnements et ventes

COM & COM

Bâtiment Copernic - 20 Avenue Edouard Herriot
92350 LE PLESSIS ROBINSON

Alain Bruel

Tél. : 01 40 94 22 22 - Fax : 01 40 94 22 32

a.bruel@cometcom.fr

Mise en page : Nadine Namer

Impression : Printcorp

ISSN : 1148-7941

Editeur Délégué :

FFE - 15 rue des Sablons - 75116 PARIS - www.ffe.fr

Régie publicitaire : Belvédère Com

Fabrication : Aïda Pereira

aida.pereira@belvederecom.fr - Tél. : 01 53 36 20 46

Directeur de la publicité : Bruno Slama

Tél. : 01 40 09 66 17

bruno.slama@belvederecom.fr

La mention au regard de certaines illustrations du sigle
« D. R. » correspond à des documents ou photographies
pour lesquels nos recherches d'ayants droit ou d'héritiers se
sont avérées infructueuses.

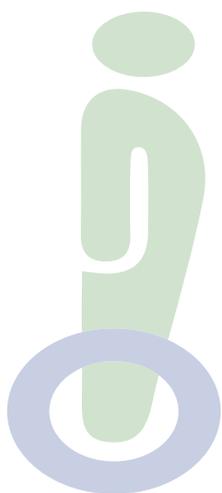


PAS DE SMART CITY

**Smart
Mobility** Lab

AGENCE DE PROSPECTIVE
EN NOUVELLES MOBILITÉS

SANS SMART MOBILITY !



Au Smart Mobility Lab, nous expérimentons et analysons dès à présent les mobilités du futur au travers des ruptures technologiques et d'usages qui se font jour. Smart mobility Lab apporte les clés de lecture et les solutions études & conseil aux acteurs de la filière nouvelles mobilités pour accélérer la transition autour d'une ville intelligente plus propre, moins encombrée et mieux partagée.



NOS 4 TERRITOIRES D'INTERVENTION

MICRO-MOBILITÉ

MOBILITÉ MULTIMODALE

MOBILITÉ PARTAGÉE

MOBILITÉ CONNECTÉE & AUTONOME

NOS SERVICES & PRESTATIONS

MARKETING RESEARCH :

Etudes d'utilisateurs nouvelles mobilités, études qualitatives et quantitatives

CONSEIL & CONSULTING :

Accompagnement de projets innovants, nouveaux produits & services, workshops

BAROMÈTRES & PANELS :

Baromètre, observatoire marchés, enquêtes communautaires online

BUSINESS DEVELOPMENT :

Etudes d'opportunités, recherche de partenariat

Contact : Jean AMBERT au 01 49 700 800 // jean.ambert@smart-mobility-lab.com
57, rue d'Amsterdam 75008 Paris // www.smart-mobility-lab.com

Membre de :

Civilisation et mobilité

Par Serge CATOIRE

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'économie

Voir ses proches, rejoindre son travail, faire de nouvelles rencontres, découvrir de nouveaux lieux, trouver un nouvel emploi : la mobilité est une composante clé de la satisfaction des aspirations humaines, qu'elles soient affectives, intellectuelles ou économiques. L'organisation collective de la mobilité est, par ailleurs, avec la sécurité, l'une des premières attentes que les citoyens aient manifestées envers la société. Le tracé de routes, puis de lignes de chemins de fer et d'autoroutes, l'organisation de la voirie, puis celle des transports collectifs ont marqué des étapes successives d'amélioration de la vie collective.

Le matériel de transport est par ailleurs une composante essentielle de l'emploi et, plus encore, des exportations françaises. Les compétences françaises en la matière ne portent pas uniquement sur les motorisations traditionnelles (essence et diesel) : l'alliance Renault-Nissan est le leader mondial du véhicule électrique. Et dans la liste 2018 des « 500 champions français de la croissance » figure Valeo, seule entreprise de cette taille à figurer dans ce palmarès, ainsi que – dans une classe de taille très différente ! – le producteur de vélos électriques Neomouv. On trouve également dans les dix premiers du palmarès, deux prestataires de service en mobilité, Chauffeur Privé et Allocab.

Depuis les premières lois sur la protection de l'environnement entrées en vigueur dans les années 1970, les actions pour réduire la pollution de l'air ont été constantes, et leurs résultats notables. Sur la période récente (2007-2016), Airparif indique ainsi que le nombre des personnes « potentiellement concernées par un dépassement de la valeur limite journalière en PM10 » a été divisé par près de 30, passant ainsi de 5,6 millions à 200 000. L'ampleur même de ces résultats montre que nous sommes sans doute aux limites de ce qui peut être obtenu sans changer de mode de motorisation de nos véhicules.

Par ailleurs, l'augmentation de la population française et sa métropolisation croissante sollicitent plus que jamais les infrastructures de transport.

Pour mieux satisfaire les besoins en mobilité et continuer à réduire la pollution atmosphérique urbaine, tout en veillant à une utilisation optimale des infrastructures collectives, le recours à de nouveaux types de motorisation, à de nouveaux vecteurs de mobilité et à de nouvelles organisations de la mobilité est aujourd'hui indispensable.

Les différents articles composant ce numéro de *Réalités industrielles* donnent d'abord une vision globale d'un sujet qui est au cœur de l'organisation de la société. Ils exposent ensuite les évolutions techniques majeures en cours, avant de détailler le rôle des acteurs économiques et institutionnels qui permettent, collectivement, de transformer en réalités les possibilités ouvertes par la technique.

Les articles rassemblés dans la première section de ce numéro donnent un éclairage sur les besoins en mobilité et sur leur évolution, ainsi que sur la place de la mobilité dans les investissements publics et dans la consommation – voire la perte – de temps qu'elle représente pour chacun de nous au quotidien.

Jean-Claude Raoul, président de la Commission Urbanisme et Habitat de l'Académie des Technologies, rappelle ainsi que la mobilité et sa vitesse structurent l'espace de vie des populations. En partant du succès des expériences menées par le consortium Bretagne Mobilité Augmentée, il recommande de changer de paradigme et de lancer un programme s'appuyant sur des expériences de sciences sociales et sur les apports des technologies numériques pour une nouvelle approche « active, efficace et durable » de la mobilité.

Le professeur Yves Crozet, de l'Université Lyon 2, explique pourquoi le temps libre, alors qu'il est, à l'échelle d'une vie, quatre fois plus abondant aujourd'hui que dans un passé récent, apparaît à chacun de nous rare, et donc d'autant plus précieux. Il éclaire, à partir de ce constat, la logique des exigences individuelles et collectives en matière d'infrastructures publiques de transport.

L'écosystème des outils de mobilité paraît connaître une véritable explosion cambrienne : véhicules électriques (bientôt autonomes), téléphériques urbains, vélos électriques, monoroues, *hoverboards*, trottinettes électriques, l'offre technique d'une très grande richesse suscite l'embarras du choix.

La seconde section apporte, quant à elle, quelques éclaircissements sur des éléments particuliers de cette offre foisonnante.

Gérard Lallement, Ilarion Pavel et Denis Vignolles, tous trois membres du Conseil général de l'économie, exposent tout d'abord l'ensemble de la problématique technique du véhicule autonome, qui est essentielle pour la mobilité du futur et pour l'industrie correspondante. Ils concluent que l'accès aux données générées par ces véhicules autonomes est un enjeu majeur de la compétition économique. Parmi les véhicules légers, les véhicules utilitaires légers (VUL) représentent 16 %

du parc et 25 % des émissions. On peut estimer qu'ils vont jouer un rôle croissant : si nous nous déplaçons de moins en moins en voiture pour faire nos courses, c'est parce que ce sont nos courses qui viennent de plus en plus à nous, en VUL.

Après avoir rappelé que les VUL se prêtent mieux à l'électrification que tous les autres véhicules, le professeur Michel Savy et Pierre Camilleri tracent les voies de ce que pourrait être une évolution prioritaire du parc de VUL vers l'électrification.

La planification du développement des infrastructures de recharge s'ajuste, par anticipation, au nombre de véhicules électriques en circulation. Dans son article, Joseph Beretta rappelle la maturité technique atteinte par ces installations et souligne le rôle que les véhicules électriques pourront jouer à terme, par l'intermédiaire de ces installations et en s'appuyant sur une recharge intelligente, dans l'équilibrage du réseau d'électricité. Les batteries représentent environ le tiers de la valeur ajoutée d'un véhicule électrique et la performance de celui-ci repose sur elles.

Philippe Azais, Thierry Priem et Florence Lambert décrivent la problématique technique et économique des batteries ainsi que les tendances d'évolution de ce pivot sur lequel repose l'avenir de la mobilité électrique. Pour réduire la pollution et ainsi améliorer notre santé, les modes de déplacement actifs apparaissent incontournables. Effets de mode et évolutions technologiques se combinent pour aboutir, sur les trottoirs et dans les rayons des magasins, à l'apparition d'une multitude d'objets roulants.

Dressant les prérequis d'un développement souhaitable des modes de déplacement actifs, Frédéric Héran nous permet d'entrevoir derrière ce foisonnement un ordre nous permettant, en conséquence, de faire des choix individuels rationnels.

Par ailleurs, dans le transport collectif, de nouvelles offres techniques permettent de nouvelles organisations urbaines que Charles-Éric Lemaignan illustre par l'interaction entre le projet InteRives, à Orléans, et le téléphérique urbain qui va y être installé.

Enfin, dans la dernière section de ce numéro de *Réalités Industrielles*, est décrite l'action de différents acteurs, économiques et institutionnels, qui contribuent à une nouvelle organisation de la mobilité et à une plus grande perméabilité entre le transport individuel et le transport collectif.

Le secteur de la mobilité emploie environ 10 % de la population active. Pour que les entreprises du secteur disposent d'une feuille de route commune, les industriels de l'automobile ont créé la Plateforme Filière Automobile et Mobilités (PFA). Celle-ci déploie son activité dans le pilotage de programmes de recherche communs à la filière automobile, dans l'élaboration de feuilles de route technologiques et dans des actions collectives pour l'apprentissage, la gestion des compétences et la performance industrielle. Éric Poyeton, son directeur général, nous en donne un aperçu.

L'arrivée annoncée des véhicules autonomes transforme les voies de circulation en « systèmes véhicules-infrastructures » et rend possible l'émergence d'un nouveau type de transport, à l'intersection entre véhicule individuel et transport collectif. Les acteurs du covoiturage, dont l'essor a été permis par la convergence entre Internet, le téléphone portable et l'automobile, apportent une contribution à une meilleure utilisation des voitures et des réseaux. Matthieu Jacquot rappelle l'historique du covoiturage et en dresse les futurs possibles. Le Conseil régional d'Île-de-France pilote des expériences et conduit des réflexions stratégiques sur ces sujets. Son vice-président chargé des transports, Stéphane Beaudet, en présente la synthèse.

Avec une superficie plus grande que celle de l'ancien département de la Seine et une population proche de 9 millions d'habitants, la ville de Londres est la première métropole d'Europe occidentale, devant Paris. L'organisation des transports y est à l'échelle de sa taille. Christian Fatras et Pauline Virlovet décrivent les caractéristiques de cette organisation, ses avantages et les défis auxquels elle doit aujourd'hui faire face.

Alex Williams, directeur au sein de *Transport for London* (TfL) – organisme responsable à la fois des transports collectifs, du péage urbain, de la voirie et de la régulation des taxis à Londres – nous donne une vision de l'intérieur de cet organisme, unique de par l'ampleur de ses responsabilités.

Présentant une organisation différente, le projet du Grand Paris Express va doubler la longueur totale de lignes du métro parisien et réduire, voire effacer la césure entre Paris et la petite couronne. Philippe Yvin décrit l'ambition technique, architecturale et urbanistique de ce projet.

Le transport à longue distance (plus de 100 kilomètres) connaît, lui aussi, de fortes évolutions. En France comme en Allemagne, les nouveaux services urbains d'autocars sont venus accroître la part de ce type de véhicule dans les transports interurbains.

Dans son article, Laurent Guihéry montre la croissance rapide des opérateurs sur ce nouveau segment. Il analyse leur situation financière et les perspectives qui s'ouvrent à eux, et évalue la place qu'ils peuvent jouer dans les liaisons interurbaines en France ainsi que dans la poursuite de la construction de l'Europe.

La mobilité est au cœur de notre vie en société. Elle contribue – positivement par les échanges qu'elle permet, négativement par la pollution à laquelle elle participe – à la qualité de la vie de chacun d'entre nous.

Les différents articles composant ce numéro nous donnent une idée du bouillonnement actuel des technologies et des initiatives institutionnelles qui peuvent permettre d'améliorer la mobilité et d'en réduire l'impact.

Le succès d'ensemble de ces initiatives contribuera, n'en doutons pas, à améliorer notre vie quotidienne.

Pour une nouvelle approche de la mobilité

Par Jean-Claude RAOUL
Académie des Technologies

Les approches conventionnelles visent à contraindre la mobilité afin de préserver l'environnement. Les avancées réalisées en matière de transports non polluants sont faibles, si l'on prend en compte le cycle global. Les réponses apportées au besoin de mobilité sont du type « offre de transport », mais :

- la mobilité est mal connue dans sa segmentation, et dans ses effets ;
- les besoins de mobilité pour le développement d'une société féconde sont à définir.

Les possibilités prévisibles (ou qui le deviendront) que nous offrent les technologies numériques peuvent permettre de faire émerger des projets de mobilité plus propres et davantage au service d'une société humaine harmonieuse. Pour développer cela, une collecte structurée d'informations et la constitution d'équipes pluridisciplinaires paraissent nécessaires. En France, le moment est propice pour ce faire, nous devons donc nous engager sur cette voie.

Un panorama des mobilités

Doit-on parler de la mobilité, ou des mobilités ? La mobilité se manifeste par des aspects très divers dans les activités humaines collectives et personnelles. Elle nécessite des moyens mobiles et des infrastructures pour se développer, l'ensemble constitue l'un des systèmes les plus complexes que l'on puisse observer.

Quelques chiffres permettent d'apprécier l'importance en France de la mobilité dans les activités humaines et, de manière générale, dans l'économie :

- Environ une heure par jour et par personne lui est consacrée, et les ménages lui affectent environ 14 % de leurs dépenses. Mais si l'on ajoute la part des impôts et des taxes prélevés par les organismes territoriaux pour la financer, cette part du budget passe à près de 20 %.
- Les emplois directs liés à la production de mobilité sont, en France, au nombre de 465 000. Si l'on y ajoute les emplois induits par le secteur des transports – ceux de la production des véhicules, de la maintenance des matériels et des infrastructures, de la formation, etc. –, ce chiffre s'élève à plus de 2,5 millions, soit environ 10 % de la population active.
- L'impact des transports en termes de rejets de CO₂ a été, en 2014, d'environ 75 millions de tonnes (contre 340 millions produites toutes activités confondues, soit 22 %). Il serait aussi intéressant de connaître l'emprise au sol des infrastructures de transport et d'en suivre l'évolution.
- Pour les entreprises, le coût de la mobilité est plus difficile à évaluer, les plans de déplacements d'entreprise

(PDE), s'ils sont complets, doivent permettre d'en déterminer la valeur (temps passé et valorisé par toute la hiérarchie, coût des moyens, coûts induits).

- Enfin, si le nombre de tués sur les routes a été divisé par 5 en 40 ans. La mobilité a causé la mort d'environ 3 800 personnes, en 2014. Mais à ce chiffre, il faut ajouter celui des décès causés par la pollution induite par les moyens de transport mécaniques, qui est donné comme étant bien supérieur à celui des victimes de la route.

Ce bref panorama montre que la mobilité n'est pas un phénomène marginal, son impact national est en effet de l'ordre de 10 à 20 %, selon le secteur et le point de vue adopté. Peu de secteurs d'activité humaine ont un impact aussi important, ce qui justifie pleinement l'intérêt que lui portent les pouvoirs publics et les autres acteurs économiques.

Les caractéristiques de la mobilité

La mobilité est une constante dans l'histoire humaine. Sa structuration la plus ancienne présente des territoires parsemés de villages le plus souvent distants d'environ cinq kilomètres, ce qui permettait à tout un chacun de mener son activité de cultivateur ou d'éleveur dans la journée, et de regagner chaque soir son habitat, en se déplaçant seul ou accompagné de ses animaux de trait durant une heure par jour, à une vitesse d'environ 5 km/h.

Cette heure de déplacement quotidien par personne paraît être une constante depuis la plus haute Antiquité, ce serait elle qui aurait conditionné tant la distance entre les villages que le dimensionnement des villes.

Cela semble montrer que l'être humain est casanier : s'il est nomade le jour, il cherche à rejoindre son habitat chaque soir.

Aujourd'hui, la mobilité a gagné en vitesse grâce au développement de modes mécanisés qui sont de plus en plus rapides : chaque individu parcourt en moyenne de l'ordre de 80 km par jour (inclus les déplacements à longue distance sur une moyenne annuelle), permettant, entre autres choses, une évolution sensible de la taille des villes qui deviennent des mégalo-poles de 40 à 50 km de rayon, voire plus, en fonction de la vitesse atteinte par les modes de transport implantés sur certains corridors.

Ainsi, la mobilité et la vitesse de déplacement structurent l'espace de vie des populations, et ce à toutes les périodes historiques.

Les courbes présentant les évolutions des distances parcourues en France et aux États-Unis qu'a établies Cesare Marchetti (voir les Figures 1 et 2 ci-après) montrent entre elles de grandes similitudes. Si le diagramme basé sur les données de la France ne prend en compte que la mobilité assistée par un mode de transport, celui qui correspond aux États-Unis inclut, outre cette même mobilité, la mobilité piétonne, ce qui explique la différence entre 2,7 % de croissance par an aux États-Unis, contre 3 % pour la France.

La constante d'un temps de une heure de mobilité par jour est accompagnée, malgré l'augmentation des vitesses permise par les différents modes de transport à disposition, par la constante du poids économique de la mobilité dans les budgets des ménages, qui reste proche de 14 % en moyenne. Les évolutions technologiques des moyens de transport existants et l'arrivée régulière de nouveaux modes de transport ont permis de maintenir ce coût moyen.

Au cours des dernières décennies (les diagrammes disponibles remontent aux années 1800), les moyens de communication autres que la mobilité ont eux aussi fortement évolué. La comparaison établie par Arnulf Gröbler de leurs évolutions en France montre que la mobilité et la communication immatérielle affichent une croissance équivalente (voir la Figure 3 ci-dessous).

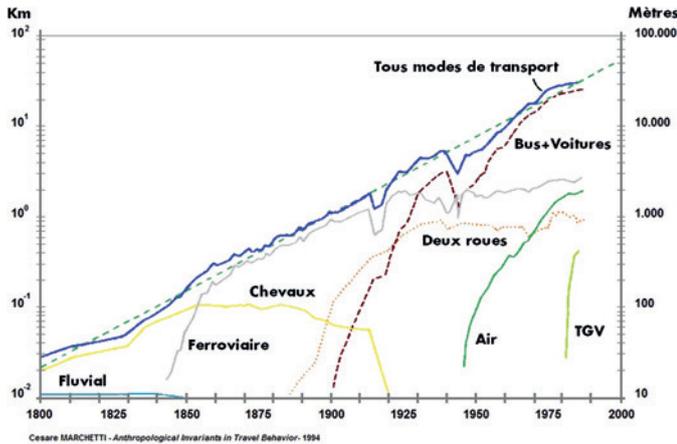


Figure 1.

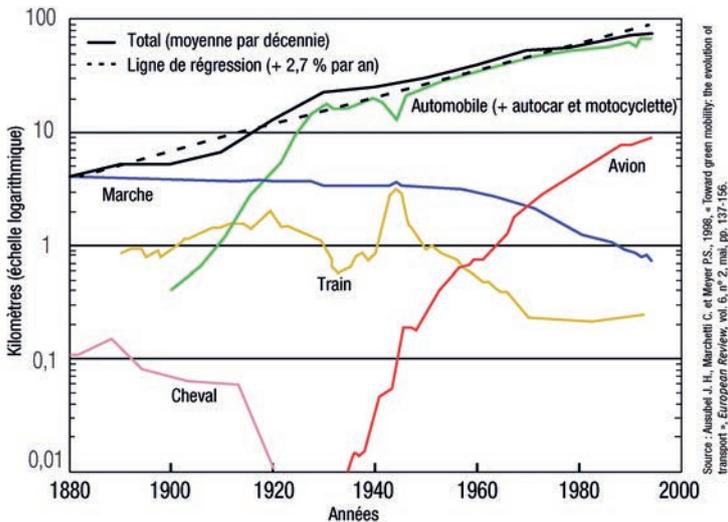


Figure 2.

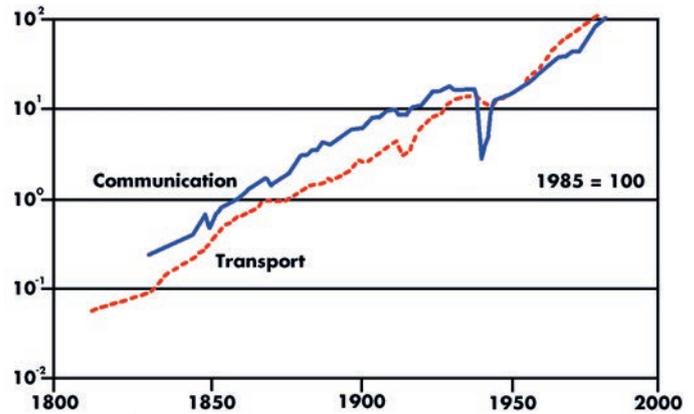


Figure 3.

Suite à l'installation du téléphone à Londres, dans les années 1880, les chauffeurs de taxi se sont mis en grève pour défendre leur métier, qu'ils craignaient de voir périr si les habitants pouvaient à l'avenir se parler sans avoir à se déplacer. Alexander Graham Bell, lors de la présentation de son invention, n'avait-il pas déclaré qu'elle éviterait aux personnes qui en seraient dotées d'avoir à sortir de chez elles pour communiquer avec autrui ?

Cesare Marchetti, qui a mis en évidence cette constante d'une heure de mobilité par jour et par personne, et son caractère avéré quels que soient non seulement les pays, mais aussi les évolutions technologiques des autres moyens de communication, en a déduit qu'elle représente une permanence anthropologique et que, par conséquent, il est quasi impossible de la modifier (« *Anthropological Invariants in Travel Behavior* » et « *Basic instincts* »).

Cette indépendance de la croissance de la mobilité vis-à-vis de celle de la transmission immatérielle résistera-t-elle aux avancées offertes par les technologies du numérique ? Il est encore trop tôt pour pouvoir mesurer les effets du numérique. Alors qu'est intervenu un ralentissement de cette croissance depuis une ou deux décennies, ce qui a laissé penser que l'impact du numérique, allié à celui des mesures coercitives prises pour réduire la mobilité, allait permettre de sortir de cette courbe inflationniste,

on a constaté que cette croissance est remontée à 2,6 % au titre de chacune des deux dernières années.

Yves Crozet, dans son article sur l'hyper-mobilité (*Lettre de l'Académie de l'Air et de l'Espace*, n°14, septembre/octobre 2017), pointe un événement qui s'est produit pour la première fois dans l'histoire de l'humanité : la stagnation, voire la régression des vitesses des moyens de transport.

Les figures 1 et 2 de la page 7 montrent que les vitesses moyennes enregistrées ont bénéficié régulièrement non seulement de l'apparition de nouveaux modes de transport (le chemin de fer vers 1850, la voiture vers 1900, puis l'avion vers 1945, et, enfin, la grande vitesse ferroviaire vers 1980), mais aussi d'une amélioration permanente de la vitesse d'exploitation de chacun de ces modes de transport : le chemin de fer est ainsi passé de 30 km/h à plus de 200 km/h, l'automobile de 30 à plus de 150 km/h, les avions de 300 km/h à la vitesse supersonique, la grande vitesse ferroviaire de 260 à 350 km/h.

Mais cette évolution s'est interrompue aux alentours des années 2000, du fait :

- de la limitation des vitesses sur toutes les infrastructures routières : 50, voire 30 km/h au lieu de 60 km/h en ville, 90 (et bientôt 80 km/h) sur route et 130 sur autoroute, et ce, tant pour des raisons de sécurité que dans une optique de réduction de la consommation d'énergie et de la pollution ;
- de l'arrêt des vols commerciaux supersoniques et d'un retour à des vitesses de croisière plus économes en énergie ;
- pour ce qui est du ferroviaire, il faut noter que même si les vitesses n'ont pas été réduites, les temps de parcours sur les lignes classiques (hors réseaux à grande vitesse) ont été rallongés.

Compte tenu de cette constante d'une heure de mobilité par personne et par jour, cette réduction générale de la vitesse des moyens de transport ne devrait plus permettre la croissance de la mobilité (en nombre de kilomètres parcourus par unité de temps), contrairement à ce qui avait été constaté depuis que les premiers moyens de transport mécaniques sont apparus. La croissance de la mobilité sera désormais attribuable à l'accession d'un plus grand nombre de passagers aux modes de transport les plus rapides (avion et grande vitesse ferroviaire) et à l'amélioration des vitesses moyennes des modes classiques (à vitesse maximale constante ou plus faible), par exemple grâce à une réduction de l'encombrement des réseaux (en particulier, du réseau routier).

Les différents types de mobilité

Nombreux, les différents types de mobilité sont peu connus. Les travaux induits par le lancement et la réalisation des plans de déplacement tant sur les territoires que dans les entreprises doivent nous permettre de mieux les connaître.

Nous pouvons cependant constater dès aujourd'hui que nous sommes passés, en deux ou trois décennies, d'une

mobilité des personnes résultant principalement des activités professionnelles (les déplacements domicile-travail, le « métro-boulot-dodo » des années 1960) à une répartition qui a tendance à s'équilibrer entre :

- les activités professionnelles (1),
- l'enseignement (2),
- les loisirs et la culture (3 et 4),
- les soins de santé (3 et 4),
- les achats (3 et 4).

Les deux dernières enquêtes sur la mobilité de proximité (moins de 80 km) réalisées en 2008 et 1994 classent les trajets effectués en quatre motifs agrégés : domicile/travail (1) ; domicile/école (2) ; affaires personnelles (3) ; domicile et secondaire (4). Les tableaux correspondants permettent de constater que les parts de chacune des catégories précitées ne sont pas très différentes, alors que les déplacements domicile/travail étaient dominants, il y a de cela quelques décennies.

Ce mode d'agrégation statistique ne permet pas d'apprécier certains des aspects importants de la mobilité, non pas de par leur volume, mais de par leur impact sociétal et économique.

L'accès à la formation et à l'emploi est lui aussi conditionné par la mobilité : l'enquête « Mobilité et accès à l'emploi » (du Laboratoire de la mobilité inclusive) de janvier 2017 montre ce lien étroit.

Les formations dispensées par les collèges et lycées professionnels conduisent trop souvent à des choix par défaut de spécialités qui ne correspondent pas aux souhaits des élèves, ces choix étant guidés par la proximité des établissements concernés en raison d'une offre de transport insuffisante qui ne permet pas aux élèves d'accéder à des offres plus larges en termes de formation et sur le plan culturel. Ce manque de mobilité devient synonyme alors d'échec scolaire, puis de chômage, voire de délinquance.

La construction de grands espaces administratifs ou économiques ne peut être envisagée sans avoir l'assurance d'une offre de mobilité permettant d'accéder à ces espaces.

D'un point de vue historique, il est connu que les grands empires ont nécessité la construction d'infrastructures de communication (les voies romaines, des ports régulièrement répartis) pour pouvoir contrôler leur territoire, le gérer et permettre son essor économique.

Pour pouvoir durer, ces grands espaces ont besoin de voir se développer les échanges culturels entre les populations qui les occupent. Nombreux sont les exemples historiques du déclin de ces espaces suite à l'effondrement de leurs infrastructures de communication.

En Europe, après la Seconde Guerre mondiale, ces échanges ont été suscités et favorisés, en plus de ceux générés par l'activité économique. Il faut bien sûr citer non seulement les opérations de jumelage entre des villes et des villages français et allemands, mais aussi, plus récemment, le programme Erasmus qui a permis à plus de 400 000 jeunes Européens d'aller étudier dans

un autre pays de l'Union européenne. La politique volontariste de l'Union européenne d'équiper l'ensemble de son territoire d'infrastructures de transport efficaces va dans le sens de la construction d'une Europe tant politique qu'économique.

Même si elle n'a que peu d'impact sur les modes de transport, cette mobilité n'en est pas moins importante qualitativement, il est donc essentiel de la préserver, et même de la développer.

Les apports du numérique en matière de mobilité

Tous les modes de transport et la mobilité, dans son essence même, sont ou seront impactés par les effets connus ou prévisibles du numérique. Mais ses effets réels à moyen et long terme ne sont pas prévisibles, comme le démontre les évolutions observées dans le domaine de l'industrie au cours des dernières années.

Lorsque les premières stations de travail ont été installées pour remplacer les planches à dessin des bureaux d'études, personne n'imaginait l'impact que cette numérisation allait avoir sur l'ensemble des chaînes de production, pour aboutir à l'« usine 4.0 », qui nous réserve probablement encore bien des surprises.

Le numérique a des effets directs et connus en expérimentation ou en application sur les différents modes de transport. Il est difficile d'en établir une nomenclature, mais ils portent principalement sur l'efficacité tant de l'utilisation qui est faite des infrastructures (métros automatiques, ERTMS pour le ferroviaire) que de l'utilisation de l'énergie (pilotage des sources d'énergie et récupération de celle-ci sur les véhicules routiers, gestion globale de l'énergie au profit de véhicules plus propres), ainsi qu'en matière de remplissage des véhicules (trains, avions...), d'amélioration de la sécurité et du confort (pilotes automatiques, voitures autonomes...), ou encore en matière de mobilité partagée ou de comobilité (BlaBlaCar et les nouveaux développements du type Govoit).

Plus généralement, la mobilité évolue, comme les autres activités humaines, grâce ou à cause du déploiement des technologies dites numériques.

Deux grands axes de transformation sont souvent évoqués :

- d'une part, la possibilité tout en restant chez soi, confortablement installé dans son fauteuil, d'avoir accès à tous les événements se déroulant dans le monde, de voir et de communiquer avec qui l'on souhaite, ce qui permet à certains de prédire une réduction considérable des besoins de mobilité. On retrouve là l'espoir déçu de Bell, car il est plus que probable qu'un nouvel équilibre entre déplacements et communication sera trouvé dans les prochaines années et que, dans son évaluation prospective, il ne faudra pas sous-estimer le fait que plus de communication suscitera plus de mobilité ;
- d'autre part, une réorganisation des systèmes de transport reposant sur une redéfinition de la répartition entre les modes de déplacement grâce à une information

instantanée et à une puissance de calcul inégalée, qui offrent au passager une sorte de don d'ubiquité à travers la capacité octroyée aux entreprises de transport de lui offrir instantanément le service optimisé et le plus adapté à sa demande.

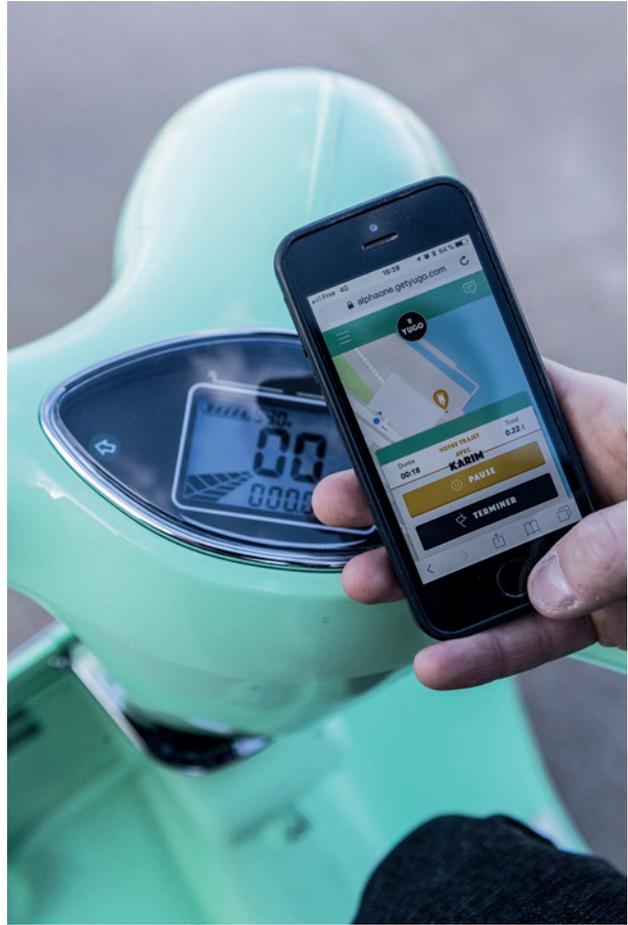


Photo © Sébastien ORTOLA/REA

Arrivée à Bordeaux des scooters électriques en libre-service, un service baptisé « Yugo ».

« Une réorganisation des systèmes de transport reposant sur une redéfinition de la répartition entre les modes de déplacement grâce à une information instantanée et à une puissance de calcul inégalée, qui offrent au passager une sorte de don d'ubiquité à travers la capacité octroyée aux entreprises de transport de lui offrir instantanément le service optimisé et le plus adapté à sa demande. »

Les technologies numériques permettent de passer d'une offre de moyens de transport à une satisfaction efficace des besoins de mobilité.

Efficace, car elle doit permettre à chacun de nous de satisfaire nos propres besoins de mobilité liés à nos différentes activités, mais efficace aussi car elle doit proposer, pour chacun de nos besoins, des solutions optimisées en termes de temps, de coût, de réduction de la pollution, d'efficacité énergétique et en termes d'usage de l'espace.

Vers une nouvelle approche

BMA Bretagne Mobilité Augmentée qui devient Booster de Mobilité Active

Réalisé par un consortium regroupant des universités, des associations et des entreprises bretonnes et financé dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir *via* le canal de l'Ademe, le projet BMA a permis de mener quatre années d'expérimentation sur dix-huit types d'activités différentes et d'en tirer des propositions générales. Celles-ci ont été reprises dans le manifeste de BMA « Réinventer la mobilité », qui a été publié à l'issue de deux séances de consultation organisées au niveau national.

BMA propose de considérer la mobilité comme étant partie intégrante de chacune des activités et d'optimiser le couple « activité/mobilité associée ».

Deux exemples peuvent permettre d'éclairer cette démarche :

- Une entreprise moyenne ou petite du bâtiment a besoin, pour réaliser ses chantiers de s'approvisionner en matériaux – ce qui sera fait soit par des livraisons directes, soit *via* un déplacement d'un ou de plusieurs acteurs du secteur chez ses fournisseurs. Le nombre des livraisons ou des déplacements pour un chantier donné ramené au chiffre d'affaires généré est un des indicateurs de l'efficacité de l'entreprise.

Le suivi de cet indicateur et la mise en place d'un plan d'actions visant à réduire le nombre des déplacements permettent non seulement de réduire le coût transport, de rendre efficace la mobilité engendrée, mais aussi, en améliorant la préparation du chantier, d'en améliorer la rentabilité.

- Un service d'oncologie d'un CHR a mesuré son budget ambulances, qui était supérieur à 10 millions d'euros/an. Pour le réduire, le parcours du patient, qui nécessitait 5 à 6 visites du patient au CHR avant une intervention chirurgicale, a été ré-analysé. Il en est résulté une profonde modification de ce parcours, la mise en place de nouvelles compétences pour un meilleur suivi et une réduction du nombre des visites à 2 ou 3. La réduction du budget ambulances a été de près de 60 %, l'économie dégagée a pu être attribuée à l'exercice effectif des soins.

Ce type de démarche pourra être reproduit systématiquement au travers des plans de déplacement des entreprises, quel que soit leur secteur d'activité, afin de rendre la mobilité générée plus efficace. Mais il permettra aussi de ré-analyser les processus internes et externes appliqués par l'entreprise non seulement pour elle-même mais aussi vis-à-vis de ses clients, de ses fournisseurs et même de tout son personnel.

On perçoit la richesse de cette démarche qui permet de développer l'efficacité des activités humaines, tout en réduisant les ressources mobilisées.

Associée aux démarches visant à rendre chaque mode de transport plus économe et plus propre, une telle démarche

doit permettre une évolution vertueuse des dépenses en énergie et une réduction de la pollution associée.

BMA propose aux acteurs une méthode d'application dans le cadre de la mise en place des plans de mobilité des entreprises, qui est aussi une dynamique de co-conception de solutions qui ne pourra que dynamiser l'ensemble des acteurs et des activités des entreprises qui participeront à l'exercice.

De nouvelles applications Transports pour le numérique

L'idée du transport à la demande est ancienne. Une première tentative de réalisation urbaine a vu le jour de façon expérimentale à Paris, dans les années 1980. Il s'agissait d'un métro automatique constitué de petits véhicules autonomes circulant sur un réseau maillé et capables de s'accoupler tout en circulant, pour former des rames à parcours compatibles sur une partie de leur trajet, mais aussi de desservir finement, et à la demande des utilisateurs, tel ou tel territoire.

Ce système a été décrit par Bruno Latour dans son ouvrage *Aramis ou l'amour des techniques*.

L'arrivée des véhicules autonomes, associée à la gestion des mobilités partagées, peut faire espérer un réseau capable de s'adapter instantanément à la demande, sur la base des infrastructures existantes, pour effectuer des déplacements de porte à porte avec un nombre de correspondances et des délais d'attente limités, dans des véhicules dont les déplacements et les occupants seront suivis, tracés pour apporter le niveau de confiance requis.

Cela devrait permettre d'apporter une réponse plus globale aux besoins de mobilité en associant, le cas échéant, divers modes de déplacement pour permettre et optimiser (en termes de confort, de consommation d'énergie, d'émissions de gaz à effet de serre...) le transport de porte à porte.

Conclusion

Issue d'une vision négative de la mobilité, l'approche actuelle, principalement basée sur une offre de transport contrainte afin d'en limiter les effets négatifs, ne peut être suffisante, au vu des éléments qui précèdent, pour répondre à la complexité et à l'importance du domaine.

La mobilité est un élément important de la structuration non seulement des territoires, mais aussi des êtres humains, la mobilité physique et la mobilité intellectuelle n'étant pas totalement indépendantes.

La mobilité est un élément indispensable aux activités humaines, il est donc nécessaire de la connaître dans tous ses aspects et d'en favoriser l'épanouissement au service de ces activités, et de leur économie (au sens large de ce terme).

Les apports potentiels des technologies numériques doivent être mis au service d'une nouvelle mobilité qui soit active et efficace, au service de l'aventure humaine du XXI^e siècle et de son développement durable.

Pour cela, un grand programme paraît nécessaire, il doit être basé sur une connaissance complète de la mobilité, dans chacun de ses domaines d'application qu'ils soient physiques, politiques, moraux, intellectuels, sanitaires ou économiques. Ce programme pourra susciter et accompagner des projets que la vision actuelle ne pourrait qu'étouffer s'ils venaient à voir le jour, ce qui est peu probable, en l'état actuel des choses, tant cette vision leur est peu favorable.

Cela nécessite d'associer de nombreuses disciplines existantes. Les plans de mobilité, tels qu'ils ont été lancés

en France, peuvent être la source de données riches et utilisables, à la condition qu'elles aient été structurées dès leur saisie.

Puissance nouvelle du numérique, compétences existantes, données à portée de main, constat d'une efficacité limitée due à des errements habituels : tout est réuni pour lancer un tel programme sur la base d'une nouvelle vision de la mobilité.

Aurons-nous la sagesse et la force de saisir cette opportunité ? L'avenir le dira.

Mobilité, temps de transport et investissements collectifs

Par Pr. Yves CROZET

Université Lyon 2 (IEP), Laboratoire Aménagement Économie Transports

Pour comprendre les mobilités du futur, il ne faut pas regarder seulement du côté de l'évolution des moyens de transport. Ils ne sont qu'une des variables de l'équation des mobilités. Au cours des dernières décennies, l'accès à la vitesse s'est démocratisé du fait de la baisse de son prix relatif. Ce mouvement rencontre pourtant des limites. Les vitesses commerciales des différents modes de transport sont stables, voire régressent. Pour concevoir le futur de la mobilité, nous devons non pas nous polariser sur la vitesse, mais sur les formes nouvelles, individuelles et collectives de la gestion du temps, ce dernier étant devenu pour les individus la ressource la plus rare. C'est la raison pour laquelle les politiques publiques donnent aujourd'hui la priorité aux mobilités quotidiennes en les soumettant à des contraintes financières, énergétiques et environnementales. Pour cela, elles ne visent plus à accroître les vitesses, mais à optimiser la gestion de la ressource collective la plus rare : l'espace.

Comment nous déplacerons-nous dans les prochaines décennies ? Comment la révolution numérique se traduira-t-elle dans nos mobilités ? Ces deux questions semblent redondantes, mais elles ne le sont pas, car déplacement et mobilité ne sont pas des notions équivalentes. Le déplacement n'est qu'une des composantes de la mobilité, laquelle englobe également les activités et leurs localisations. S'interroger sur les mobilités du futur ne revient donc pas à se concentrer sur l'évolution des seuls moyens de transport. Ils ne sont qu'une des variables de l'équation des mobilités. Il est vrai que, depuis des décennies, les politiques publiques et les individus ont abordé la mobilité sous le seul angle des transports. Ce sont eux qui étaient censés s'ajuster au déploiement de nos programmes d'activités, c'est-à-dire à une succession de couples activité-localisation. Cette façon de faire résulte de la tendance séculaire à la baisse du coût global des déplacements, dans ses deux composantes, leur prix et le temps de déplacement lui-même, lequel dépend de la vitesse.

Comme nous allons le voir dans une première partie, l'accès à la vitesse s'est démocratisé du fait de la baisse de son prix relatif, au moment même où la hausse des revenus faisait du temps la ressource la plus rare. Accroître les vitesses de déplacement est apparu comme une évidence. Ce mouvement rencontre pourtant des limites. Le fait que les politiques publiques insistent aujourd'hui sur les mobilités de la vie quotidienne en est une illustration. Le futur doit être pensé en intégrant la question des formes nouvelles, individuelles et/ou collectives de la

gestion du temps. La recherche de gains de temps va persister, mais pas sous la forme d'une plus grande vitesse. Dans une seconde partie, nous présenterons ces formes d'optimisation centrées sur l'intensité et la fiabilité.

La raréfaction continue du temps et la recherche de la vitesse

J. Viard (2006) a calculé que nous disposons aujourd'hui de 400 000 heures de temps libre à l'échelle d'une vie, contre 100 000, il y a quelques décennies. Mais croire que cela permet de « donner du temps au temps » est une erreur de raisonnement. Lorsque le revenu augmente, les besoins se diversifient en fonction de ce que les économistes appellent la préférence pour la variété. Dans le cas de la France, au cours du XX^e siècle, le revenu moyen des ménages a été multiplié par 11, soit plus 1 000 % ! En d'autres termes, la quantité de temps disponible par unité de revenu, et donc par unité de biens et services consommés, a fortement diminué. Chacun est confronté à une rareté croissante du temps que nous pouvons consacrer à chaque bien ou à chaque service accessible. Ainsi, comme l'avait annoncé au début des années 1960 le sociologue J. Dumazedier, en valeur absolue, notre budget « temps libre » a bien été multiplié par 4 en un siècle. Pourtant, paradoxalement, le temps nous manque de plus en plus, car cet accroissement doit être comparé à celui de nos revenus. L'augmentation des vitesses de déplacement est un moyen de traiter cette contrainte, mais cela ne peut se faire sans que d'autres contraintes apparaissent.

Démocratisation de la vitesse et politiques publiques

En France, la mobilité motorisée des personnes représente 1 000 milliards de passagers-kilomètres (Pkm) par an, dont plus de 80 % en automobile. Ce chiffre ne prend en compte que les déplacements effectués sur le territoire français. Chacune des 65 millions de personnes résidant en France métropolitaine effectue plus de 15 000 kilomètres par an, soit environ 42 km par jour. Si nous devions parcourir ces distances à pied, il nous faudrait un budget-temps de transport (BTT) d'au moins 8 heures. Or, quotidiennement, nous ne consacrons qu'un peu moins d'une heure à la mobilité. Deux siècles de croissance économique et de révolutions industrielles nous ont donc transmis un legs trop souvent oublié, celui d'une étonnante motilité (KAUFMANN, 2008). Grâce à l'augmentation des vitesses moyennes, les distances parcourues ont progressé à la même vitesse que les revenus.

Les politiques publiques ont en France largement contribué à la démocratisation de la vitesse. La présence d'une administration centrale forte, bien relayée dans les territoires par le pouvoir des préfets, d'une part, et par celui des élus locaux, d'autre part, a débouché sur des programmes pluriannuels cohérents de planification des infrastructures de transport. Dès 1971, était établi un « schéma directeur » qui organisait, sur la base de cartes détaillées, le développement du réseau autoroutier et la mise aux normes du réseau routier national. Limité à quelques centaines de kilomètres en 1971, le réseau autoroutier dépassait les 15 000 km au début des années 2000, dont près de 10 000 km d'autoroutes à péage. En 1992, était établi un schéma directeur des lignes ferroviaires à grande vitesse (LGV). Ce réseau, qui approchait alors les 1 200 km, devait à terme se déployer sur 4 700 km. En 2018, il a atteint 2 700 km.

Du fait d'un enrichissement généralisé, nous sommes entrés dans la « civilisation du loisir ». Mais celle-ci n'a pas pris la forme attendue. Les loisirs sont moins créatifs que récréatifs, ils sont entrés dans le champ de la massification, de l'industrialisation et des déplacements à longue distance, grâce au transport aérien. Ainsi, en prenant en compte les transports internationaux, les modes de transport rapides (TGV et avion) représentent en France plus de 15 % des passagers-kilomètres. La vitesse moyenne n'augmente plus sur les routes, mais la vitesse moyenne de nos déplacements continue à progresser, car nous substituons des modes rapides aux modes lents. En France, depuis le début du XXI^e siècle, le trafic aérien progresse deux à trois fois plus vite que le PIB.

Les limites de la recherche de vitesse

Les gains de vitesse sont associés à l'idée de progrès. Ils ont permis d'accroître les distances parcourues, alors que le temps passé quotidiennement dans les transports est resté stable (environ une heure). Il est pourtant peu probable que cette tendance à accroître les distances et la vitesse moyenne perdure dans les décennies à venir. Il est plus logique d'envisager une courbe en asymptote. Ce changement provient du fait que depuis déjà plusieurs

décennies, la vitesse commerciale des différents modes de transport augmente peu, voire diminue.

En matière de vitesse, l'automobile illustre bien les limites du « toujours plus ». Une première remise en cause découle des exigences de la sécurité routière. Pour obtenir ce grand succès de politique publique qu'a été, depuis 2002, une division par 2,5 du nombre des morts sur les routes, la France a mis en avant la nécessaire baisse des vitesses maximales autorisées et le respect de ces limitations. La seconde remise en cause est le fruit du succès même du transport routier de voyageurs et de marchandises et de sa consommation d'espace. En France, le réseau routier compte un million de kilomètres, sur lequel circulent 40 millions de véhicules, dont 34 millions d'automobiles. Cela représente donc 40 véhicules par km de voirie, soit 20 dans chaque sens : un véhicule tous les 50 mètres ! Mais comme la majorité du trafic ne concerne que 10 % du linéaire, la densité potentielle est très forte sur les axes majeurs. La voiture se heurte donc au fait qu'elle est une grande consommatrice d'espace (pour rouler et pour stationner). Comme la route est aussi de plus en plus nécessaire au transport de marchandises, tant en urbain qu'en interurbain, elle doit être partagée entre les automobiles et les véhicules utilitaires. Les automobilistes doivent de plus en plus caler leur vitesse sur celle des véhicules les plus lourds et les plus lents !

Il résulte de tout cela une congestion croissante sur les routes, notamment en milieu urbain. Il ne faut pas chercher ailleurs le fait que les élus des grandes villes, toutes tendances politiques confondues, sont aujourd'hui inquiets des effets pervers de toute nouvelle infrastructure routière en zone urbaine. Partout, les politiques publiques promeuvent les transports publics, notamment le tramway, dont la vitesse commerciale est faible. Les modes de déplacement actifs (comme la marche à pied ou le vélo) sont eux aussi plébiscités, parallèlement aux efforts de densification des centres urbains. Alors que pendant des décennies, on a cherché à améliorer l'accessibilité par la baisse du coût global des déplacements (plus vite, moins cher), l'atteinte de ce même objectif est aujourd'hui recherchée par la proximité et la densité. Est-ce à dire que nous allons de moins en moins nous déplacer et que la révolution digitale va réduire notre demande de transport au profit de notre exigence de connectivité ?

Mobilité et révolution digitale

L'étude des budgets temps des Français révèle que, pour développer notre préférence pour la variété, nos 24 heures quotidiennes ont d'abord été « augmentées ». Nous dormons une heure de moins que nos ancêtres. Le temps libre « gagné » sur le sommeil et sur le travail⁽¹⁾, mais aussi celui procuré par une plus longue durée de la vie n'ont pas été affectés seulement à l'oisiveté, même si l'on pourrait ranger dans cette catégorie le temps accru

(1) Une vie de travail représente aujourd'hui 60 000 heures, soit deux fois moins qu'il y a un siècle.



Photo © Pierre GLEIZES/REA

Borne de comptage des vélos installée à proximité d'un arrêt de tramway, à Nantes.

« Partout, les politiques publiques promeuvent les transports publics, notamment le tramway, dont la vitesse commerciale est faible. Les modes de déplacement actifs (comme la marche à pied ou le vélo) sont eux aussi plébiscités, parallèlement aux efforts de densification des centres urbains. »

passé devant la télévision. Les programmes de nos activités se sont diversifiés et intensifiés. Ces deux qualificatifs sont, plus que les distances parcourues, les marques de la modernité en matière de mobilité. Le récent développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) a accentué le mouvement. Envoyer un sms ou un *email*, voire plusieurs, pendant une réunion est devenu une pratique courante, tout comme consulter Internet pendant un repas en famille ou entre amis. Au risque d'une dégradation de la sociabilité, avec les *smartphones*, nous touchons du doigt (au sens propre comme au sens figuré) une certaine forme d'ubiquité. Faut-il en déduire que nos déplacements vont se réduire, puisque nos programmes d'activités pourront être de plus en plus intensifs, et ce, tout en restant au même endroit ?

L'intensification et la fiabilité des programmes d'activités

Répondre positivement à cette question reviendrait à faire la même erreur que celle qui assimilait la société du loisir à la société du temps libre. De même que le temps libéré est devenu de plus en plus rare du fait de la masse des opportunités offertes par la hausse des revenus, la puissance des moyens de communication modernes, en multipliant les connexions possibles, accentue encore la

rareté du temps disponible. Mais c'est une rareté relative engendrée par l'abondance. La masse des *emails* que nous recevons et que nous envoyons, chaque jour, en est la meilleure illustration.

Ainsi, en matière de mobilité individuelle, la révolution digitale nous oblige à une optimisation de plus en plus sophistiquée de nos programmes d'activités. Nous devons arbitrer entre des options qui sont de plus en plus nombreuses. Cela peut se traduire par une moindre mobilité. Un système performant de visioconférence contribue à limiter les déplacements professionnels. Les messageries modernes assurent notre connexion quasi permanente avec les membres de notre famille, sans que nous ayons besoin de leur rendre visite. Mais cela a peu d'impact sur la mobilité globale, car notre préférence pour la variété ne peut se satisfaire de relations sociales (ou de travail ou de loisirs) qui ne seraient que digitales. Certaines activités n'ont de sens que lorsqu'elles se déroulent dans des lieux éloignés de notre domicile. En grande partie, ce que nous appelons « travail » en est un exemple, tout comme le sont les loisirs ou les relations familiales, lesquels demeurent de puissantes motivations de nos déplacements.

Notre demande de mobilité va donc continuer à générer des déplacements, surtout si les prix baissent comme

c'est le cas avec le transport aérien, les TGV *low cost* ou les autocars à longue distance. Tous ces transports illustrent les évolutions de nos modes de vie. Nous continuerons à franchir des distances importantes chaque année sans faire forcément plus de kilomètres, mais en exigeant une grande fiabilité, laquelle constitue une condition de l'optimisation de nos programmes d'activités. Ainsi, dans beaucoup de villes, la vitesse commerciale des autobus est faible, mais à proximité de chaque arrêt, un écran indique les temps d'attente. Nous pouvons dès lors nous replonger dans notre *smartphone* pour rester connectés. Quand nous prenons l'avion et même le TGV, nous devons nous ménager des délais de précaution accrus pour pouvoir passer les contrôles de sécurité et franchir à pied des distances de plus en plus longues vers les portes d'embarquement. Mais ce qui est de fait une baisse de la vitesse commerciale « porte à porte » n'est pas dénoncé si les horaires sont respectés et si une connexion wifi est offerte...

Une nouvelle donne pour les politiques publiques

Ce que nous venons de décrire éclaire l'évolution des politiques publiques. Lorsque, dans le cadre des récentes Assises de la mobilité, le gouvernement insiste sur la priorité à donner aux mobilités du quotidien, lorsque le président de la République indique que l'heure n'est plus aux grands projets de LGV ou d'aéroport, lorsque le ministère des Transports soutient les innovations en faveur d'une mobilité connectée et partagée, ils répondent à cette demande sociale d'intensification et de fiabilité de nos programmes d'activités, non pas en offrant des transports aux vitesses accrues, mais en s'inscrivant dans les nouvelles formes d'optimisation de nos budgets temps.

Évidemment, cette orientation n'est pas, de leur part, seulement le fruit d'une volonté de coller à l'évolution des modes de vie. C'est aussi le résultat de contraintes croissantes à la fois financières, environnementales et urbaines.

Les gains de vitesse ont un coût dissuasif (HÉRAN, 2009). Si les avions supersoniques n'ont pas connu le succès commercial, c'est à cause du prix du billet (près de 20 fois celui d'un vol subsonique, notamment du fait du coût de l'énergie consommée).

La question énergétique rejoint les enjeux environnementaux. Les engagements climatiques exigent une évolution

des motorisations et une réduction des consommations énergétiques. C'est la raison pour laquelle la mobilité automobile, qui va rester dominante, sera de plus en plus une mobilité partagée.

Un partage qui sera d'autant plus nécessaire que l'urbanisation va continuer à se développer. Or, si le temps va rester la ressource la plus rare pour les individus, c'est l'espace qui est désormais la ressource la plus rare pour la collectivité. L'enjeu clé pour le véhicule du futur n'est pas de savoir s'il sera ou non autonome, mais de savoir comment il pourra être partagé.

Les différentes dimensions de cette nouvelle donne sont largement développées dans les différents articles composant ce numéro de *Réalités industrielles*.

Références bibliographiques

CROZET Y. (2016), *Hyper-mobilité et politiques publiques : changer d'époque ?*, éd. Economica, 192 p.

CROZET Y. (2015), « Maglev (603 km/h), Hyperloop (1 100 km/h)... Vers un "retour sur terre" de la très grande vitesse ? », *Revue Transports*, n°491, mai-juin, pp. 5-15, <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01327296/document>

CROZET Y. (2014), « Mobilité et vitesses des déplacements : vers une remise en cause de la tendance séculaire aux gains de temps ? », in FLONNEAU M., LABORIE L. & PASSALACQUA A. (dir.), *Les Transports de la démocratie, approche historique des enjeux politiques de la mobilité*, Presses Universitaires de Rennes, 222 p.

DUMAZEDIER J. (1962), *Vers une civilisation du loisir ?*, Paris, PUF.

HÉRAN F. (2009), « À propos de la vitesse généralisée des transports, un concept d'Ivan Illich revisité », *Revue d'économie régionale et urbaine*, A. Colin, 2009-3, juillet, pp. 449-470.

KAUFMANN V. (2008), *Les Paradoxes de la mobilité, bouger, s'enraciner*, Lausanne, PPUR, 115 p.

VIARD J. (2006), *Éloge de la mobilité*, Éditions de l'Aube, 252 p.

Les enjeux économiques et industriels du véhicule connecté et automatisé

Par Ilarion PAVEL

Ingénieur en chef des Mines, Conseil général de l'économie

Denis VIGNOLLES

Chef de mission de contrôle économique et financier, Conseil général de l'économie

et Gérard LALLEMENT

Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'économie

Le véhicule connecté et autonome se trouve au cœur d'enjeux multiples : des enjeux publics relatifs à la sécurité, à l'amélioration du trafic routier et de la politique de transports collectifs, ainsi qu'à la réduction des consommations énergétiques ; des enjeux économiques et industriels ; des enjeux de régulation, en particulier ceux relatifs à l'accès et à l'usage des données personnelles ; des enjeux de souveraineté liés à l'absence de maîtrise de certaines technologies stratégiques (cartographie) et, enfin, des enjeux de cybersécurité.

Ces enjeux sont pris en compte dans un cadre européen et international particulièrement déterminant pour le développement du véhicule connecté et automatisé, notamment en matière d'homologation des véhicules et de sécurité routière.

Selon certains scénarios, les constructeurs et les équipementiers automobiles pourraient ne plus être, à terme, les acteurs dominants du point de vue financier dans l'écosystème de la voiture connectée et automatisée.

Introduction

Un véhicule autonome est un véhicule qui se déplace sur la voie publique de façon automatique, sans intervention de ses utilisateurs. Un véhicule autonome n'est pas nécessairement connecté : il doit être en capacité de circuler sans dépendre d'une éventuelle connexion et d'informations provenant de l'extérieur. Ce sont les radars, les sonars, les caméras, les lidars (télémètres laser), les calculateurs et le logiciel embarqués qui permettent d'assurer la délégation partielle ou totale de la conduite au véhicule.

Néanmoins, la conduite autonome sera plus efficace si le véhicule est en mesure de se connecter aux autres véhicules ou aux réseaux des gestionnaires d'infrastructures routières ou des opérateurs de télécommunications, lesquels fourniront des informations supplémentaires pour en améliorer la sécurité (véhicules à l'approche d'une intersection, état de la chaussée, conditions météorologiques, etc.). À terme, le véhicule autonome sera donc connecté.

La transition vers le véhicule autonome ne sera pas im-

médiate. Selon une classification élaborée par la SAE (*Society of Automotive Engineers*), celle-ci passera par des étapes successives d'automatisation entre le niveau 0 (aucune automatisation) et le niveau 5 (automatisation complète) (voir la Figure 1 de la page suivante).

Actuellement, les automobiles les plus avancées relèvent du niveau 2, voire du niveau 3 dans certains cas d'usage (conduite sur autoroute ou dans les bouchons, en zone urbaine). Les constructeurs espèrent élargir ces cas d'usage d'ici à 2020, puis passer au niveau 4 vers 2025. Le niveau 5 ne serait atteint qu'après 2030.

Les technologies nécessaires au fonctionnement du véhicule automatisé

Les ressources propres du véhicule : capteurs et calculateurs

L'architecture du véhicule automatisé intègre deux types de composant (voir la Figure 2 de la page suivante) :

- des capteurs lui permettant de percevoir son environne-

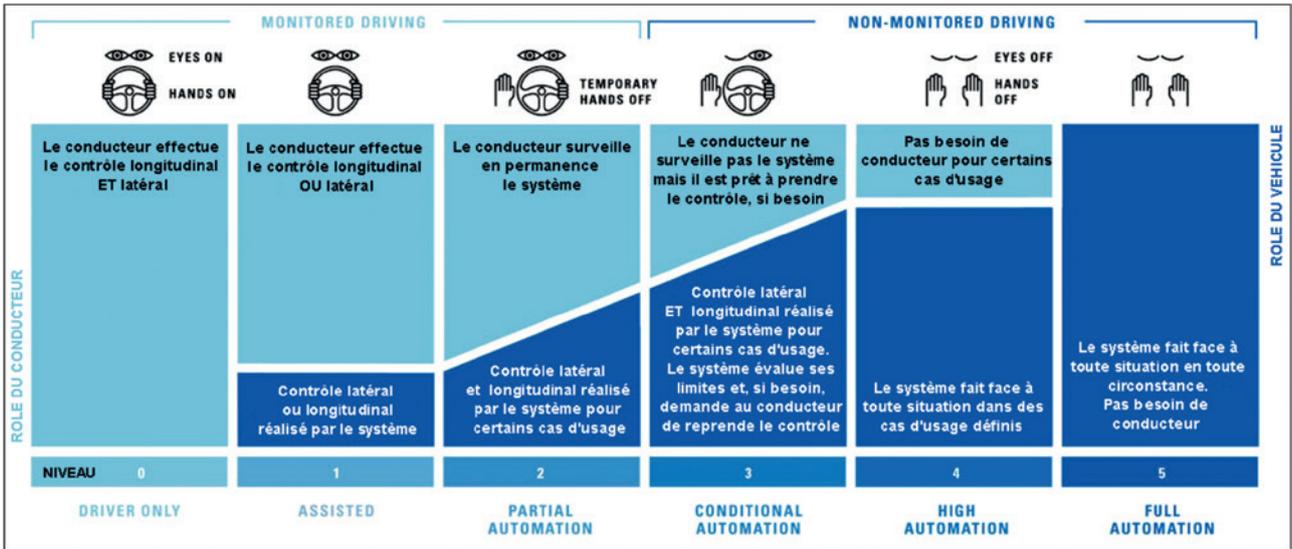


Figure 1 : Les cinq niveaux d'autonomie d'un véhicule selon la Society of Automotive Engineers.
 Source : Illustration adaptée d'après ZF TRW (Mike Lemanski, www.oldjoe.co.uk/article/hands-wheel).

- un ensemble de calculateurs embarqués permettant au véhicule de comprendre son environnement et de prendre des décisions de conduite.

L'ensemble des données transmises par les capteurs est transmis au calculateur de fusion, dont la fonction est

(1) Le lidar (Light detection and ranging), ou télémètre laser, fonctionne selon les mêmes principes que le radar. Mais au lieu d'une onde radio, il utilise plusieurs rayons laser, qui balayent l'environnement. Le lidar est un équipement très utile, mais il reste relativement onéreux et des conditions météo difficiles (brouillard, forte pluie) réduisent sa portée.

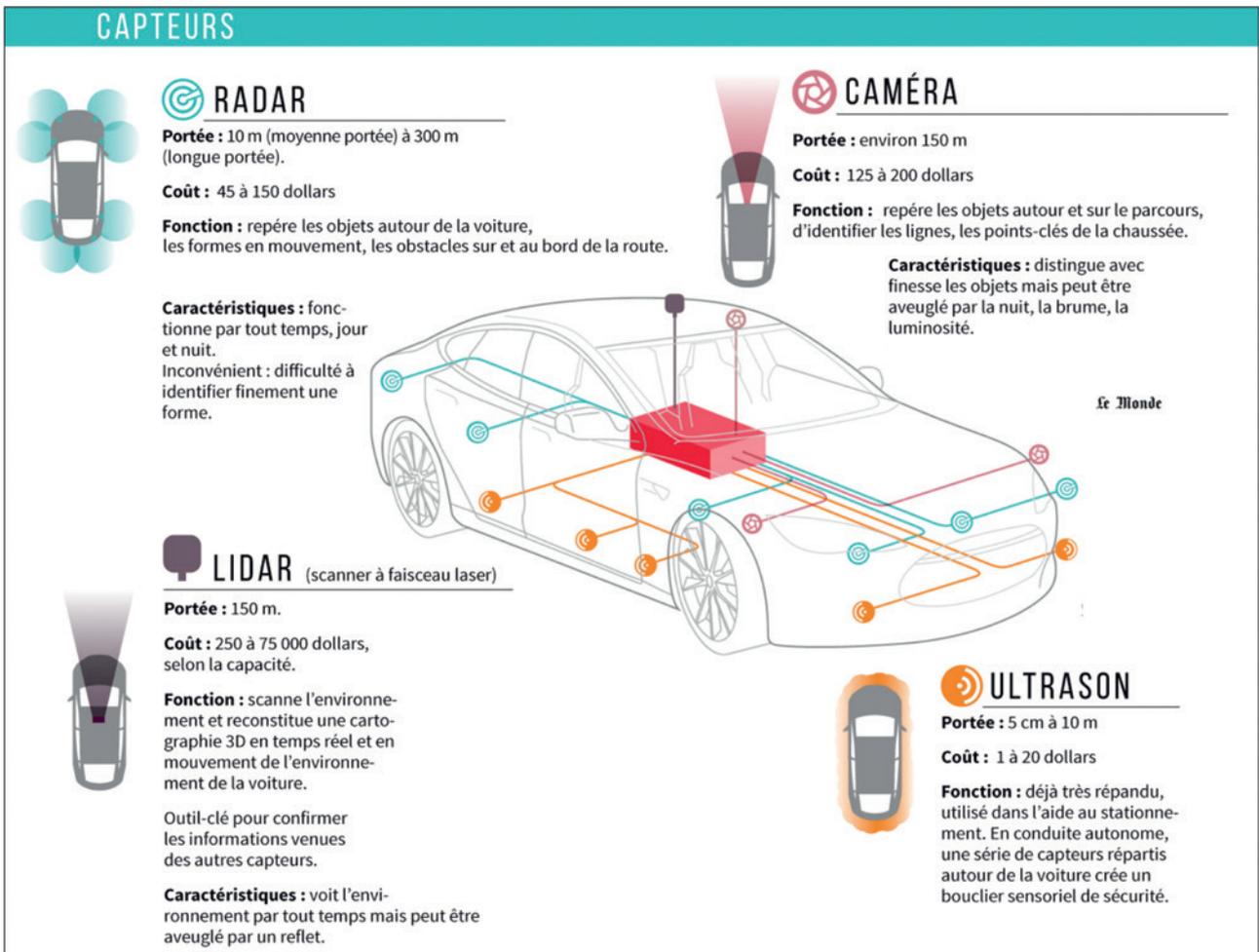


Figure 2 : Les capteurs du véhicule autonome.
 Source : Infographie Le Monde.

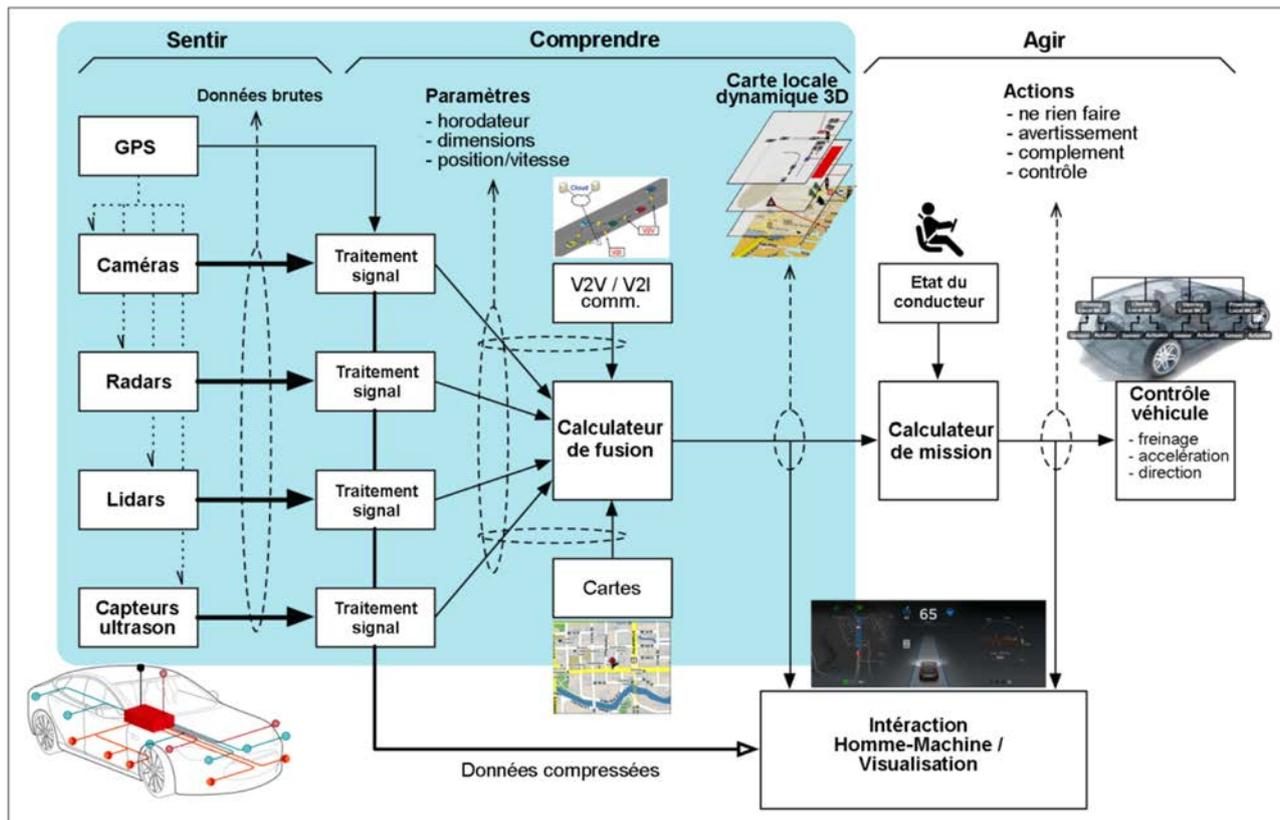


Figure 3 : L'architecture du véhicule automatisé.

Source : Schéma adapté d'après Embedded Vision Alliance

(www.embedded-vision.com/industry-analysis/technical-articles/scalable-electronics-driving-autonomous-vehicle-technologies).

d'interpréter en temps réel l'environnement du véhicule en faisant appel à des algorithmes complexes (fusion multi-sensorielle, intelligence artificielle, logiciels temps réel). Le calculateur de fusion doit également disposer d'informations cartographiques et être en mesure de recevoir des données *via* les systèmes de communication des autres véhicules, des infrastructures et de réseaux extérieurs, ce qui demande des circuits de communication et des logiciels associés. C'est à partir des informations fusionnées provenant des capteurs, des cartes, des autres véhicules et des infrastructures routières que le calculateur de fusion construit une carte locale dynamique en 3D, dans laquelle il insère le véhicule qu'il équipe (voir la Figure 3 ci-dessus).

Ces informations sont ensuite transmises au calculateur de mission, qui planifie la trajectoire du véhicule, prend les décisions concernant la conduite (freinage, accélération, virage) et envoie les commandes nécessaires aux actionneurs concernés (système de freinage, direction).

Enfin, *via* l'interface homme-machine (tableau de bord), le calculateur de mission informe le conducteur de ses actions et peut, si nécessaire, émettre des messages d'avertissement.

Le fonctionnement d'un véhicule connecté et automatisé demande la mise au point de nombreuses briques logicielles. Il faut en effet collecter un grand nombre de données, puis filtrer l'information brute recueillie par les capteurs, avant de réaliser le traitement de ces données

au niveau du calculateur de fusion. L'interprétation des scènes de conduite fait appel à des algorithmes d'intelligence artificielle.

Le véhicule connecté et autonome se développera graduellement au travers d'améliorations successives, en passant par les niveaux d'automatisation exposés auparavant. Pour ce faire, la multiplication d'expérimentations, à grande échelle et sur des territoires divers, constitue une phase cruciale pour les industriels, qui doivent tester le plus grand nombre possible de cas d'usage. La majorité de ces expérimentations a été réalisée aux États-Unis grâce à une législation favorable.

Les moyens de communication du véhicule connecté : ITS-G5 et réseaux cellulaires

Deux protocoles de communication entre véhicules (V2V) ou entre ceux-ci et les infrastructures routières⁽²⁾ (V2I) sont aujourd'hui envisagés :

- le protocole ITS-G5⁽³⁾, soutenu par les constructeurs automobiles, dérivé du standard Wifi. Ses coûts de déploiement sont limités en comparaison des investissements que nécessiterait l'installation de réseaux téléphoniques mobiles spécifiques ;

(2) Feux de signalisation, centres de diffusion d'informations des opérateurs d'infrastructures, etc.

(3) Intelligent Transport System : standard développé en particulier par l'organisme de normalisation européen ETSI.

- le LTE V2X⁽⁴⁾, qui utilise les réseaux de téléphonie mobile de quatrième génération.

La technologie cellulaire de cinquième génération (5G) soutenue par les opérateurs de télécommunications est aujourd'hui en phase d'expérimentation. Grâce aux délais de transmission réduits et aux débits importants qu'elle autorise, elle devrait permettre d'améliorer la sécurité routière en donnant accès aux systèmes d'information nécessaires à la mise en œuvre de services performants et fiables⁽⁵⁾.

En France, des expérimentations s'appuyant sur la norme ITS-G5 sont en cours (le projet SCOP@F visant à déployer 3 000 véhicules répartis sur cinq zones géographiques) et des rapprochements entre opérateurs, constructeurs et équipementiers permettent de tester la technologie 5G.

Au niveau international, les États-Unis soutiennent une technologie de communication proche de la norme ITS-G5. À l'inverse, le Japon, l'Allemagne, la Corée du Sud et la Chine se sont engagés dans le développement des réseaux de cinquième génération dans l'optique de leur utilisation pour la conduite automatisée.

Le déploiement des réseaux 5G nécessite que les travaux de normalisation soient suffisamment avancés et que le modèle économique de ces réseaux soit stabilisé. Cela n'est pas encore le cas aujourd'hui. Les incertitudes liées à la date de mise en marché des réseaux 5G et à la rapidité à laquelle ils seront déployés nécessitent de préconiser, à ce stade, que les systèmes de communication équipant les véhicules soient multicanaux (ITS-G5 et cellulaires).

La couverture de l'ensemble des routes (un million de kilomètres, en France) par des réseaux de technologie ITS-G5 ou par des réseaux cellulaires de quatrième génération et, à plus forte raison, de cinquième génération, ne sera probablement pas réalisée avant de nombreuses années.

Il faut envisager que faute d'une couverture géographique suffisante et malgré la cartographie embarquée dont il disposera, le véhicule à délégation de conduite ne pourra compter, sur certaines parties d'un territoire, que sur les seuls capteurs dont il est doté pour prendre les décisions de conduite appropriées. Il lui faudra lire en particulier les signalisations routières et le marquage horizontal qui équipent les voies de circulation. En France, cette question est suivie par les autorités en charge des transports terrestres.

Un marché potentiel très important, mais dont le rythme de développement reste incertain

Les études réalisées par les cabinets de conseil envisagent plusieurs hypothèses de développement des véhicules automatisés :

- un scénario de diffusion lente, jusqu'à leur généralisation à l'horizon 2040-2050, basé sur le constat que le taux de remplacement annuel des véhicules est de l'ordre de 2 millions par an. Il faudrait entre 20 et 30 ans pour que le parc soit composé exclusivement de voitures connectées et autonomes ;

- un scénario de diffusion rapide, à partir de 2020, qui pourrait s'appuyer sur le développement de véhicules, dont le niveau d'autonomie (au minimum 3) leur permette de circuler de façon fluide ou très ralentie (embouteillages) sur des voies adaptées, et sur l'apparition de flottes de robot-taxis privées et le développement de navettes publiques automatisées, comme celles expérimentées par deux entreprises françaises, Navya et Easy-Mile.

Prévoir le taux d'adoption de ces différents usages et leurs incidences sur les producteurs est par nature un exercice délicat. En effet, au-delà des évolutions et des ruptures technologiques à venir, il s'agit également de savoir si les consommateurs auront une appétence particulière pour ces nouveaux usages. C'est d'ailleurs ce que France Stratégie souligne en conclusion d'une note récente⁽⁶⁾ : « La mutation annoncée sera avant tout sociale : elle n'aura lieu que si les utilisateurs s'emparent de cette innovation ». Or, la plupart des enquêtes d'opinion récentes, en France comme à l'étranger, montrent une réserve des conducteurs à l'égard de la conduite totalement automatisée.

Un bouleversement possible de la chaîne de la valeur et de sa répartition au sein de la filière automobile

Le périmètre du véhicule connecté et automatisé ne se limite pas aux acteurs traditionnels de la filière automobile, il se caractérise aussi par l'apparition de nouveaux intervenants intéressés par la « digitalisation » de la voiture. Il s'agit :

- des entreprises du numérique, GAFAM⁽⁷⁾ ou *start-ups* proposant des services d'info-divertissement (musique en ligne, informations sur le trafic et l'état de la route, etc.) ou de nouveaux services, qui pourraient participer au fonctionnement même du véhicule connecté et automatisé (logiciels autopilotes, cartographie dynamique) ;
- des opérateurs de télécommunications, qui pourraient jouer un rôle important, dans l'hypothèse où la connexion des véhicules serait assurée grâce aux réseaux cellulaires ;
- des gestionnaires d'infrastructures routières, dès lors que les véhicules circuleront sur des routes elles-mêmes connectées (V2I).

(4) LTE : Long Term Evolution ; V2X désigne les communications de véhicule à véhicule ou de véhicule à infrastructure.

(5) Systèmes de guidage perfectionnés, cartographie dynamique, diffusion d'informations relatives à des zones dangereuses (véhicules à l'arrêt, encombrements, travaux, conditions météorologiques, véhicules d'intervention d'urgence en approche, freinage d'urgence...) ou à la signalisation routière (limitation de vitesse, onde verte...).

(6) France Stratégie, « La voiture sans chauffeur, bientôt une réalité », note d'analyse, avril 2016.

(7) Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft.

Les grandes entreprises du numérique disposent d'une capacité financière et de moyens d'investissement massifs. La part de valeur ajoutée aujourd'hui détenue par les constructeurs est de fait menacée :

- en amont, par les équipementiers, pourvoyeurs de capteurs et de matériels technologiques nécessaires à la conduite autonome et à la connexion du véhicule avec l'extérieur. Ces équipements vont ainsi prendre une place de plus en plus importante dans les coûts de production ;
- en aval, par les offreurs de services numériques, car le véhicule autonome et connecté va devenir aussi une « plateforme de services » – il ne sera plus seulement un moyen de déplacement.

Le risque pour les constructeurs automobiles est de perdre une partie de ce qui fait la valeur d'une voiture : dans l'univers de la voiture connectée et autonome, le centre de gravité pourrait ne plus être la marque, le moteur et le *design* du véhicule, mais le logiciel pilote de la voiture et les services qui y sont associés.

La maîtrise des données du véhicule automatisé et connecté : un enjeu majeur

Les données générées par le véhicule connecté et autonome joueront un rôle déterminant dans le modèle économique de ce type de véhicule. Il existe toutefois un conflit d'intérêts important entre les constructeurs qui souhaitent garder la main sur les données et les autres acteurs qui veulent y avoir accès pour proposer et monnayer de nouveaux services.

Les données du véhicule connecté sont par nature des données personnelles qui entrent, par conséquent, dans le champ du règlement général européen sur la protection des données (RGPD⁽⁸⁾), lequel entrera en vigueur le 25 mai 2018. Ce texte impose en particulier d'obtenir le consentement explicite et éclairé de toute personne fournissant des données personnelles.

La stratégie des GAFAM pourrait être favorisée par la position de la Commission européenne, qui défend le principe de la libre circulation des données⁽⁹⁾. Le RGPD prévoit en effet, en son article 20, un droit à la portabilité des données personnelles : « Les personnes concernées ont le droit de recevoir les données à caractère personnel les concernant qu'elles ont fournies à un responsable du traitement, dans un format structuré, couramment utilisé et lisible par machine, et ont le droit de transmettre ces données à un autre responsable du traitement, sans que

le responsable du traitement auquel les données à caractère personnel ont été communiquées y fasse obstacle ».

De leur côté, les constructeurs souhaitent restreindre le périmètre des données ouvrant droit à la portabilité en mentionnant le fait que l'accès aux données pourrait créer des failles de sécurité portant atteinte au fonctionnement interne des calculateurs du véhicule et faciliter ainsi la mise au point et la réalisation de cyberattaques. Ils proposent ainsi que l'application du RGPD soit réalisée en prenant en compte les spécificités de l'écosystème automobile et en instaurant un équilibre entre les intérêts de toutes les parties prenantes. Ils défendent ainsi le concept de « véhicule étendu », qui leur garantirait le contrôle de l'accès aux données.

Ce modèle n'autorise pas la collecte des données par des moyens embarqués. Le véhicule transmet ses données vers un serveur sécurisé géré par le constructeur. Une interface standardisée permet de les rendre accessibles aux tiers autorisés. Si ce concept est adopté en l'état, les tiers ne pourront avoir accès aux données que *via* le serveur du constructeur. Les conditions d'accès à ces différents serveurs seraient différenciées en fonction de la finalité de l'usage des données.

Cette proposition des constructeurs, qui vise à défendre leurs intérêts vis-à-vis de l'émergence des grandes entreprises du numérique dans l'écosystème automobile, pourrait restreindre les projets de développement des autres acteurs de cet écosystème. Ainsi, le secteur des assurances souhaite avoir accès aux données des véhicules afin, notamment, de proposer de nouveaux services aux assurés (« *pay-as-you-drive* » et « *pay how you drive* »). La filière aval (réparateurs, garagistes, concessionnaires), qui souhaite avoir accès aux données pour participer au développement de services de maintenance prédictive, craint que la négociation d'accords B2B, tels que les souhaitent les constructeurs, n'aboutisse à des coûts de transaction élevés.

Il est clair que la compétition pour s'adjuger la maîtrise des données du véhicule connecté est un enjeu majeur pour la filière automobile, qui assure une part déterminante des emplois industriels en Europe.

(8) Règlement (UE) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données, abrogeant la directive 95/46/CE.

(9) Communication « Créer une économie européenne fondée sur les données » du 10 janvier 2017.

L'électrification des véhicules utilitaires légers : tendances et interrogations

Par Michel SAVY

Professeur émérite à l'École des Ponts et à l'École d'urbanisme de Paris

et Pierre CAMILLERI

Doctorant à l'IFSTTAR (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux)

Les véhicules utilitaires légers (VUL) constituent une part importante et pourtant méconnue du système de mobilité. Leur électrification est un élément clé de la diminution des émissions de gaz à effet de serre (GES) et des polluants locaux des transports routiers, mais son déploiement peut s'effectuer selon plusieurs scénarios qu'explore cet article.

La place des véhicules utilitaires légers dans le système de mobilité

Les VUL, couramment désignés comme des « camionnettes », sont des véhicules utilitaires d'un poids total en charge limité à 3,5 t que l'on peut conduire avec un permis B (comme pour les voitures particulières). Leur gamme va de simples automobiles modifiées à de petits camions. Le modèle le plus courant est un fourgon à motorisation diesel. Il y a 6 millions de VUL en France (pour 500 000 poids lourds [PL] et 30 millions de véhicules particuliers [VP]), leurs propriétaires sont autant des ménages que des entreprises et des artisans.

Les entreprises de transport routier *stricto sensu* ne mobilisent que 7 % du parc des VUL. Un VUL est polyvalent, il transporte des personnes et des choses et sert de boîte à outils, de stock, d'atelier, de vestiaire et de cantine, de bureau : c'est un outil essentiel de mobilité dans le travail, tant pour un professionnel que pour un bricoleur ou un jardinier amateur.

Malgré leur nombre, le rôle des VUL est largement méconnu. Le transport est la source de 29 % des émissions de GES en France, dont 95 % sont dus à la route. Dans les émissions dues aux transports routiers, les VP entrent pour 56 %, les PL pour 22 % et les VUL pour 20 %. L'électrification des VUL est donc un enjeu substantiel pour la réduction des émissions de GES dues aux transports, et ce d'autant plus qu'ils se prêtent mieux (techniquement et économiquement) à cette transformation que la plupart des autres véhicules.

La technologie électrique a connu un réel essor avec l'apparition de véhicules électriques (VE) de série dans

l'offre des grands constructeurs automobiles. Le marché est toutefois encore émergent et son avenir incertain. En France, 1,2 % du marché des VP et 1,4 % du marché des VUL étaient électriques en 2017, mais l'exemple de la Norvège (avec 20 % de VE parmi les VP vendus en 2017) montre qu'avec de fortes incitations le marché de masse est à notre portée (EAFO, 2017). Si la tendance à l'électrification est engagée, les incertitudes techniques, économiques, sociales et politiques sont encore très fortes, et plusieurs scénarios sont envisageables à ce jour.

L'équation technicoéconomique de l'électrification

La compétitivité économique des véhicules électriques repose sur les subventions publiques

Dans l'état actuel des techniques et du développement du marché, un VE coûte plus cher qu'un véhicule thermique en termes de TCO (*total cost of ownership*, le coût total de possession incluant l'ensemble des coûts ainsi que la valeur résiduelle en fin de la période considérée). Le développement des ventes passe à ce jour par des subventions publiques (6 000 € par véhicule, de la part de l'État, auxquels peuvent s'ajouter des subventions locales, comme c'est le cas à Paris).

Les subventions publiques se justifient par la diminution des coûts externes, par définition non pris en compte par les mécanismes de marché, pour limiter les émissions de GES mais aussi, et ce dernier objectif est désormais prédominant dans les environnements urbains, la pollution locale par les gaz toxiques et les microparticules. La subvention recouvre aussi une dimension de politique industrielle, en permettant le lancement de la production à grande échelle.

La compétitivité économique des VE dépend en outre de l'usage que l'on en fait. Ils ont un coût fixe plus élevé (du fait de leur batterie), mais un coût variable plus faible que leurs homologues diesel. Les petits rouleurs n'y trouvent donc pas leur compte. Les rouleurs intensifs se heurtent, quant à eux, à la barrière de l'autonomie, qui est de l'ordre de 150 kilomètres pour les modèles actuels. Reste une fenêtre de compétitivité pour des rouleurs parcourant plus de 15 000 kilomètres par an, selon des trajets quotidiens réguliers. Les véhicules des transporteurs de courrier et de petits colis sont à cet égard optimaux, puisqu'ils parcourent, six jours sur sept, de 60 à 80 km par jour dans un périmètre restreint et disposent d'un parking affecté qui se prête à l'installation de bornes de recharge. Outils essentiels de la logistique urbaine, les VUL sont en pleine expansion. De manière générale, l'électrification des transports se jouera d'abord dans les villes.

L'équation économique explique également l'absence de marché dans le segment des véhicules de plus de 3,5 t de poids total en charge, nécessitant de lourdes et onéreuses batteries.

Le véhicule électrique s'insère dans un système complexe

Le passage par le véhicule à batterie n'est qu'une des trajectoires vers des véhicules plus propres, à côté de la pile à combustible (à hydrogène) et de diverses formules d'hybridation (thermique et électrique). Pour les véhicules lourds et/ou effectuant de longs trajets, la préférence va aujourd'hui au gaz naturel et aux biocarburants. Aux yeux des constructeurs automobiles et des producteurs d'énergie, les technologies d'avenir seront plurielles et elles ne sont pas définitivement établies, chacun cherche encore son positionnement.

De leur côté, les professionnels utilisateurs potentiels de véhicules électriques exercent dans des marchés très concurrentiels, avec de faibles marges, ils sont de ce fait réticents à adopter des solutions non encore validées. La location peut leur faciliter l'expérimentation des VE, sans prendre le risque d'un achat. Se posera également la question de la pratique courante qu'est aujourd'hui la revente par des professionnels à des particuliers de VUL d'occasion.

Une condition nécessaire à la diffusion du VE est la disponibilité d'un réseau suffisant d'alimentation en électricité. La durée de recharge des batteries est fonction de la puissance de recharge. La recharge « lente », qui peut être installée dans un garage pour un usage nocturne, mobilise une puissance équivalente à celle d'un chauffe-eau ; une recharge « accélérée » celle de 20 machines à laver ; une recharge rapide celle de 10 logements et, enfin, une recharge ultrarapide celle de 20 logements. Le prix d'installation d'une borne varie de 800 à 50 000 euros !

La puissance de production électrique installée en France est globalement suffisante pour satisfaire une demande prévisionnelle raisonnable du parc routier électrifié. Mais une capacité moyenne n'est pas suffisante : l'adéquation offre/demande d'électricité doit s'opérer de manière immédiate et variable, dans l'espace et dans le temps. En ce

qui concerne les automobiles électriques, la question de leur recharge lors des pointes des jours de vacances n'est pas encore résolue.

Sous l'angle environnemental, la réduction des GES suppose que l'électricité consommée soit d'origine non thermique, ce qui est le cas en France (mais ce n'est le cas ni en Allemagne ni à ce jour en Chine, un pays qui entend pourtant être le leader mondial du VE). Les batteries (à bord d'un véhicule branché ou déposées en position statique lorsque leurs performances déclinent) entrent en outre dans le fonctionnement d'un « *smart grid* » permettant le stockage de l'électricité produite par des énergies renouvelables intermittentes et la gestion des pointes de consommation (évitant ainsi le recours aux énergies thermiques d'appoint).

Face à l'incertitude de ces scénarios, les producteurs et les distributeurs d'électricité observent l'évolution des projets et des pratiques des autres acteurs du système. Il faut modifier le réseau avec pragmatisme pour répondre aux besoins au fur et à mesure de leur expression, en évitant les investissements inutiles.

La technologie évolue rapidement

Les termes de la comparaison entre les diverses solutions évoluent rapidement, notamment du fait des progrès réalisés dans le domaine des batteries, dont le coût (à performance égale) diminue de près de 8 % chaque année (NYQVIST et NILSSON, 2015). Entre 2011 et 2017, l'évolution des batteries a permis d'en doubler l'autonomie, à poids et prix inchangés. Le champ des usages éligibles à l'électricité s'élargit. D'autres progrès adviendront, éventuellement sur la base de ruptures technologiques (batteries *solid state*, par exemple).

Des effets d'échelle sont également à attendre. Les VUL électriques actuels sont conçus sur la base de modèles thermiques existants. Les prochains seront conçus de manière spécifique. Leurs coûts de maintenance seront en outre vraisemblablement inférieurs à ceux d'un véhicule thermique.

Scénarios d'électrification du parc des VUL

Si l'on peut affirmer désormais que l'électrification d'une part substantielle du parc de VUL aura lieu (alors qu'elle a longtemps été écartée, considérée comme utopique), une incertitude demeure quant à son mode et à son rythme de diffusion, qu'un modèle en trois étapes vise à éclairer.

La première étape consiste en une modélisation statistique des distances quotidiennes parcourues par les VUL, calée sur la base de données du Service de la donnée et des études statistiques (SDES) du ministère en charge des Transports. Accompagnée d'hypothèses sur les évolutions technologiques et sur les prix du marché (prix de l'électricité, du diesel, des véhicules, etc.), la deuxième étape est celle de la construction d'un modèle de décision permettant d'identifier, pour chaque usage, si le VE est éligible ou non. Les critères sont la pertinence économique du VE (comparaison entre TCO) et l'adéquation de l'au-

tonomie aux distances parcourues. Dans une troisième étape, des potentiels de marché sont calculés à divers horizons temporels.

La question des subventions apparaît comme critique. Dans les deux scénarios envisagés, on considère une limite basse des subventions (par exemple, avec uniquement des subventions nationales) et une limite haute (avec l'ajout de subventions locales), avec des plafonds imposés aux subventions totales allouées, fixés respectivement à 50 millions d'euros (M€) et à 60 M€ par an.

Pour prendre en compte la diffusion de l'innovation, trois générations successives de VUL sont étudiées, avec une batterie de 22 kWh (disponible en 2011), de 33 kWh (correspondant aux performances actuelles) et de 40 kWh (disponible en 2022). Les potentiels sont calculés à la fin de chaque période et la subvention est déterminée dans les limites du plafond.

Quant aux deux scénarios étudiés, le scénario de référence se fonde sur un gain de 8 % par an sur le coût des batteries, un gain d'environ 500 € sur le prix du VE hors batteries et un surcoût de 500 € sur les véhicules thermiques équivalents (du fait de nouveaux dispositifs de dépollution). Un scénario plus optimiste porte à 1 500 € les économies réalisées grâce aux VE et à 1 500 € le surcoût du véhicule thermique. Cette différence de traitement peut prendre d'autres formes (péages urbains différenciés, subvention locale ou nationale supplémentaire, économies sur l'infrastructure de recharge, etc.).

Dans le scénario de référence, les parts de marché croissent lentement pour atteindre quelques pourcents dans 10 ans. En effet, le plafonnement du montant total des subventions en diminue le montant par véhicule, dès

lors que les parts de marché augmentent. Selon le scénario le plus optimiste, on n'observe pas une croissance exponentielle, mais un rythme nettement plus rapide sur le chemin vers un marché de masse.

Une analyse de sensibilité fait ressortir le prix du gazole (lequel est volatile et est difficile à prédire) comme le paramètre le plus influent après les subventions (avec l'hypothèse d'un prix de 1,158 €/l hors taxes en 2022). Le prix de l'électricité est en comparaison beaucoup moins critique.

Ce modèle est prudent, à plusieurs égards. Il suppose une offre de batteries d'une taille unique, alors qu'une offre plus diversifiée accroîtrait le potentiel du marché. La subvention est une dépense plafonnée, alors qu'un système de bonus-malus autoentretenu serait efficace tant que les VE resteraient minoritaires. Des marges de manœuvre existent donc pour accélérer la transition vers la motorisation électrique des VUL.

L'environnement politique et réglementaire

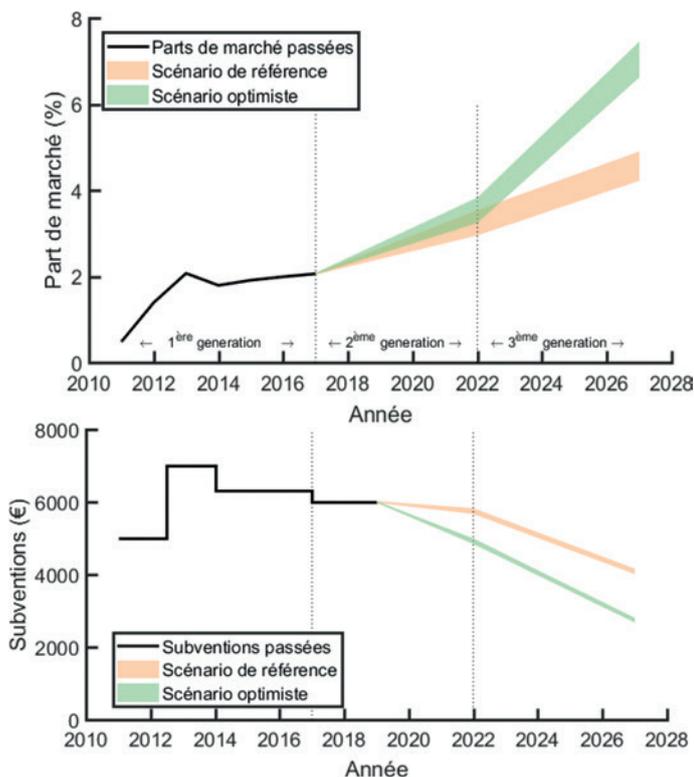
Dans nombre de pays, l'électrification des véhicules routiers est encouragée par les pouvoirs publics pour pallier certains effets externes négatifs du transport. C'est donc un phénomène éminemment politique, qui s'inscrit dans une stratégie plus large de transition énergétique. Les subventions peuvent porter sur les véhicules et sur les bornes de recharge. D'autres facteurs de compétence publique peuvent jouer un rôle complémentaire dans le soutien donné à l'électrification des VUL, ou à l'inverse en freiner le développement. Les VE – plus silencieux et moins polluants – peuvent avoir accès aux zones à circulation réduite (ZCR), à certaines zones piétonnes pour la livraison des commerces dans des créneaux horaires élargis, à une bande de circulation particulière sur les voies congestionnées. Ils peuvent également bénéficier de péages réduits ou encore se garer gratuitement sur les places de recharge des véhicules électriques, etc.

Les villes peuvent prendre en la matière des dispositions différentes, mais elles ne devraient pas entraver la normalisation et l'industrialisation des véhicules utilitaires légers électriques.

Les subventions servent à soutenir l'évolution des techniques et des attitudes à leur égard, et à préparer le déploiement d'un marché de masse des VE (par exemple, à travers le développement d'un réseau de bornes de recharge). En dépit d'une évolution rapide et d'un avenir incertain, industriels et utilisateurs ont besoin d'une visibilité réglementaire et fiscale cohérente à l'échelle européenne.

Perspectives

Le système de transport dans son ensemble est engagé dans une mutation multiforme. L'évolution passée des véhicules routiers a été essentiellement incrémentale. Aujourd'hui, tous leurs composants font l'objet de mutations radicales (« disruptives ») : au changement d'énergie s'ajoute la connexion à des systèmes de communication



Scénarios de l'électrification de VUL (type « fourgonnette ») en fonction de son subventionnement.

de plus en plus diversifiés, tandis que se diffuse déjà une aide à la conduite qui ira un jour jusqu'à l'autonomie complète du véhicule. Le VE promeut en outre des interactions sans précédent entre le secteur automobile et le secteur de l'électricité. C'est l'économie complète du transport, mais aussi les formes urbaines et les modes de vie eux-mêmes, qui participeront à ce mouvement, et ces mutations prendront nécessairement du temps. Le cas des VUL est un marqueur représentatif d'un avenir qui se construit dès à présent.

Références bibliographiques

CAMILLERI P. & DABLANC L. (2017), "An assessment of present and future competitiveness of electric commercial vans", *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, vol. 7, n°1, pp. 337-364.

CGDD (Commissariat général au développement durable) (2017), « Les comptes des transports en 2016 », rapport de la Commission des comptes des transports de la Nation, n°54.

EAFO – European Alternative Fuels Observatory (en ligne), "Vehicle statistics", consulté le 14 février 2018, depuis : <http://www.eafo.eu/>

NYQVIST B. & NILSSON M. (2015), "Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles", *Nature Climate Change* 5(4), pp. 329–332.

SAVY M. & TENFICHE S. (2016), "The unknown part of the transport system: the light duty vehicle", in BLANQUART Corinne, CLAUSEN Uwe & JACOB Bernard (ed.), *Towards Innovative Freight and Logistics*, ISTE Ltd. and Wiley.

SAVY M. & BOUTUEIL V. (2017), « Les VUL dans la ville : enjeux de connaissance, enjeux d'action », *Transports*, n°505.

SAVY M. (2017), *Le Transport de marchandises. Économie du fret, management logistique, politique des transports*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes.

La mobilité électrique et les bornes de recharge

Par Joseph BERETTA

Avere France (Association pour le développement de la mobilité électrique)

Le Plan climat lancé par le gouvernement français en juillet 2017 fixe à l'année 2040 la fin de la vente des véhicules essence et diesel. La priorité est d'accélérer la transformation des pratiques de mobilité en maîtrisant la demande, en favorisant la diversification des modes de déplacement, ainsi que les nouveaux usages (covoiturage, auto-partage), et en accélérant la conversion du parc vers les nouvelles motorisations.

Il est souvent mis en avant le fait que le développement de la mobilité électrique doit permettre d'atteindre les objectifs environnementaux fixés dans les cadres européen et national pour lutter contre le changement climatique, visant notamment à diminuer les émissions de CO₂.

La contribution des véhicules électriques (et les limites de celle-ci) à la lutte contre le changement climatique est intrinsèquement liée à la mise en œuvre des transitions énergétique et écologique. C'est pour cela qu'il faut prêter une attention toute particulière à l'intégration de la mobilité électrique dans les réseaux électriques du futur. Il en va de même en matière de réduction des nuisances pour l'environnement et de l'utilisation raisonnée de ressources naturelles.

Le développement des véhicules électriques va entraîner en 2030 une consommation de 12 TWh d'énergie électrique (soit plus que la production d'un réacteur nucléaire), et ce, pour 4,4 millions de véhicules électriques. Il est donc essentiel d'anticiper la problématique de la recharge bien en amont du développement des véhicules rechargeables tant électriques qu'hybrides. En outre, une des conditions essentielles du succès du véhicule électrique réside dans les systèmes qui seront développés pour créer une infrastructure de recharge des batteries. Enfin, l'arrivée du véhicule électrique, qui bouleverse bien entendu le panorama des constructeurs automobiles, sera un accélérateur des réflexions relatives à l'aménagement des territoires urbains.

Qu'entend-on par mobilité électrique ?

Tout d'abord, il est bon de définir ce que nous entendons par « mobilité électrique ». Elle se concrétise par l'utilisation de véhicules à motorisation électrique : véhicules hybrides rechargeables, aujourd'hui, et, demain, véhicules à pile à hydrogène. Performante, intelligente, silencieuse et zéro émission à l'usage, la mobilité électrique permet d'utiliser des véhicules adaptés aux besoins et aux enjeux énergétiques et économiques actuels et futurs. Une large gamme de modèles est aujourd'hui disponible et permet de déplacer efficacement les hommes comme les marchandises. À ces véhicules, il faut associer les systèmes

d'avitaillement en énergie : stations de recharge en hydrogène et bornes de recharge électrique. Le parc des bornes de recharge électrique est appelé « infrastructure de recharge ». Il prend plusieurs formes et propose plusieurs puissances électriques pour s'adapter aux différents usages des véhicules électriques.

Intérêts et avantages de la voiture électrique

La dernière étude ⁽¹⁾ FNH (Fondation pour la Nature et l'Homme) et ECF (*European Climate Fondation*) sur *Le véhicule électrique dans la transition écologique en France* a clairement démontré l'avantage écologique du véhicule électrique sur l'ensemble de son cycle de vie par rapport à un véhicule thermique, aujourd'hui comme à l'horizon 2030.

En effet, en 2016, sur l'ensemble de son cycle de vie – de sa production jusqu'à sa déconstruction –, une voiture électrique, que ce soit une citadine ou une berline, « a une contribution au changement climatique de 2 à 3 fois inférieure à celle de son équivalent thermique ». Cet avantage significatif est susceptible de se renforcer en 2030, dans le cas où les objectifs de la loi de Transition énergétique seront atteints. Ce bilan positif peut par ailleurs s'améliorer significativement dans un scénario visant

(1) « Le véhicule électrique dans la transition écologique en France », étude FNH ECF, décembre 2017.

100 % d'énergies renouvelables dans le mix électrique français en 2050. Le développement de l'électromobilité doit donc se faire de concert avec celui des énergies renouvelables.

Les freins au développement de la mobilité électrique

Prix élevé, autonomie encore limitée et insuffisance du nombre des bornes de recharge sont les trois points qui sont mis en avant dans toutes les enquêtes et études sur les véhicules électriques.

Les voitures alimentées par batterie sont non seulement économiques à l'usage, non polluantes (localement) et silencieuses, mais elles sont aussi agréables à conduire grâce au couple instantané délivré par leur moteur. Il n'en demeure pas moins que leur développement reste freiné par des idées fausses fortement ancrées dans notre subconscient collectif.

Le premier frein est donc budgétaire. Pourtant, lorsque l'on calcule le TCO (*Total Cost of Ownership*) incluant les avantages comme le stationnement gratuit, l'assurance et l'entretien, un véhicule électrique, en tenant compte des aides publiques à l'achat, est au même niveau que son équivalent essence, du point de vue du prix.

La deuxième contrainte est un faible rayon d'action. Mais si l'on détaille les performances des nouveaux modèles qui sont équipés de batteries de capacités allant de 40 à 60 kWh, leur autonomie réelle est alors de l'ordre de 300 à 450 kilomètres, une autonomie largement suffisante pour 70 à 80 % des utilisateurs.

Le troisième et dernier obstacle à l'essor de la voiture électrique est l'insuffisance du nombre des bornes de recharge et le temps nécessaire à la recharge de ses batteries, qui, en fonction de l'installation, peut prendre entre trente minutes et une dizaine d'heures. Et c'est bien ce dernier point qu'il reste à solutionner pour accélérer le développement de la mobilité électrique.

Les infrastructures de recharge

Comme nous venons de le voir, la rareté des infrastructures de recharge est jugée comme un frein important au développement de la mobilité électrique. L'arrivée des véhicules électriques et le développement des infrastructures de recharge soulèvent de nombreuses questions quant à leur financement et à la nécessité d'une normalisation des prises et des bornes de recharge électriques. Dans la mesure où les véhicules vont devenir de plus en plus communicants, il faut aussi réfléchir aux informations qui seront transmises par le véhicule ou la borne de recharge au réseau électrique lors de la recharge, ainsi qu'au choix du fournisseur chargé d'alimenter en électricité les bornes de recharge installées dans les parties communes privatives d'immeubles et dans l'espace public. Enfin, la recharge aura forcément un impact sur la demande de puissance et il est indispensable de l'anticiper pour éviter un renforcement trop important (et donc coûteux) des réseaux électriques, et ce, dans un contexte où le com-

portement des utilisateurs n'est pas encore connu. La recharge des véhicules électriques nécessite l'installation de bornes de recharge sur l'ensemble du territoire national, tant dans le domaine privé que dans l'espace public.

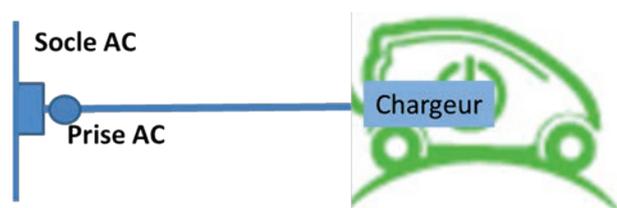
Les besoins, les types et la durée des recharges en électricité

Différents seuils de puissance de recharge existent, correspondant globalement aux puissances disponibles permettant d'alimenter des installations dimensionnées pour des intensités de 16, 32 et 63 ampères (en monophasé ou en triphasé).

Il est possible de raccorder les véhicules au réseau électrique de différentes manières, que l'on appelle les « modes de charge ». Ceux-ci définissent le type de raccordement, la sécurité et la communication véhicule/infrastructure.

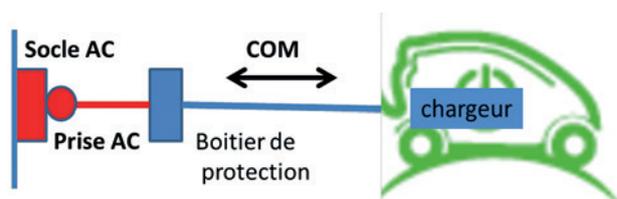
Nous exposons ci-après les 4 types de mode de charge.

Mode 1 – prise fixe non dédiée sans protection ni communication



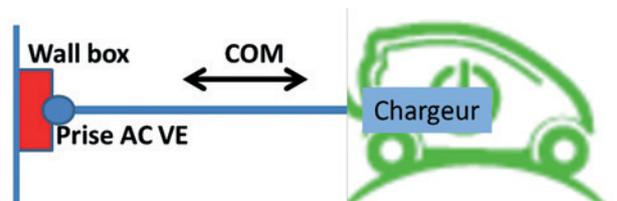
Branchement au réseau par le biais de socles de prise de courant normalisés en monophasé ou en triphasé alternatif, avec un conducteur relié à la terre. Le câble « mode 1 » utilisé dans ce cas n'a pas de fonction spécifique. La protection électrique est celle de l'installation du local concerné.

Mode 2 – prise non dédiée avec dispositif de protection incorporé au câble et communication



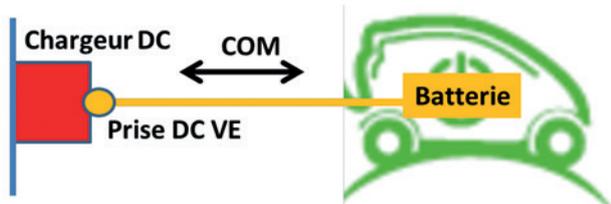
Branchement au réseau par le biais de socles de prise de courant normalisés en monophasé ou en triphasé alternatif, avec conducteurs d'alimentation et de protection reliés à la terre. Ce câble « mode 2 » incorpore du côté de l'infrastructure un coffret de protection (surcharges et fuites de courant vers la terre) et de contrôle. La fonction de contrôle est réalisée grâce à un conducteur assurant une communication avec le véhicule avant de déclencher la charge.

Mode 3 – prise fixe et circuit dédié + communication



Branchement direct au réseau avec une fiche spécifique via un coffret (fixé au mur) de protection (surcharges et fuites de courant vers la terre) et de contrôle dédié. La fonction de contrôle est réalisée par un conducteur assurant une communication avec le véhicule avant de déclencher la charge. Ce mode de charge peut être utilisé pour l'échange d'informations entre le véhicule et le réseau électrique.

Mode 4 – connexion courant continu, prise dédiée et communication



Branchement indirect au réseau par l'intermédiaire d'un chargeur externe. La fonction de contrôle est réalisée par un conducteur assurant une communication avec le véhicule avant de déclencher la charge. C'est le véhicule qui va piloter ce chargeur externe en fonction des contraintes de sa batterie. Le câble de recharge est installé de façon permanente sur la borne. Ce mode de charge peut être utilisé pour échanger des informations entre le véhicule et le réseau électrique et faire du V2G (*Vehicle to Grid*).

Le tableau ci-dessous présente les prises utilisées pour la recharge des véhicules électriques. L'Europe a choisi les prises de type 2 pour le courant alternatif (AC) et de type Combo 2 pour le courant continu (DC).

Le décret du 12 janvier 2017 sur les infrastructures de recharge

Ce décret correspondait à la transposition de la directive européenne AFI (*Alternative Fuel Infrastructures*) qui a dé-

fini les obligations en matière d'installations de recharge sur la voie publique (et ce, en fonction de la puissance de la borne).

La recharge normale, jusqu'à 22 kW

Alimenté en courant monophasé ou triphasé d'intensités de 16 à 32 A, ce type de recharge utilise les prises de type 2. L'aménageur doit prévoir : une prise de type 2 (ou de type 2S) pour la recharge en mode 3, une prise de type E (prise domestique usuelle en France) par station pour la recharge en mode 1 ou 2. Certaines situations échappent par ailleurs à l'obligation de s'équiper de prises de type 2. C'est notamment le cas des points de recharge non accessibles au public d'une puissance inférieure ou égale à 3,7 kW, lorsqu'ils sont installés dans un bâtiment d'habitation privée ou lorsque leur fonction principale n'est pas de permettre de recharger un véhicule électrique. Une simple prise de type E/F équipée d'un socle adéquat suffit alors.

La recharge rapide, plus de 22 kW

Alimenté en courant monophasé ou triphasé (alternatif ou continu), ces bornes de charge rapide doivent être en tri-standard (type 2, CHAdeMO, Combo 2) uniquement pour les points de recharge accessibles au public, et ce, jusqu'à la fin 2024. Toute station de recharge rapide doit être ainsi équipée d'un câble pour courant alternatif avec un connecteur type 2, d'un câble pour courant continu avec un connecteur du type CHAdeMO (configuration AA comme décrite dans la norme EN62196-3), d'un câble pour courant continu avec un connecteur du type Combo 2 (configuration FF comme décrite dans la norme EN62196-3).

Si, en raison de contraintes techniques, le tri-standard ne peut être installé directement sur la borne, il est possible

Courant	CAC		DC	AC	DC
	De 3 à 43 kVA		50KVA	43KW	50KVA
Prise véhicule	Type 1	Type 2	CHAdeMO	Combo 2	
Phase	Mono	Mono/tri	DC	Mono/tri	DC
Courant max	32A	63A	125A	63A	125A
tension	250V AC	500V AC	500V DC	500V AC	500V DC
Nombre connecteurs	5	7	10	7	5

Figure 1 : Les différents types de prise servant à la recharge des véhicules électriques.

de prévoir d'installer à proximité immédiate des bornes complémentaires exploitées par un opérateur-tiers d'infrastructure de recharge. Les stations de recharge rapide à usage strictement privé ne sont pas soumises à ces obligations.

La charge forte puissance

De 150 kW à 350 kW, la charge forte puissance utilise les prises type 2 et Combo 2. Les groupes automobiles BMW, Daimler, Ford et Volkswagen ont décidé d'unir leurs forces pour déployer un réseau de bornes de recharge rapide pour les véhicules électriques en Europe. L'objectif est de mettre à disposition des Européens quelque 400 stations de recharge à haute puissance d'ici à 2020. Baptisé Ionity, ce consortium va implémenter petit à petit un réseau de recharge ultrarapide doté de bornes d'une capacité atteignant les 350 kW.

La durée de charge

Les premières offres de véhicules se sont calées sur des chargeurs embarqués de 3,7 kW correspondant à la puissance théorique délivrée par une prise domestique de 16 Ampères. Toutefois, on voit apparaître des solutions à 7 kVA, qui sont capables d'utiliser de façon pertinente la puissance des bornes 22 kVA utilisant la connectique de type 2. Il convient de noter que la charge à 22 kVA permet une utilisation plus importante de l'infrastructure (plus de véhicules chargés sur une même durée améliorant l'équation économique de l'infrastructure). Le tableau de la Figure 2 présente la durée de charge en fonction de la puissance de recharge, pour une batterie de 22 kWh, soit 150 kilomètres d'autonomie.

État des lieux du développement des bornes de recharge et de leur financement

L'équipement du territoire en infrastructures de recharge publiques et privées fait partie des priorités pour

accompagner le développement des véhicules électriques. Il doit aussi tenir compte de l'importance d'y adjoindre une énergie d'origine renouvelable et un système de pilotage pour limiter les effets éventuels de la recharge sur le réseau.

La loi Grenelle II a donné une impulsion réglementaire au déploiement de l'infrastructure de recharge du véhicule électrique : elle impose, pour les nouvelles constructions (après le 1^{er} janvier 2012), l'équipement en prises de recharge d'une partie des emplacements dans les parkings de tous les ensembles d'habitation et de tous les bâtiments à usage tertiaire. Pour les bâtiments en copropriété, un droit à la prise a vu le jour, qui permet à tout propriétaire d'installer à ses frais un point de recharge dans son parking couvert.

Pour le financement des installations de charge dans le domaine privé (particuliers, entreprises, collectivités), le programme CEE (certificat d'économie d'énergie) ADVENIR, piloté par Avere-France, permet de financer jusqu'à 50 % du matériel et de l'installation (ce financement étant capé à 1 600 € par point de charge). Pour les particuliers, le crédit d'impôt transition énergétique (CITE) rembourse 30 % du matériel, sous contrainte de plafonds et peut être cumulé avec les aides ADVENIR.

En ce qui concerne la voie publique, le dispositif d'aide au déploiement d'infrastructures de recharge, lancé dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir (PIA), a permis de soutenir financièrement les villes, agglomérations, groupements d'agglomérations, syndicats intercommunaux, départements et régions qui se sont engagés dans le déploiement d'infrastructures de recharge pour véhicules électriques ou hybrides rechargeables. Dans le même temps, pour faciliter le déploiement d'un réseau d'infrastructures de recharge de véhicules électriques sur l'espace public, les opérateurs (l'État ou une société privée) qui implantent des bornes de recharge électrique dans le cadre d'un projet de dimension nationale bénéfi-

Durée de recharge Batterie 22kWh	Alimentation	Puissance	Tension	Intensité maxi	km/h citadine
12-14 heures	Monophasé	2kW	230 VAC	8 A	14
6-8 heures	Monophasé	3,7kW	230 VAC	16 A	25
2-3 heures	Triphasé	11kW	400 VAC	16 A	75
3-4 heures	Monophasé	7kW	230 VAC	32 A	48
1-2 heures	Triphasé	22kW	400 VAC	32 A	150
20-30 minutes	Triphasé	43kW	400 VAC	63 A	300
20-30 minutes	Continu	50kW	400 - 500 VDC	100 - 125 A	340

Figure 2 : Temps et puissances de recharge.

cient d'une exonération de la redevance d'occupation de l'espace public. Dans ce cadre, le consortium comprenant EDF et quatre constructeurs automobiles français et allemands (Renault, Nissan, BMW et Volkswagen) a déployé 200 bornes de recharge rapide le long des autoroutes et en périphérie de grandes villes. Ce consortium a bénéficié du soutien financier de la Commission européenne dans le cadre du programme Réseau transeuropéen de transport (RTE-T). La CNR, de son côté, a déployé 52 bornes de charge rapide dans la vallée du Rhône.

Au 31 décembre 2017, le nombre de points de charge accessibles au public est de l'ordre de 22 308. Ils sont répartis entre 8 320 stations pour desservir un parc de VE de l'ordre de 135 000 véhicules, ce qui correspond à un point de charge pour 6 véhicules.

Le coût du déploiement des bornes de recharge a été estimé à quelques milliers d'euros par borne de recharge normale (de 3 ou 6 kW) installée dans un parking public ou sur la voirie. Ils se montent à plus de 15 000 euros pour une borne de recharge rapide (43 kW). Dans les garages privés, le prix de l'équipement du point de charge pourrait s'élever à quelques centaines d'euros. Selon le ministère de l'Écologie, cela pourrait donc représenter un coût total atteignant les 10 milliards d'euros pour les infrastructures privées et publiques et 7 millions de véhicules.

Chargés d'acheminer l'énergie jusqu'aux points de recharge, les gestionnaires de réseaux publics de distribution d'électricité sont mis à contribution à hauteur de 10 à 20 % (de 2010 à 2025). En effet, les demandeurs de raccordement des points de recharge ne paient qu'une partie du coût des ouvrages de raccordement (branchement et extension) : ils ne paient pas les investissements nécessaires au renforcement du réseau. Ces coûts sont supportés *via* le tarif d'utilisation des réseaux publics d'électricité (TURPE), payé par l'ensemble des consommateurs d'électricité.

L'impact sur le réseau électrique : quels enjeux pour la recharge des véhicules électriques ?

La disponibilité et l'interopérabilité des infrastructures de recharge

La recharge des véhicules électriques et hybrides rechargeables induit deux questions majeures, à commencer par le nombre des infrastructures de recharge disponibles. Ce sujet a été identifié comme étant fondamental par les acteurs de la filière et l'État, qui l'a mis au cœur des plans pour la Nouvelle France Industrielle. L'objet du plan « Bornes électriques de recharge » est ainsi de pouvoir garantir une infrastructure disponible de manière équilibrée sur tout le territoire, à raison d'une borne tous les 60 kilomètres.

La compatibilité des bornes avec tous les véhicules et l'accessibilité du service à tous les utilisateurs de véhicules électriques fait également partie des priorités identifiées. Le décret du 12 janvier 2017 a défini les standards des prises applicables en France, ainsi que les obligations relatives à l'itinérance de la charge des véhicules électriques (pour les stations accessibles au public).

Stockage d'énergie et gestion du réseau

Autre sujet d'importance posé par la recharge : la question de la fourniture de l'énergie nécessaire et la gestion du réseau. Les charges et recharges de deux millions de VE représentent une demande annuelle de 6 TWh, soit moins de 2 % de la production d'électricité de la France. Par contre, si tous ces véhicules se branchaient en même temps, ils absorberaient une puissance unitaire de 3 à 7 kW, représentant au total 6 GW. Il y a donc, pour les producteurs d'électricité, un réel enjeu de fourniture au client, sans parler des difficultés de la gestion de la puissance du réseau lors des pics de demande. Reste à consolider les différents scénarios en tenant compte des habitudes de recharge des utilisateurs de véhicules électriques et de l'intelligence des bornes. Et ce d'autant plus que le véhicule électrique représente aussi une opportunité pour l'équilibrage de l'intermittence des énergies renouvelables. Les véhicules électriques représentent un potentiel de réserves d'énergie et de puissance, pouvant permettre de lisser la demande : si les consommateurs et les fournisseurs se mettent d'accord, le fournisseur pourra solliciter de manière instantanée cette réserve pendant les pics de consommation et la restituer lors des périodes de creux.

Le véhicule électrique, un acteur clé de la transition énergétique

Pour illustrer cela, revenons aux enseignements de l'étude FNH/ECF : le développement de l'électromobilité pourra accompagner l'essor des énergies renouvelables. En effet, « le véhicule électrique offre des moyens de flexibilité complémentaire au système électrique » qui permettront d'apporter des réponses à une partie des enjeux liés à l'intermittence de la production des énergies renouvelables (EnR). Associés à des solutions de recharge intelligentes, les véhicules sont en effet susceptibles de renvoyer de l'électricité au réseau pour le soulager lors des pics de consommation, maîtriser les surcharges ou encore absorber les surplus d'énergie (générés notamment par les renouvelables). Ainsi, en 2030, pour le scénario 1 (à 4,4 millions de VE), la consommation annuelle sera de l'ordre de 12 TWh, le pilotage de la charge permettra de décaler de l'ordre de 7,6 TWh, ce qui permettra de minimiser les demandes de puissance. À cela s'ajouteront 3 TWh de réinjection dans le réseau et 8 TWh d'utilisation des batteries en seconde vie. Comme on peut le voir, le développement de la mobilité électrique peut être maîtrisé par le pilotage de la charge, le V2G et la deuxième vie des batteries. Mais, – cerise sur le gâteau ! –, la puissance disponible *via* les VE branchés au réseau est de 46 GW entre 18 et 20 heures, ce qui permettra d'éviter de faire appel, pendant 4 heures, aux 21 GW d'énergie fossile nécessaires pour pallier l'intermittence des EnR (voir la Figure 3 de la page suivante).

De plus, cette fonction de stockage de l'électricité assurée par les accumulateurs dans leur deuxième vie est amenée à se développer pour créer des solutions de stockage tampon dans divers domaines : chez les particuliers ou dans les bureaux, où elle sera associée à de la production renouvelable, comme celle du photovoltaïque ; dans les bâtiments où elle permettra de gérer les pics de consom-

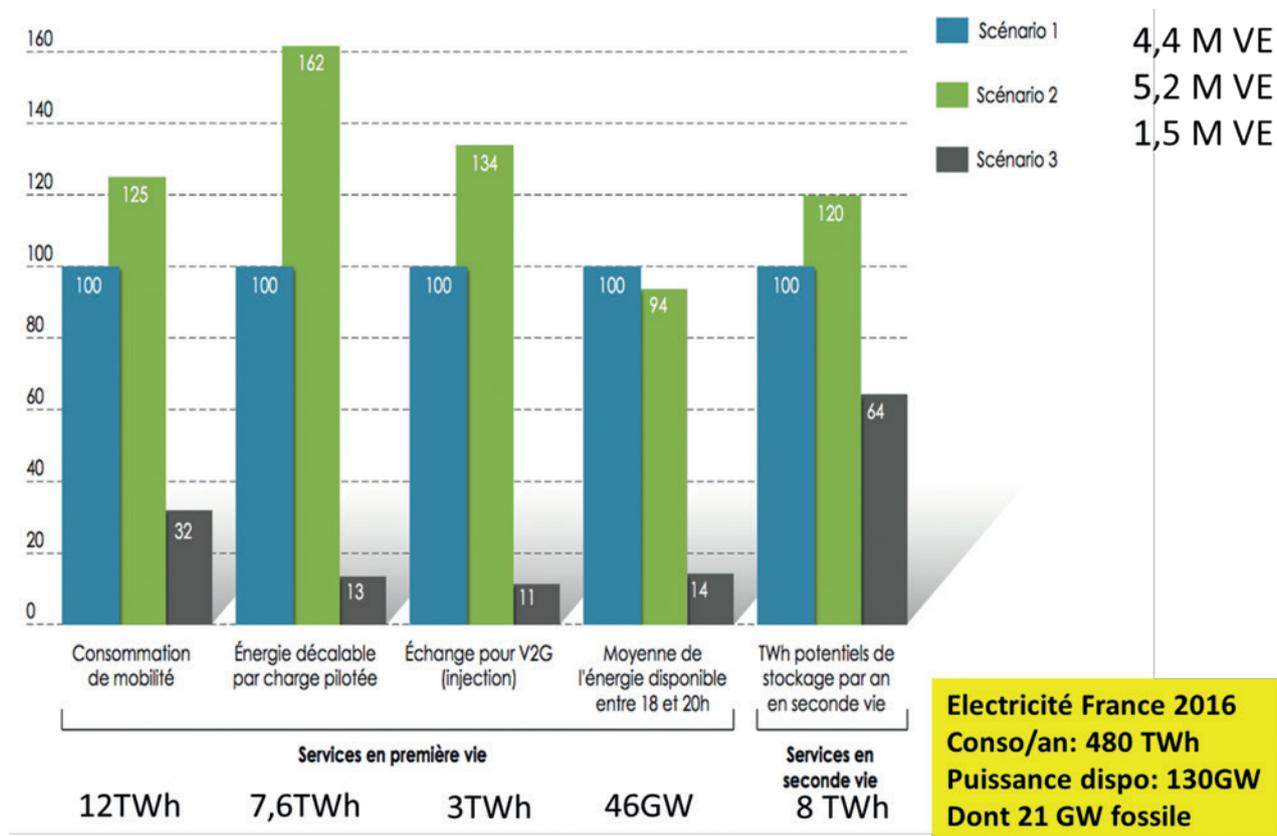


Figure 3 : Potentiel de services rendus au réseau d'électricité par les accumulateurs de véhicules électriques.

mation ; ou encore au pied des centrales de production photovoltaïque ou éolienne. Cette fonction de stockage permettra de fournir jusqu'à 37 TWh en 2040. Bien entendu, cela passera par le développement des énergies renouvelables.

Conclusion

Les voitures électriques sont des acteurs à part entière de la transition énergétique. Plus que de simples objets de mobilité plus propre, elles constituent des solutions de stockage de l'électricité « sur roulettes » qui peuvent apporter des réponses aux contraintes des énergies renouvelables. Dans une seconde vie, leurs batteries joueront un rôle essentiel d'accompagnement de la production d'électricité renouvelable.

Le rôle de l'électromobilité dans la lutte contre le réchauffement climatique est avéré. Il sera renforcé par des politiques actives de développement des énergies renouvelables en France. Ces véhicules apportent également des réponses aux enjeux sanitaires liés à la qualité de l'air. Toutes les raisons sont donc réunies pour en accélérer le développement.

Les batteries destinées aux véhicules hybrides et tout-électriques

Par Philippe AZAIS
Thierry PRIEM
et Florence LAMBERT
Université Grenoble Alpes, CEA LITEN

Le monde des batteries, en particulier Li-ion, est en pleine mutation en raison de la croissance des demandes liée à l'électrification des véhicules. De nombreux acteurs industriels se sont d'ores et déjà positionnés comme les leaders dans ce domaine, principalement en Asie (Chine, Japon, Corée). L'Europe, en retard jusqu'à présent pour la production de batteries, commence à mettre en place des programmes ambitieux pour contrecarrer les monopoles asiatiques. Néanmoins, de nombreux défis technologiques et économiques demeurent afin de pérenniser durablement la filière des batteries destinées aux véhicules électriques. Parmi ceux-ci, on peut citer la problématique de la seconde vie des batteries après leur usage pour la mobilité, ou les défis que pose le développement des solutions « post-Li-ion » afin d'augmenter les performances, de réduire les coûts de production et de s'affranchir de la dépendance vis-à-vis de matériaux critiques.

Le marché des batteries : un monde en forte évolution

Le marché des batteries servant au stockage de l'énergie électrique est en plein essor. Si la batterie au plomb pour l'automobile reste la technologie dominante en volume (80 % du marché exprimé en GWh), les batteries Li-ion représentent déjà près de 40 % du marché en valeur (soit un chiffre d'affaires de 25 milliards de dollars (Mds \$US) en 2016) et 18 % en volume ⁽¹⁾. Leur croissance (> 50 %, voir la Figure 1 de la page suivante) est tirée par le marché de l'électrification des véhicules, qui est en forte progression en Chine, en Europe et aux États-Unis, pour les véhicules hybrides rechargeables (PHEV ⁽²⁾) comme pour les véhicules « tout-électriques » (BEV ⁽³⁾). Cette évolution de la demande nécessite l'implication de nombreux métiers gravitant autour de la fabrication des accumulateurs, tels que ceux de l'électronique, de l'électrotechnique, de la thermique et de la mécanique. Tous ont pour but d'accroître la durée de vie et la densité d'énergie à l'échelle des systèmes, tout en garantissant une sécurité accrue.

La densité d'énergie maximale des accumulateurs Li-ion (265 Wh/kg et 730 Wh/L) est atteinte pour des formats cylindriques de taille modeste (< 20 Wh ⁽⁴⁾). Ces valeurs, dans ce format, stagnent depuis plusieurs années. Dans

le même temps, des progrès sont obtenus dans les autres formats (pochettes ou « *pouch cells* », « laminate » et prismatiques rigides) affichant des niveaux d'énergie plus élevés (> 200 Wh), qui tendent à rattraper les performances des accumulateurs cylindriques (voir la Figure 2 de la page suivante). À ce jour, les trois types de format, chacun avec ses avantages et ses inconvénients, sont utilisés et intégrés dans des packs destinés aux véhicules électriques, avec des performances approchantes ⁽⁵⁾.

Suivant leur fonction et leur utilisation, depuis le système de démarrage de moteurs thermiques à l'électrification complète, en passant par tous les niveaux d'hybridation, les batteries destinées à l'électrification des véhicules sont de différents types (voir le Tableau 1 de la page 33). Les besoins en densité d'énergie, en densité de puissance et en durée de vie étant différents, des chimies dédiées à chaque typologie sont développées.

(1) Christophe Pillot, *Avicenne, Batteries 2017*, Nice, France.

(2) PHEV : Plug-in Hybrid Electric Vehicle.

(3) BEV : Battery Electric Vehicle.

(4) Exemples : accumulateurs Samsung INR18650-35E, Panasonic 18650GA, LG 18650 M36, Sony US18659VC7.

(5) Exemples : pack Tesla Model S (171 Wh/L ; 132 Wh/kg), pack Renault Zoe 2 (171 Wh/L ; 134 Wh/kg).

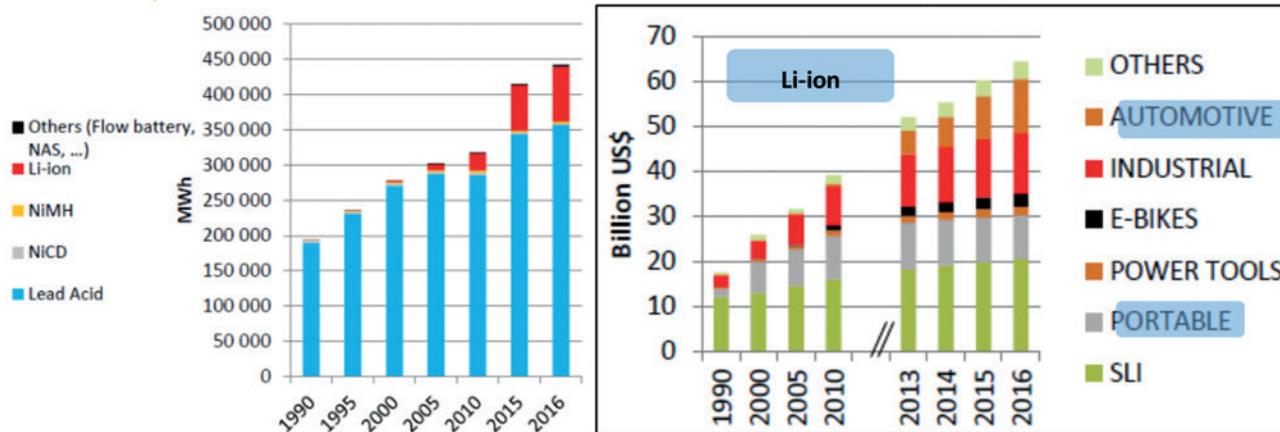


Figure 1 : Évolution du marché des batteries.
Source : Avicenne1.

Les fabricants d'accumulateurs Li-ion restent très majoritairement asiatiques (près de 99 % de parts de marché, avec en tête la Chine, puis la Corée du Sud et le Japon⁽⁶⁾). Le marché des accumulateurs, comme celui des matériaux de batterie, s'appuie sur des procédés matures et vise, en premier lieu, la diminution des coûts par l'accroissement des volumes et l'intégration verticale des activités nécessaires à la fabrication des systèmes : une compétition féroce règne entre les fabricants d'accumulateurs, qui maîtrisent le cœur de la technologie, et les constructeurs automobiles qui cherchent à limiter les coûts de fabrication des systèmes qu'ils produisent

ou qu'ils intègrent. Les capacités de fabrication croissent rapidement sur des modèles existants et éprouvés, ne laissant que peu de place aux changements de technologie. Une cible de 130 €/kWh est considérée comme atteignable en 2025, à l'échelle du système à destination des BEV⁽⁷⁾. Il convient cependant de noter que ce coût, du fait d'effets de volume, deviendra de plus en plus dépendant

(6) WOLFGANG Bernhard, "Electromobility, Regulations, Vehicles, and Markets", World Mobility Summit, 20 octobre 2016.
(7) CURRY Claire, Bloomberg New Energy Finance, "Lithium-ion Battery Costs and Markets", 4 juillet 2017.

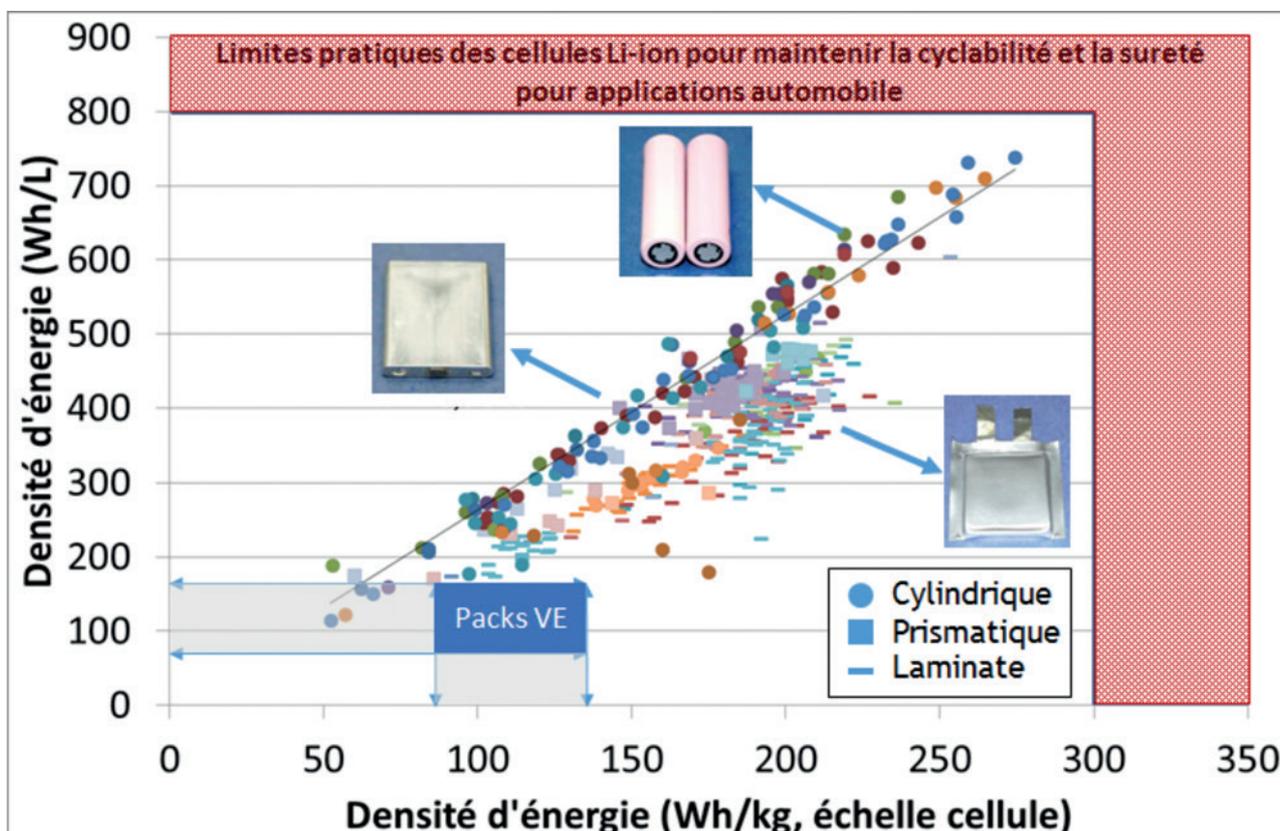


Figure 2 : Les densités d'énergie (massique et volumique) de cellules Li-ion en fonction des formats actuels.
Source : CEA.

Type d'hybridation	Substitut Pb	Micro	Mild	Full	PHEV	BEV
Fonctions	Démarrage moteur	S & S Équilibrage de réseau	S & S REF Boost Downsizing Micro ZEV	S & S REF Boost Downsizing Faible ZEV	S & S, REF Boost Downsizing ZEV étendu	100 % ZEV
Tension	12 V	12 V	48 V	< 300 V	< 400 V	de 300 à 600 V
Puissance	< 5kW	< 5kW	10 à 30 kW	de 40 à 165 kW	> 50kW	> 50kW
Énergie utilisée/cycle	< 2 Wh	< 5 Wh	de 0,3 à 1,3 kWh	< 400 Wh	de 5 à 20 kWh	> 10 kWh
Énergie installée	< 1,5kWh	< 2k Wh	de 1 à 3 kWh	< 2 kWh	de 6 à 18 kWh	>12k Wh
Réduction de CO ₂	0 %	< 8 %	< 15 %	< 20 %	> 35 %	ZEV

Tableau 1 : Caractéristiques des applications automobiles pour différents taux d'hybridation.
Note : REF : récupération d'énergie au freinage ; S & S : start & stop ; ZEV : Zero Emission Vehicle.

du prix des matières premières, et donc de leurs fluctuations (ce qui est déjà le cas aujourd'hui pour le matériau le plus critique, le cobalt, dont le prix est en forte augmentation depuis près d'un an⁽⁸⁾).

Le cas emblématique de la Chine mérite que l'on s'y attarde. Les capacités de production de systèmes accumulateurs y croissent fortement, avec l'aide des subventions d'État. Parmi les investissements majeurs, on peut citer ceux de CATL, BYD et Lishen (> 1 Md \$US chacun, d'ici à 2020⁽⁹⁾) pour l'électrification des véhicules particuliers et des bus afin de répondre à deux enjeux chinois majeurs : dépolluer les centres villes par l'électrification de la mobilité et réduire la dépendance du pays vis-à-vis des importations de produits pétroliers. En complément, la Chine subventionne largement l'achat de véhicules électrifiés, entraînant ainsi l'émergence de nombreux acteurs dans le domaine tant pour les véhicules particuliers que pour les bus (25 000 bus électriques chinois construits en 2014, 110 000 en 2015 et 130 000 en 2016).

Les acteurs majeurs coréens (Samsung, LG Chem et SK Innovation) visent, quant à eux, les marchés mondiaux en tentant de dupliquer leurs usines à travers le monde (aux États-Unis, en Chine et en Europe). Les acteurs japonais suivent la même logique. Ainsi, Panasonic s'implante sur le sol américain grâce à l'alliance conclue avec Tesla Motors et vise, à terme, une production de 35 GWh de packs batteries par an dans sa « Gigafactory ». La division batteries de Sony, acteur historique du lithium-ion à destination de l'électronique grand public, a été vendue en octobre 2016 à un acteur japonais majeur de l'électronique, Murata.

L'Europe réagit également à cette évolution du marché des batteries. Pour éviter de fragiliser l'industrie automobile par une trop forte dépendance vis-à-vis des leaders asiatiques, les industriels allemands se structurent pour pouvoir se doter de moyens importants de fabrication de

batteries et ainsi contrecarrer l'implantation des leaders coréens en Pologne et en Hongrie. En France, Total a racheté en août 2016, pour près d'un milliard d'euros, la seule société française importante du secteur, SAFT.

De nouveaux défis technologiques à relever...

Des défis technologiques liés à la seconde vie des batteries et à leur recyclage

La plupart des batteries dédiées à la mobilité sont encore dans une phase de vie dite de « premier usage » : la question de leur recyclage à grande échelle n'est pas encore d'actualité, mais elle le deviendra dans les prochaines années. Les filières de démantèlement et de recyclage existent, elles sont réparties à l'échelle locale. Leur coût pourrait toutefois s'avérer plus élevé que prévu en l'absence de format standard des packs Li-ion. En effet, contrairement aux batteries au plomb (recyclée à près de 98 %), les packs Li-Ion s'avèrent être très variés et dépendants des choix faits par chaque constructeur ou intégrateur pour répondre aux contraintes volumique et massique de leur intégration pour la mobilité. En outre, *a contrario* des batteries au plomb, la technologie Li-ion met en œuvre de nombreux couples électrochimiques qui nécessitent autant de procédés de recyclage. Notons également que le coût énergétique de leur démantèlement est élevé, à l'image de la complexification croissante des systèmes de stockage à base d'accumulateurs. Enfin, les matériaux offrant une valeur de récupération sont essentiellement le cobalt, le nickel et le cuivre⁽¹⁰⁾ et, dans une

(8) Cotation au London Metal Exchange, www.lme.com/Metals/Minor-metals/Cobalt

(9) Édition du South China Morning Post du 1^{er} février 2018.

(10) Commission européenne, staff working document, "Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy", SWD (2018) 36 final, Part 3/3, 18 janvier 2018.

moindre mesure, l'aluminium, qui est aisément récupéré, mais sans réelle valeur ajoutée. Le lithium, peu présent en masse (< 3 % en masse dans un accumulateur, < 1 % à l'échelle du système complet), est difficilement valorisable compte tenu de son coût encore relativement bas. Il en est de même pour les matériaux carbonés, les polymères, les électrolytes (dont le fluor)...

L'augmentation rapide des volumes des véhicules électrifiés produits entraîne un surcoût colossal que doivent prendre en charge les États *via* les incitations à l'achat (5 Mds \$US en 2015 pour la Chine et près de 800 M€ pour la France et l'Allemagne, en 2016). Cette situation n'est pas viable (ainsi, la Norvège présente un taux de pénétration des BEV qui a été supérieur à 17 % en 2017) : à moyen terme, il est donc envisagé de réduire, voire de supprimer ces incitations. Les solutions de mobilité électrifiée doivent donc devenir économiquement viables sans faire appel à ces incitations, tout en faisant face à une tension certainement plus importante sur le marché des métaux (cobalt, nickel, cuivre et, dans une moindre mesure, lithium, aluminium, carbone). La Chine anticipe la maîtrise des coûts par une maîtrise de la ressource minière depuis près de 10 ans, en s'imposant comme investisseur dans le domaine minier (carbone, lithium et cobalt, notamment) : la Chine, premier exportateur de carbone pour batterie Li-ion, a investi pour maîtriser ses ressources en lithium⁽¹¹⁾, en cobalt⁽¹²⁾ et en cuivre. Avec l'émergence des batteries, une dépendance vis-à-vis des métaux vient s'ajouter à la dépendance au pétrole : il s'agit d'autres acteurs, mais d'acteurs tout aussi puissants. On pourra également noter que le Japon et la Corée du Sud ne sont pas des producteurs de matières minières : effectivement, ces deux pays sont totalement dépendants de leurs importations dans ce domaine, ce qui les incite à diversifier leurs localisations pour s'assurer de la ressource. C'est le cas de tous les acteurs majeurs du domaine qui se sont installés progressivement en Chine, *via* des accords locaux.

Les technologies Post-Li-ion

La densité d'énergie maximale des accumulateurs est stable depuis plusieurs années : elle dépend de leur sécurité, de leur durée de vie et de leur coût. Son accroissement est encore possible, mais il reste lié à leur amélioration continue : on estime que les densités d'énergie maximales réalistes seront de l'ordre de 280 à 300 Wh/kg et de 800 Wh/L, avec les matériaux les plus performants (voir la Figure 2 de la page 32).

Compte tenu de ces perspectives, les acteurs académiques et industriels travaillent sur des technologies en rupture partielle, voire totale pour accroître les performances : ces technologies sont dites « post lithium-ion » et suivent deux axes exploratoires : l'accroissement de la densité d'énergie et la réduction des coûts à long terme en ouvrant le *scope* à des matériaux pérennes. Deux stratégies sont mises en œuvre :

- d'une part, celle du lithium-ion « tout solide »,
- et, d'autre part, les technologies en rupture avec le lithium-ion (métal-soufre, métal-air, métal-ion, batteries organiques).

Si l'accroissement de la densité d'énergie et la diminution des coûts associés constituent l'objectif majeur pour les applications BEV, de nombreux développements sont en cours pour améliorer les performances des batteries dédiées aux véhicules hybrides (PHEV, *mild-hybrid*, HEV et substitution de la batterie au plomb). L'objectif de ces hybridations est de répondre au mieux aux contraintes environnementales et de réduire les émissions de CO₂, sans pour autant modifier les usages de l'automobile. La réponse aux cahiers des charges de ces systèmes de stockage passe généralement par une très forte cyclabilité, une densité de puissance élevée, un fonctionnement sur une plage importante de températures et, surtout, un coût toujours plus faible. La densité d'énergie n'est pas le critère de choix numéro 1, l'intégration de ces systèmes étant plus aisée que celle d'un pack destiné aux BEV.

... mais aussi de nouveaux défis commerciaux

Comme nous l'avons précisé précédemment, le défi principal associé à la commercialisation des batteries à grande échelle est leur coût. Les études montrent que le BEV, avec son autonomie actuelle, peut remplir plus de 90 % des usages quotidiens. Aussi le BEV est-il aujourd'hui souvent vu comme un second véhicule, ce qui peut en limiter la commercialisation. Pour remplir les 10 % restants, la piste explorée est l'accroissement de l'autonomie (qui est très loin d'être suffisante pour répondre aux usages du type « départ en vacances ») et la vitesse de charge. Ces deux aspects impliquent un surcoût à l'achat (et une surconsommation de la ressource minière) et un surcoût supplémentaire des infrastructures pour permettre des recharges plus rapides (difficilement assimilables par les consommateurs et les États, si ces infrastructures devaient être dupliquées à grande échelle, avec un impact non négligeable sur les réseaux électriques et la durabilité des batteries).

Une forte hybridation des véhicules (PHEV) est l'autre piste soutenue par les constructeurs automobiles, dont la Chine et l'Allemagne sont les leaders. Cette solution permet, avec un même véhicule, de contenter l'ensemble des usages. Néanmoins, ces véhicules sont aujourd'hui plutôt orientés sur le haut de gamme (ils sont donc chers). Le défi commercial futur est de parvenir à développer des véhicules de moyenne gamme (voire de bas de gamme) avec cette technologie et pour un coût raisonnable (typiquement < 15 000 €). Cette solution émerge plus vite que la solution du « tout-électrique ».

Des usages complémentaires sont également fortement étudiés pour faire face à une forte émergence des productions intermittentes d'électricité (photovoltaïque

(11) La Chine a investi pour développer le marché domestique, soit près de 40 % des besoins en lithium. Tianqi (CN) a investi en septembre 2016 dans la société chilienne SQM, l'un des trois plus gros acteurs historiques de l'extraction de lithium.

(12) China Molybdenum Co a investi 2,65 mds \$US en juin 2017 dans la société Freeport McMoRan Inc., en République démocratique du Congo, ce pays produisant plus de 50 % du cobalt mondial.

et éolienne). Deux solutions sont fortement poussées : le V2G (*Vehicle to Grid*) et le V2H (*Vehicle to Home*). L'idée (principale est de profiter des batteries présentes dans les véhicules BEV ou PHEV (qui passent 95 % de leur temps au parking) pour rendre des services complémentaires au réseau électrique, soit à la maison, soit de manière plus globale. Le modèle économique correspondant est très discuté du fait qu'il est fortement dépendant des infrastructures existantes.

La durée de vie des batteries est bien supérieure au nombre des kilomètres qui seront réellement parcourus par le véhicule au cours de sa vie. Aussi les constructeurs automobiles et les recycleurs envisagent-ils clairement de donner une seconde vie à ces batteries hors du véhicule, dans des applications V2G et V2H. L'équilibre économique n'est pas aujourd'hui au rendez-vous en raison d'un prix actuel des batteries en constante décroissance : le coût d'une batterie à l'issue de sa première vie (typiquement, entre 7 et 10 ans) doit être marginal pour être concurrentiel vis-à-vis d'une batterie neuve, donc fabriquée 7 à 10 ans plus tard. Le modèle économique correspondant ne pour-

ra donc devenir viable qu'à une double condition : que le prix des batteries soit relativement stable et que la durée de leur seconde vie soit conséquente.

Enfin, si l'électrification des véhicules est une voie pertinente pour dépolluer l'usage, la génération de l'électricité au moyen de combustibles fossiles risque de ternir complètement le bilan carbone dans l'ensemble de la durée de vie des batteries (de l'extraction des ressources jusqu'à leur recyclage). Cette question n'est donc pas à éluder et les solutions futures devront être pérennes et prendre en considération l'ensemble de la chaîne de la valeur (extraction minière, usage et recharge, seconde vie et recyclage).

Conclusion

Les développements techniques des accumulateurs destinés aux véhicules hybrides ou tout-électriques réalisés par les entreprises et les organismes de recherche doivent donc se faire désormais de manière concomitante, tout en prenant en considération les nouveaux cadres évoqués dans cet article.

Les nouvelles formes de la mobilité : trottinettes électriques, *hoverboards*, bicyclettes électriques...

Par Frédéric HÉRAN

Économiste et urbaniste à l'Université Lille 1

Depuis quelques années, de nouvelles formes légères de mobilité urbaine se développent, utilisant des matériels innovants ou des solutions anciennes revisitées, avec de nombreuses variantes et des appellations commerciales foisonnantes. La presse croit déceler dans ce phénomène un nouveau style de glisse urbaine, une mobilité alternative ou une micromobilité qui révolutionnerait nos modes de vie, ou tout du moins celui des citadins les plus branchés (JACQUÉ, 2016). Beaucoup moins gourmands en énergie et en matériaux que les voitures individuelles et produisant peu de nuisances, ces « engins de déplacement personnel » (EDP), auxquels s'ajoutent les vélos de tous types, méritent que l'on s'y attarde. Ils sont cependant toujours mis sur le même plan, comme s'ils avaient tous autant de chances de se développer. Pour apprécier leur pertinence à long terme, les études de marché sont peu adaptées, car, en reposant sur l'observation des ventes passées et sur des enquêtes auprès de la clientèle, elles ont tendance à surestimer le marché potentiel et à considérer comme durable ce qui ne relève que d'un simple effet de mode. Pour mieux comprendre les avantages et les limites de chaque solution existante, ou même potentielle, il est préférable de passer en revue les principaux choix techniques à réaliser pour innover dans ce domaine, puis d'apprécier les conséquences de ces choix sur la performance de ces différents modes de déplacement et, enfin, de proposer une typologie de ces formes légères de mobilité.

Les choix techniques à effectuer...

La motorisation. Elle peut être totale, partielle ou inexistante. Dans le premier cas, le mode de déplacement est dit passif, car l'utilisateur n'a pas à utiliser sa force musculaire, ce qui est reposant. Dans les autres cas, il est dit actif, car l'utilisateur doit se dépenser physiquement. En l'absence de moteur, l'utilisateur ne peut compter que sur sa force musculaire. Avec l'assistance électrique, ses efforts sont plus modérés et il affronte plus facilement les démarrages, les côtes, le vent de face, le transport de charges, les longs trajets, les coups de fatigue...

Le polygone de sustentation déterminé par les points d'appui des roues. Avec un fort empattement⁽¹⁾, la stabilité en ligne est assurée. Avec trois ou quatre roues, les virages doivent être pris à vitesse réduite, sauf si le véhicule peut lui-même s'incliner. Avec deux roues en ligne, la vitesse en courbe peut être assez grande, mais la stabilité à petite vitesse est compromise, notamment lors des démarrages. Avec une seule roue ou avec deux roues en pa-

rallèle, la stabilité dépend de moteurs électriques asservis à des capteurs gyroscopiques, ces matériels ne pouvant alors qu'être électriques. Les deux groupes de quatre roues des rollers ne leur assurent qu'une faible stabilité.

La taille des roues et des pneus. Des roues de grande taille et des pneus larges dotés de chambres à air permettent d'absorber les défauts de la chaussée, alors que des petites roues pleines se coincent dans la moindre entaille, escaladent difficilement de modestes bordures et engendrent de fortes vibrations.

La position de l'utilisateur. Se déplacer debout est vite fatigant, car le corps doit supporter sans cesse son propre poids, tout en absorbant les vibrations du transport ; effectuer de longues distances devient pénible. Être assis (sur les vélos classiques ou sur certaines trottinettes) ou même couché (sur certains vélos) est beaucoup plus reposant.

(1) C'est la distance entre l'axe des roues les plus éloignées.



Quelques types de matériel.

Le poids. Un faible poids a un double avantage : il facilite le démarrage et la montée des côtes, car la puissance à fournir est réduite, il rend également le portage du véhicule plus facile.

Le pliage. Un véhicule pliable ou facilement démontable rend son transport et son rangement plus aisés, à la condition, toutefois, que son poids reste faible.

La rigidité du cadre améliore les performances du véhicule, qui réagit mieux aux efforts, avec moins de pertes d'énergie.

On pourrait encore citer bien d'autres caractéristiques, telles que la durabilité des pièces, la facilité de réparation, la possibilité de transporter des charges, la protection de l'utilisateur contre les intempéries, etc. Dans tous les cas, un véhicule léger est un compromis délicat entre tous ces choix techniques dans lesquels la question du poids est toujours très sensible.

... et la performance qui en découle

Ces choix techniques permettent d'assurer avec plus ou moins d'efficacité trois grandes fonctions : la sécurité, la portée et le confort.

La sécurité résulte de nombreux facteurs. Il est d'abord préférable, surtout en milieu urbain, que le regard de l'utilisateur puisse porter au-dessus des voitures afin d'anticiper les dangers : les piétons qui surgissent, les véhicules qui s'arrêtent brusquement ou qui débouchent d'une ruelle ou d'une sortie riveraine. Il est ensuite impératif que le freinage soit efficace et rapide. Des roues en ligne et un empattement important sont la solution idéale (qu'utilise le vélo), car cela évite au conducteur de basculer vers l'avant. Toute autre solution est moins sûre, car elle oblige à quelques acrobaties, voire à sauter du véhicule au risque d'une grave chute. Enfin, les roues doivent être capables de bien adhérer au revêtement. Une seule roue offre évidemment une sécurité assez faible : quelques gravillons suffisent pour dérapier (LIESWYN *et al.*, 2017).

L'autonomie et *la portée* dépendent de la réserve d'énergie disponible et de la vitesse atteinte. Une motorisation électrique totale impose des batteries suffisamment capacitaires et se heurte vite aux distances à franchir. À l'inverse, avec un peu d'entraînement, l'énergie humaine est moins limitée, mais la puissance est plus faible. L'assistance électrique, disponible sur les vélos et les trottinettes, est un bon compromis permettant de parcourir des distances largement suffisantes, sans trop fatiguer l'utilisateur.

Le confort découle à la fois de la position de l'utilisateur (debout, assis ou couché), des matériaux de l'assise ou du baquet, du nombre des roues, de leur taille, de la gomme des pneus, de leur gonflage éventuel et, enfin, de la qualité des suspensions.

La pertinence de chaque mode

Il est désormais plus facile de comprendre l'intérêt et les limites de chacune des solutions de mobilité disponibles sur le marché. Nous allons passer en revue les principales d'entre elles.

La *trottinette* (ou patinette) est légère et aisément transportable, mais elle est peu confortable et fatigante, voire dangereuse, car une roue peut rester coincée (dans une plaque d'égout, par exemple) ou heurter un obstacle (pierre, bordure...). Le freinage est toutefois assez efficace. Elle ne peut convenir que pour de courts trajets. Si elle est en plus électrique ou dispose d'une assistance électrique, la portée des déplacements s'améliore. Mais le confort est toujours aussi minimal et le danger, quant à lui, s'accroît ; elle prend aussi du poids, ce qui la rend moins facilement transportable.

Le *roller* et les *patins à roulettes* sont assez ludiques, mais présentent beaucoup de défauts. Il réclame un espace assez large pour pouvoir accélérer, une grande dextérité pour freiner (surtout dans les descentes), absorbent mal les obstacles, sont assez fatigants, peu confortables et se révèlent finalement peu sûrs, d'où la nécessité de protections (genouillères, coudières, gants, casque). Les *patins* sont transportables, mais ils sont assez lourds. Les roues, qui tournent beaucoup, s'usent vite. Le *skateboard* (et autres *planches à roulettes*) a presque les mêmes qualités et défauts.

L'*hoverboard* (ou *smartboard*) est surtout un gadget. Sa stabilité est mauvaise, car il est difficile de freiner avec deux roues en parallèle. Les petites roues absorbent mal les irrégularités du revêtement. Le confort est médiocre et l'utilisateur est cantonné dans un rôle passif.

Le *gyropode* a des qualités et des défauts semblables à ceux du *hoverboard*. Ses roues plus grandes et plus larges permettent de mieux avaler les obstacles, son système de stabilité dynamique est plus sûr, mais son poids (48 kg, pour le Segway i2se) le rend peu transportable. Le conducteur reste debout, il est passif et se fatigue vite. Il est difficile de s'arrêter, il vaut donc mieux rouler lentement.

Le *monoroue* (ou *gyroroue*) présente quasiment les mêmes défauts. Pour son utilisateur, il est encore plus difficile de s'arrêter, car l'adhérence est moindre. Mais son poids est cependant bien plus faible, quoique non négligeable (environ 12 kg).

Exclusivement électriques, le *hoverboard*, le gyropode et le monoroue ont par voie de conséquence une autonomie assez faible. Mais celle-ci tend à s'améliorer avec l'arrivée de batteries plus performantes. Leur vitesse est limitée, en principe, à 25 km/h.

Le *vélo de ville classique* est une solution qui cumule beaucoup d'avantages. Il est assez sûr, grâce à ses deux roues

en ligne, à une vitesse qui reste modeste, à un freinage efficace et à la position haute du cycliste. Il est confortable, grâce à ses deux roues de grand diamètre dotées de chambres à air et à la position assise du cycliste, lequel peut même se reposer dans les descentes. Enfin, il permet de parcourir des trajets de bonne portée, grâce à une vitesse appréciable sur terrain plat (15 km/h de moyenne de porte à porte, en milieu urbain). Ses inconvénients sont cependant bien réels. Il ne peut pas être facilement transporté, car il est trop lourd ; il prend une place non négligeable (environ 1 m², deux fois moins si les vélos sont parqués sur deux niveaux) et il réclame des dispositifs de stationnement spécifiques et un antivol de qualité. Pour pouvoir le monter dans les transports publics, il faut que ceux-ci disposent d'espaces adaptés.

Le *vélo à assistance électrique* (VAE) bénéficie d'une puissance additionnelle limitée à 250 Watts⁽²⁾, qui ne s'enclenche que si le cycliste appuie sur les pédales et qui s'arrête au-delà de 25 km/h. Cette solution est une aide tout à fait appréciable, car elle double la puissance spontanée du cycliste, sans pour autant le rendre inactif ou trop rapide (ce qui serait source de danger). C'est un assez bon compromis, qui a été défini par une norme européenne. Le VAE cumule ainsi les avantages du vélo classique tout en permettant de couvrir des distances plus importantes. La qualité de la batterie reste un élément crucial et cela explique qu'un VAE fiable coûte au minimum 1 500 €. Le VAE garde néanmoins les inconvénients du vélo classique et accroît même son poids.

La *draisienne* (qui fut inventée, à Mannheim, en 1817, par Karl Drais) est l'ancêtre du vélo. Pour avancer, l'utilisateur pousse en posant alternativement ses pieds sur le sol. Remise au goût du jour, la draisienne a l'avantage d'être plus légère qu'un vélo. Mais elle est moins efficace et les semelles des chaussures s'usent vite. C'est un outil efficace pour l'apprentissage du vélo.

Le *vélo pliant*, en ne prenant pas plus de place qu'une valise, peut être emporté en voiture et dans tous les transports publics, y compris l'avion. Son pliage doit cependant être rapide et son poids rester modeste, sans pour autant trop dégrader les autres caractéristiques du vélo, au risque de le rendre peu sûr. Le cadre doit rester suffisamment rigide, les roues assez grandes pour un meilleur confort et l'empattement le plus long possible. Il est préférable aussi de disposer de plusieurs vitesses et de solutions de transport de charges (porte-bagages avant et arrière). En pratique, seules quelques marques haut de gamme (Brompton, Riese und Müller...) sont capables de réaliser un compromis satisfaisant, non sans que le coût s'en ressente (compter au minimum 1 500 €). Une assistance électrique est désormais proposée sur les meilleurs vélos pliants.

Le *vélo couché* a un double avantage : une pénétration dans l'air bien meilleure et une position plus efficace et plus confortable pour le cycliste. Mais celui-ci ne peut pas voir au-dessus des voitures.

(2) Soit 260 fois moindre que celle d'une Zoé, la voiture électrique la plus vendue en Europe.

Caractéristiques de quelques modes de déplacement alternatifs
(pour un matériel de base, mais de qualité correcte)

	Poids moyen	Portabilité	Type	Position	Vitesse maxi*	Sécurité	Autonomie	Confort	Prix moyen
Trottinette, patinette	5 kg	oui	actif	debout	12 km/h	moyenne	–	médiocre	100 €
Trottinette à assistance électrique (e-micro)	7,5 kg	oui	surtout actif	debout	25 km/h	faible	15 km	médiocre	900 €
Trottinette électrique	12 kg	oui	passif	debout	25 km/h	faible	20 km	médiocre	1 000 €
<i>Roller</i>	1,6 kg	oui	actif	debout	20 km/h	faible	–	médiocre	100 €
<i>Skateboard</i>	2,3 kg	oui	actif	debout	12 km/h	faible	–	médiocre	50 €
<i>Hoverboard, smartboard</i>	12 kg	oui	passif	debout	12 km/h	faible	15 km	médiocre	260 €
Monoroue, monowheel	12 kg	oui	passif	debout	20 km/h	faible	25 km	médiocre	300 €
Gyropode (Segway i2se)	48 kg	non	passif	debout	20 km/h	faible	25 km	moyen	6 700 €
Draisienne pour adulte	10 kg	non	actif	assise	15 km/h	bonne	–	moyen	500 €
Halfbike 2 (pliable)	8,2 kg	oui	actif	debout	30 km/h	moyenne	–	moyen	600 €
Vélo de ville	16 kg	non	actif	assise	30 km/h	bonne	–	assez bon	350 €
Vélo pliant (Brompton)	13 kg	oui	actif	assise	30 km/h	bonne	–	assez bon	1 400 €
VAE (vélo à assistance électrique)	22 kg	non	surtout actif	assise	25 km/h	bonne	50 km	assez bon	1 500 €
Vélo électrique (deux-roues motorisé)	24 kg	non	passif	assise	45 km/h	faible	40 km	assez bon	2 500 €
Vélo couché	18 kg	non	actif	couchée	35 km/h	bonne	–	bon	2 500 €
Tricycle couché (AZUB T-Tris pliant)	17 kg	oui	actif	couchée	40 km/h	bonne	–	bon	2 300 €
Vélobobile (tricycle caréné)	30 kg	non	actif	couchée	40 km/h	bonne	–	bon	4 000 €
Vélobobile à assistance électrique	35 kg	non	actif	couchée	40 km/h	bonne	50 km	très bon	7 000 €
Bipporteur (Babboe City)	30 kg	non	actif	assise	30 km/h	bonne	–	assez bon	1 500 €
Triporteur (Nihola cigar family)	33 kg	non	actif	assise	30 km/h	bonne	–	assez bon	2 500 €

* En milieu urbain, sur terrain plat et roulant, sans forcer. Entre parenthèses : noms de certaines marques.

Le *vélobobile* (ou *tricycle caréné*) est encore plus efficace face au vent, mais il est plus lourd, ce qui limite ses performances dans les côtes. À l'instar du vélo couché, il peut bénéficier d'une assistance électrique et existe en version pliante.

Le *bipporteur* et le *tripporteur* (ou *cargocycles*) peuvent transporter des personnes ou des biens. Ils servent à l'accompagnement d'enfants ou même d'adultes et au transport d'achats, de colis ou de divers matériels. Avec ses deux roues, le bipporteur reste très maniable. Doté de trois roues, le triporteur peut même permettre de déplacer jusqu'à 200 kg de charges.

Trois types de mobilité

De cet aperçu, il ressort que du point de vue de la mobilité quotidienne (mais non de manière générale), les engins de déplacement personnel peuvent être classés en trois types, aux frontières certes un peu floues : la mobilité ludique, la micromobilité et la mobilité alternative.

La mobilité ludique : roller, skateboard, hoverboard, gyropode, monoroue... Ces engins procurent un plaisir certain, mais ils ne sont guère susceptibles de se développer pour des raisons de sécurité insuffisante et d'inconfort notoire ; leur parfaite maîtrise exige des compétences particulières que tout le monde ne peut acquérir. Ils connaissent un engouement passager, mais récurrent.

La micromobilité : trottinette, draisienne, vélo pliant rudimentaire... Ces solutions sont un peu plus sûres que les précédentes, mais elles ne permettent pas de franchir des distances quotidiennes importantes faute d'une efficacité correcte et d'un confort suffisant. Elles peuvent néanmoins servir pour de petits déplacements, notamment pour rejoindre un transport public plus aisément qu'à pied. Il est probable qu'elles trouveront, à terme, un créneau durable. Elles sont en concurrence avec la marche.

La mobilité alternative : vélo de ville classique, VAE, vélo couché, vélobobile, bipporteurs, triporteurs... On retrouve là les différentes sortes de vélos. Ces solutions anciennes aux qualités éprouvées restent aujourd'hui pertinentes. Il faut se souvenir que la bicyclette moderne est le produit de centaines de brevets déposés en une trentaine d'années, entre 1861 et 1891, principalement en France, en Allemagne et en Grande-Bretagne. On l'appelait à l'origine la « bicyclette de sécurité », car elle était bien plus sûre et fiable que les matériels précédents, grâce notamment au pédalier, à la transmission par chaîne, aux deux roues de taille identique, à la chambre à air, au cadre de type diamant et à la position un peu en arrière du cycliste. Aucun des engins de déplacement personnel récemment inventés n'est aussi sûr et performant que le vélo. En outre, depuis quelques années, la bicyclette et ses nombreux avatars bénéficient à nouveau d'efforts d'innovation considérables, dont on peut voir les résultats édifiants dans divers salons professionnels spécialisés.

Pour exprimer pleinement leur potentiel, le vélo et ses dérivés plus élaborés ont cependant besoin d'un système qui s'appuie sur un réseau performant permettant de rou-

ler sans s'arrêter à une bonne vitesse (comme ce fut le cas, en son temps, pour la voiture). Concrètement, il s'agit de créer un maillage de super-pistes cyclables larges, rapides, franchissant les coupures (routes, cours d'eau, voies ferrées...) par des ouvrages d'art, dotées si possible d'ondes vertes calées sur une vitesse de 15 ou 20 km/h. Les Pays-Bas, le Danemark, certains *Länder* allemands et des villes françaises comme Strasbourg, Grenoble ou Paris se sont lancés dans la réalisation de tels aménagements. Dans ces conditions, la majorité des distances domicile-travail actuelles deviendraient réalisables à vélo (sachant que la distance moyenne était de 14,7 km, selon l'ENTD de 2008). La bicyclette représenterait alors une réelle alternative à l'automobile, pour des coûts budgétaire et environnemental infiniment moindres.

Aspects juridiques

En l'état actuel de la réglementation, les engins de déplacement personnel (EDP) n'ont aucun espace où rouler. Les trottoirs et les aires piétonnes sont réservés aux piétons et seuls les EDP non motorisés (roller, skateboard et trottinettes) y sont tolérés, à la condition d'y rouler « à l'allure du pas » (6 km/h) et de ne pas gêner les piétons. Les aménagements cyclables sont réservés aux seuls cyclistes et la chaussée est interdite aux EDP. Des discussions sont en cours pour faire évoluer cette réglementation, mais elles n'ont pas encore abouti.

Par ailleurs, les EDP motorisés (gyropode, monoroue, hoverboard ou encore trottinette électrique) sont soumis à la même obligation d'assurance de responsabilité civile que des véhicules motorisés tels que les motos ou les voitures.

Remerciements

Cet article a bénéficié des remarques avisées de Sylvie Banoun, Pierre Toulouse et de plusieurs collègues du GERI vélo de l'IFSTTAR. Je les en remercie vivement, tout en restant seul responsable des propos tenus ici.

Références bibliographiques

- BRENAC Th. (2015), « Sécurité et nouvelles pratiques de l'espace public : le cas des trottinettes, skateboards et autres engins à roulettes », *Carnets d'accidentologie*, vol. 2015, pp. 15-31.
- HÉLAN F. (2014), *Le Retour de la bicyclette. Une histoire des déplacements urbains en Europe de 1817 à 2050*, La Découverte, Poche, Paris, 256 p.
- JACQUÉ Ph. (2016), « Trottinette électrique, monoroue... La "micromobilité" urbaine en vogue », *Le Monde* du 6 octobre.
- LIESWYN J., FOWLER M., KOOREY G., WILKE A. & CRIMP S. (2017), "Regulations and safety for electric bicycles and other low-powered vehicles", NZ Transport Agency research report 621, 182 p.

Les téléphériques urbains : l'exemple d'Orléans

Par Charles-Éric LEMAIGNEN

Conseiller municipal d'Orléans et membre du bureau d'Orléans Métropole

Depuis de nombreuses années, Orléans devait traiter la question de la réhabilitation de l'espace urbain situé entre ses deux gares ferroviaires. Si la gare traversante des Aubrais s'ouvre à l'est, un espace de 110 hectares à restructurer s'étend de l'autre côté des voies ferrées. Un grand projet urbain d'urbanisme a pour ambition d'y créer un nouveau quartier durable mixant, à un horizon de 20 ans, près de 300 000 m² de locaux professionnels (bureaux et commerces) et 3 000 logements : ce quartier innovant où il fera bon vivre préfigurera l'Orléans du XXI^e siècle. Mais pour que ce quartier bénéficie de toute son attractivité, à une heure de train de Paris, il est indispensable d'ouvrir la gare des Aubrais vers l'ouest. Ce projet baptisé inteRives ne sera pas sans un mode de transport moderne pour pouvoir traverser les quelque 400 mètres de largeur du faisceau ferroviaire.

Après de nombreuses études et une procédure de dialogue compétitif, c'est un système de transport par câble aérien qui a été retenu. Ce sera le second téléphérique urbain ⁽¹⁾ à être mis en service en France, après celui de Brest.

Le contexte urbanistique : le projet InteRives

En 1800, Orléans était la neuvième ville de France. Mais elle s'est largement endormie durant le XIX^e siècle. Ville commerçante – grâce à la Loire – et capitale de la raffinerie du sucre de canne, elle a été victime du blocus continental, après l'indépendance d'Haïti, qui a stoppé son dynamisme, et ce d'autant plus que ses élites économiques s'étaient réfugiées dans... la rente foncière ! L'une des premières lignes ferroviaires de France, le PO (Paris-Orléans), a été perçue comme une concurrente de la marine de Loire, et la Chambre de commerce de l'époque s'est alors opposée au principe d'une gare traversante. Aussi Orléans a-t-elle le triste privilège d'avoir une gare en cul-de-sac, dans son centre-ville. Il y a donc deux gares sur notre territoire : celle d'Orléans et celle des Aubrais, qui est située sur la commune de Fleury, à trois kilomètres au nord de la ville centre. La gare des Aubrais se situe exclusivement à l'est d'un large faisceau ferroviaire.

Depuis novembre 2000, un tramway relie la gare des Aubrais au quartier de La Source, qui est situé au sud de la ville, en desservant la gare d'Orléans. Jusqu'en 2011, ce sont des navettes ferroviaires qui assuraient les correspondances entre ces deux gares. En 2011, la SNCF a mis en œuvre un cadencement qui a, certes, augmenté le nombre de trains qui vont de Paris à Orléans centre, mais elle a dans le même temps supprimé les vieilles na-

vettes qui permettaient d'assurer les correspondances entre cette dernière et la gare des Aubrais. Pour pouvoir prendre leurs trains de correspondance, c'est désormais soit en voiture soit par le tramway que les usagers effectuent leurs trajets depuis et vers le centre-ville.

Enfin, la plupart des acteurs du département du Loiret et de la région Centre-Val-de-Loire se sont mobilisés pour que la ligne TGV Paris-Orléans-Clermont-Lyon (POCL) desserve la gare des Aubrais. Même si ce projet est aujourd'hui gelé, il était évidemment indispensable de prendre en compte cette éventuelle arrivée du TGV dans le cadre des projets urbains développés autour du site des Aubrais.

Le long de l'ancienne Nationale 20 (la route de Paris) qui relie les deux gares s'étaient installées des entreprises, en particulier l'entreprise de matériel agricole Rivière-Casalis. Depuis les années 1980, ces terrains sont devenus en bonne partie des friches industrielles, avec quelques activités commerciales et assez peu d'habitations. L'aménagement de cette entrée de ville est dès lors devenu un des principaux enjeux d'urbanisme pour ce secteur situé entre les communes d'Orléans et de Fleury-les-Aubrais, voire de l'urbanisme de l'ensemble de la Métropole orléanaise. Entre le rond-point de la Libération et le stade de la Vallée

(1) Si l'on ne tient pas compte du téléphérique de Grenoble construit en 1934, dont la finalité est avant tout touristique.



D.R.

Représentation du futur quartier durable InteRives.

s'étend, sur les territoires de Fleury-les-Aubrais (80 %) et d'Orléans (20 %), tout un secteur dont la requalification est prévue depuis le schéma d'aménagement et d'urbanisme (SDAU) de 1995. Mais pour donner une véritable attractivité à ces terrains, il est indispensable de les ouvrir sur la gare qui est aujourd'hui située exclusivement de l'autre côté de la voie ferrée, ce qui aura pour effet de les mettre à une heure de train du centre de Paris. Un schéma directeur concernant l'ensemble du système ferroviaire Orléans-Les Aubrais a permis de définir, en 2003, le développement des services ferroviaires (voyageurs et fret) sur l'ensemble du secteur des deux gares orléanaises. Il a montré que le maintien des deux lignes de transport de marchandises M1 et M2 situées à l'extrême-ouest du faisceau ferroviaire était incontournable, même si une large partie des voies de desserte pouvait à terme être récupérée.

Pour ouvrir la gare des Aubrais du côté ouest, il faut donc franchir un espace de près de 400 mètres de largeur. Dès 2002, la partie fleurysoise de la bordure des voies ferrées devient une zone d'aménagement concerté communautaire. En 2004, la communauté d'agglomération cède à la Chambre de Commerce et d'Industrie (CCI) du Loiret la friche Rivière-Casalis. La CCI élabore plusieurs projets successifs visant à y installer son siège et à faciliter des implantations tertiaires, c'est le projet de l'immeuble Citévolia. En 2008, à l'initiative du Conseil général du Loiret, l'ensemble des partenaires (Conseil général du Loiret, région Centre-Val-de-Loire CCI, communauté d'agglomération d'Orléans-Val-de-Loire, villes d'Orléans et de Fleury-les-Aubrais) lancent une étude d'aménagement urbain qui débouche, en 2012, sur un projet de requalification urbaine sous maîtrise d'ouvrage confiée à la communauté d'agglomération. Les différentes études et procé-

dures aboutissent à la définition, le 18 décembre 2014, en conseil de communauté, d'un plan-guide qui précise l'ensemble de ce projet baptisé « InteRives ».

Il s'agit de créer un nouveau quartier durable mixant bureaux, habitat et activités sur 110 hectares, qui doit être la vitrine économique de l'Orléans du XXI^e siècle. C'est un projet qui se réalisera sur vingt à trente ans, avec l'îlot « cœur de quartier » constituant la première tranche, d'ici à 2022. À terme, ce sont plus de 200 000 m² de bureaux, 3 000 logements et de nombreux équipements publics qui sont envisagés ainsi qu'un transport en commun en site propre pour assurer la liaison avec le centre-ville.

Pourquoi le choix d'un téléphérique ?

Mais aucun projet ambitieux ne peut être envisagé sur ce site s'il n'y a pas une ouverture de la gare des Aubrais vers l'ouest. C'était l'une des contraintes qui avait été fixées dans le cadre du dialogue compétitif de maîtrise d'ouvrage urbaine qui avait été lancé en 2012 pour sélectionner celle des trois équipes multidisciplinaires qui allait nous accompagner pour définir précisément notre projet urbain, en décembre 2014. J'avais souhaité que chacune des équipes propose des solutions alternatives pour la traversée de ce faisceau ferroviaire de 400 mètres de largeur. Il est apparu que, de fait, pour chaque équipe, c'était le projet urbanistique lui-même qui induisait le choix du mode de transport pour permettre la traversée des voies. Sur les deux équipes qui s'étaient dégagées du dialogue compétitif, l'une d'entre elles nous a présenté un projet de téléphérique, et l'autre une « passerelle » (une passerelle comportant nombre d'aménagements que l'on peut trouver sur une place).

Les contraintes de la traversée des voies sont en effet importantes : il faut passer à 7 mètres au moins au-dessus des voies ferrées pour des raisons de sécurité. Pour une passerelle qui doit respecter une pente maximale de 4 % pour permettre l'accessibilité aux personnes handicapées, cela signifie 175 mètres de plus de part et d'autre du surplomb... Cela signifie aussi un urbanisme de dalle, du côté du quartier InteRives, lequel, même s'il avait été très intelligemment pensé par l'architecte, ne nous satisfaisait pas complètement. Une telle question, bien sûr, ne se pose plus avec un téléphérique.

L'autre inconvénient est qu'une passerelle repose sur des piliers (on nous en proposait sept pour franchir les 400 mètres du faisceau ferré) implantés sur le domaine ferroviaire. Or, toute emprise au sol d'un ouvrage érigé sur le domaine ferroviaire génère des contraintes d'exploitation pour la SNCF, tout particulièrement durant toute la période de réalisation de l'ouvrage, la circulation des trains devant être assurée. Les études techniques demandées par SNCF Réseau rallongeaient de plusieurs années la réalisation effective de l'ouvrage.

Les pylônes d'un téléphérique, quant à eux, n'impactent que peu, voire pas du tout l'emprise ferroviaire.

Les travaux sur le domaine ferroviaire doivent être réalisés pendant les coupures annuelles (soit trois ou quatre week-ends, entre avril et septembre), durant lesquelles il est procédé à l'entretien des voies. Ces créneaux sont en général programmés deux ans à l'avance. Il est donc indispensable d'anticiper, à partir d'un planning détaillé, les différentes tâches à réaliser !

Enfin, un téléphérique était incontestablement un « marqueur » de modernité du projet urbain.

Aussi, le 9 juillet 2013, le conseil de communauté de l'agglomération a approuvé un accord cadre de maîtrise d'ouvrage urbaine avec le groupement Patrick Chavannes/IRIS Conseil/Saville/Arcadis, qui prévoyait un franchisse-

ment par câble du faisceau ferroviaire.

Dans le cadre du troisième appel à projets « Transports collectifs et mobilité durable », lancé par le ministère de l'Écologie et du Développement durable, la communauté d'agglomération a approuvé, le 26 septembre 2013, le dossier de candidature du groupement précité.

En décembre 2014, le ministère a retenu notre opération et lui a attribué une subvention de 1,21 million d'euros.

Compte tenu de la complexité à la fois technique et administrative propre au transport par câble et aux exigences de pilotage et de coordination avec les autres opérations d'aménagement de la ZAC, un maître d'ouvrage délégué (Egis/Semdo) a été désigné, fin 2015.

Le programme retenu

Le marché global de performance ayant pour objet la conception-réalisation et la maintenance du transport par câble a été notifié le 17 janvier 2017 au groupement d'entreprises GTM-SOGEA-Centre-POMA-SYSTRADuthilleul, pour un montant de tranche ferme de 14,75 millions d'euros HT.

L'étude de faisabilité initiale prévoyait un système de télécabines monocâbles qui soit évolutif en termes de débit (il devait pouvoir passer de 1 000 à 2 000 personnes par heure, dans chaque sens). Ces éléments ont été retravaillés par Egis. C'est pour cette raison que la consultation pour désigner le futur concepteur-réalisateur a laissé ouvert le choix du mode de transport pour permettre aux constructeurs de proposer d'autres systèmes qui auraient pu répondre techniquement aux attentes en matière de débit, de sécurité, de bruit et d'intégration, etc., tout en respectant les contraintes de travaux à effectuer depuis le domaine SNCF.

Le système retenu est un téléphérique va-et-vient à câble bi-porteur conçu par POMA. Qui dit téléphérique dit deux



Maquette de la télécabine développée par la société POMA, désignée pour construire le téléphérique urbain d'Orléans.

D.R.

cabines circulant en va-et-vient. D'une superficie de 16 m², elles pourront transporter chacune jusqu'à 56 passagers, dont 19 places assises. Les cabines sont inspirées du *design* du tram : elles en reprennent la couleur « sable de Loire », tout comme le tissu utilisé pour la confection des sièges. La nouvelle réglementation permet de ne pas avoir besoin de cabinier, ce qui était essentiel pour limiter les coûts d'exploitation. L'accessibilité est évidemment assurée pour les personnes handicapées, il sera même possible d'y monter son vélo...

Le programme opérationnel prévoyait une longueur d'ouvrage d'environ 360 mètres. La solution retenue correspond à une longueur de 380 mètres, ce qui permet d'implanter les deux pylônes hors du domaine ferroviaire. Il était en effet demandé de minimiser au maximum le nombre des pylônes pour en réduire l'impact en termes d'emprise au sol. Ces pylônes ont une hauteur de 35 mètres.

La capacité prévue est de 1 500 personnes par heure, dans chaque sens. Cette capacité a été établie à partir d'une étude précise ayant porté sur le remplissage réel de chacun des trains s'arrêtant aux Aubrais pour faire en sorte que la traversée se fasse avec une attente minimale.

Il faudra deux minutes et demie au maximum (temps d'entrée et de sortie des passagers compris) pour franchir les 380 mètres séparant la gare des Aubrais du quartier InteRives, à l'ouest des voies.

Le téléphérique fonctionnera 19 heures par jour, en semaine, et 18 heures, le week-end. La fréquence sera comprise entre 2 et 5 minutes au maximum, en heures creuses.

Les stations du téléphérique sont situées à l'est, juste devant la gare, place de la Commune-de-Paris et, à l'ouest, place Danton. Elles ont été conçues par Jean-Marie Duthilleul, l'architecte qui a construit de nombreuses gares en France, dont notre très belle gare d'Orléans Centre. La qualité architecturale de la station de la place de la Commune-de-Paris va inévitablement poser à terme le problème de la grande médiocrité de la qualité architecturale de la gare actuelle des Aubrais... Les deux stations sont situées au niveau du sol et se présentent sous la forme de deux cylindres transparents, hauts de 13 mètres, surmontés d'une toiture végétalisée. Elles seront insonorisées, le bruit ayant été une préoccupation majeure des riverains, même pour ceux qui sont pourtant relativement éloignés du câble. Un téléphérique est sensiblement moins bruyant que des télécabines, car il ne nécessite pas de système de débrayage.

Le système est conçu pour résister à des vents atteignant 70 km/heure. La sécurité a été une préoccupation majeure du projet. Le contrôle du SRMTG (acronyme compliqué pour Service technique des remontées mécaniques et des transports guidés) est très pointilleux. Nous avons déjà connu ce type de contrôles, pour notre deuxième ligne de tram... De plus, les incidents enregistrés par le téléphérique de Brest juste après son inauguration, nous ont

encore plus sensibilisés à la nécessité d'une fiabilité absolue du système ! C'est d'autant plus indispensable que le câble survole les voies ferrées jusqu'à 25 mètres de hauteur, qu'il est nécessaire d'avoir un système de récupération intégrée en cas d'incident et que le système choisi ne nécessite pas de personnel de conduite à l'intérieur de chacune des cabines. Nous avons en effet prévu une supervision à distance, depuis le centre de contrôle du réseau des transports publics. Aussi la qualité technique du « systémiste » a-t-elle été un élément majeur dans notre choix.

Le trajet sera gratuit et géré par l'exploitant du réseau des transports publics orléanais. C'est intéressant à un double titre. D'une part, il est logique d'avoir une vision globale de la mobilité dans la métropole, et ce, quel que soit le mode de transport utilisé. Et, d'autre part, cela permet des synergies évidentes. La gestion du téléphérique devra donc être intégrée dans la prochaine délégation de service public du transport urbain, dont l'échéance correspondra à peu près à celle de la mise en service du téléphérique.

Un recours a été déposé par l'un des candidats non retenus dans le cadre de la consultation. Cela retarde évidemment le lancement effectif des travaux. D'autant plus que, comme on l'a vu, les plages de travaux doivent respecter les contraintes de SNCF Réseau. Cela n'est pas, pour l'instant, trop préjudiciable, car l'essentiel est d'assurer ce que j'appelle la « concordance des temps ». En effet, il n'est pas utile de faire fonctionner le téléphérique tant que les immeubles d'InteRives ne sont pas occupés. A *contrario*, il est indispensable, pour la commercialisation des bureaux et le respect de nos engagements vis-à-vis des investisseurs, que le téléphérique soit prêt à fonctionner dès que les bureaux seront livrés. Or, l'occupation des bureaux de l'immeuble Citévolia n'interviendra pas avant la mi-2019.

Un projet de transport est intimement lié à un projet d'urbanisme, et réciproquement. C'est tout particulièrement le cas de ce projet phare pour notre métropole. À un projet d'urbanisme innovant correspond un moyen de transport innovant. Nous serons le second projet de téléphérique à proprement parler urbain en France, après celui de Brest (inauguré en 2016). Le téléphérique brestois traverse la Penfeld, un bras de mer de 420 mètres de large, tandis que notre projet traversera un faisceau de voies ferrées d'une largeur légèrement moindre.

Je suis profondément convaincu que le transport par câble sera à l'avenir l'un des moyens les plus banals pour franchir des obstacles, en milieu urbain. Mais le transport par câble en environnement urbain nécessite une technicité bien évidemment différente de celle des remontées mécaniques de nos stations de ski, car il doit fonctionner en permanence et non pas seulement quatre mois par an.

Bien d'autres projets de téléphériques se font jour en France, et c'est tant mieux : le transport par câble prend de la hauteur !

La filière automobile, soutien des PME et ETI françaises en matière de mobilité du futur

Par **Éric POYETON**

Directeur général de la Plateforme de la filière automobile (PFA), de décembre 2014 à février 2018

Au cœur des nouvelles mobilités, l'automobile doit faire face à de nombreux défis : avec l'avènement des nouvelles énergies (électricité, hybridation, gaz naturel...), des véhicules autonomes et connectés, des nouveaux usages de l'automobile (covoiturage, auto-partage...) et de l'usine automobile du futur, la filière connaît une réelle mutation. C'est grâce à la collaboration entre tous les acteurs que la filière automobile française pourra transformer ces défis en opportunités. Créatrice de relations de travail durables et de confiance entre les grandes entreprises et les ETI et PME, la PFA, Filière Automobile & Mobilités, a pour vocation de montrer la voie, de permettre de relever les défis grâce à la force du collaboratif et d'entraîner ainsi les PME et les ETI.

Organisation d'intérêt collectif, la Plateforme de la filière automobile (PFA) a pour mission de consolider et de développer les 4 000 entreprises qui sont les acteurs industriels de l'automobile et du transport routier en France, afin de les renforcer face à la concurrence internationale et aux exigences toujours plus fortes de ses clients et de la réglementation.

La PFA construit une vision claire des grands enjeux de la filière en matière d'innovation, de réglementation, de normes et standards, de compétitivité industrielle, de compétences et d'emplois. Elle en décline les actions, les services et les outils afin d'améliorer sa compétitivité globale, ainsi que celle de chacun des maillons qui la compose.

La PFA s'attache en particulier à :

- animer la dynamique de l'innovation, moteur de croissance de la filière, en pilotant les programmes prioritaires et en facilitant les collaborations entre les différents acteurs ;
- être proactive dans les domaines des réglementations, normes et standards au niveau national et international, pour donner aux entreprises de la filière les meilleures conditions pour se développer ;
- agir afin que l'industrie automobile, qui est pourvoyeuse de solutions de mobilité, démontre son attractivité ;
- soutenir le développement des PME et des ETI (management, international, performance, mutualisations...) en les accompagnant sur le plan stratégique ainsi que dans leurs démarches opérationnelles ;
- construire des relations de confiance durables et améliorer la qualité des relations clients/fournisseurs afin de

créer de la valeur pour chacun des acteurs ;

- anticiper les besoins en compétences pour les emplois d'aujourd'hui et de demain, en améliorant l'adéquation entre les besoins et les formations et en offrant ainsi de véritables opportunités de développement aux hommes et aux femmes qui seront les futurs employés de notre industrie.

Pour la PFA, l'automobile est à la veille de bouleversements sans précédent. La feuille de route de la filière s'articule autour de trois disruptions et quatre défis. Ces disruptions sont d'ordres technologique (véhicules électriques, véhicules autonomes), numérique (voitures connectées, protection des données) et sociétal (agenda environnemental, évolution des attentes de nos concitoyens en matière de mobilité). Les défis à relever sont la recherche collaborative (voiture autonome, véhicule à faible empreinte écologique, voiture connectée), la compétitivité de la filière (aider les PME tout au long de leur chaîne de valeur), l'humain (les conséquences des innovations disruptives sur l'emploi) et le défi du collectif. La solidarité entre les entreprises est incontournable. Cette solidarité se décline bien entendu au niveau des PME, qu'il faudra aider à se moderniser et à se robotiser. La filière automobile doit être capable de proposer des programmes d'amélioration de la performance et de mutualiser leur financement. La filière doit aussi aider les entreprises à anticiper les conséquences pour l'emploi des mutations technologiques. Le grand défi est ainsi celui de l'action collective, qui a présidé à la transformation de la PFA en véritable tête de filière. C'est de par cette collaboration constructive impliquant toute la filière que pourra naître le véhicule de demain (et les emplois qui l'accompagnent) :

il sera écologique, connecté et autonome, mais aussi abordable et exportable.

Dynamiser l'innovation

L'automobile est au cœur d'une période de profondes transitions impliquant un grand nombre de ruptures technologiques liées, en particulier, à la protection de la planète et à la sécurité des personnes. Pour faire face à ces enjeux et piloter les innovations prioritaires, cinq programmes ont été mis en place sous l'appellation « Solution Mobilité écologique ». Ces programmes sont structurants et définissent des feuilles de route pour l'industrie et les objectifs en matière de recherche. Ainsi, le programme Électromobilité et le programme Stockage de l'énergie sont pilotés, respectivement, par le ministère de l'Économie et par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA). Trois programmes sont pilotés par la PFA, réunissant, directement ou indirectement, l'ensemble des décideurs de la R&D de l'industrie automobile française : le programme Véhicule à faible empreinte environnementale, le programme Véhicule autonome (incluant les véhicules légers, les véhicules industriels et le transport public automatisé) et le programme Véhicule connecté et cybersécurité. C'est à partir de ces programmes que sont déclinées les priorités de la filière automobile en matière d'innovation.

Dans sa démarche d'animation de la dynamique de l'innovation au sein de la filière, la PFA définit des Positions techniques de filières sur les sujets prioritaires. Il s'agit de positions communes, partagées par l'ensemble des acteurs de la filière. À partir de ces positions sont déclinées des *roadmaps*, ou feuilles de route, visant à donner la visibilité à toutes les entreprises de la filière sur les besoins en innovations technologiques et leurs échéances.

Pour animer l'innovation et encourager l'implication des PME et des ETI, la PFA a créé un écosystème permettant la mise en relation des différents acteurs de la filière. À partir des positions techniques de filière et des *roadmaps*, les grands groupes exposent leurs besoins d'innovation, auxquels les PME et les ETI peuvent répondre en proposant leurs solutions innovantes. À ce jour, 82 fiches de besoins ont été déposées, pour lesquelles 267 innovations ont été proposées. Des *pitchs* sont organisés afin de permettre aux PME et aux ETI de présenter leurs solutions innovantes. À ce jour, 67 PME/ETI ont participé aux *pitchs* organisés par la PFA.

La PFA et le Commissariat général à l'investissement (CGI) ont mis en place des actions communes pour soutenir les projets des PME et ETI à travers notamment l'octroi de financements.

Des dispositifs complémentaires ont également été mis en place pour soutenir les PME, les ETI et les *start-ups*. Il s'agit :

- de « villages *start-ups* », dans le cadre du salon international Solutrans en novembre 2017, des espaces entièrement dédiés à la mobilité et aux transports intelligents,
- de l'accompagnement de PME et d'ETI françaises par la PFA et Business France au CES (*Consumer Electronics Show*) de Las Vegas (aux États-Unis, en janvier 2018),

- de la création dans le cadre du Mondial de l'Automobile, en octobre prochain, de la zone Mondial.Tech, une plateforme B2B dont l'objectif est de favoriser les collaborations interentreprises.

Anticiper les besoins en compétences et en emplois

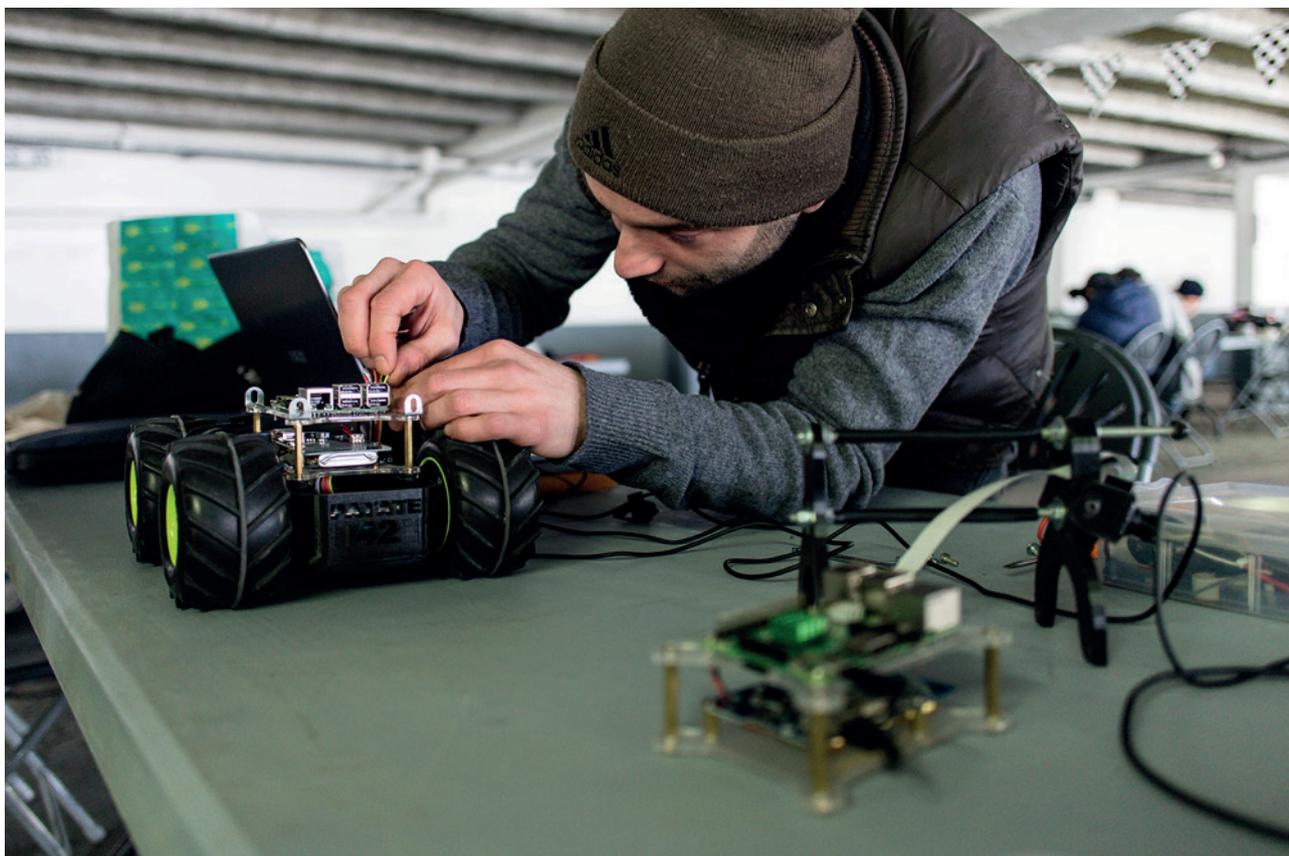
En matière de compétences et d'emplois, nous avons devant nous un véritable défi à relever au cours des prochaines années : faire face à un besoin croissant de formations et de recrutements, dans certains métiers. La filière automobile devra en effet embaucher 25 000 personnes d'ici à 2021, dont plus de 8 000 ingénieurs et cadres techniques d'entreprises, plus de 7 000 ouvriers qualifiés et plus de 4 000 techniciens (ces estimations sont issues d'une étude que l'Observatoire de la métallurgie a réalisée pour la PFA). Les profils professionnels recherchés nécessitent différents types de compétences : travail des métaux, architecture des véhicules du futur, gestion de données, etc.

Pour accompagner les PME/ETI, mais aussi organiser et piloter la dynamique des compétences et des emplois, les grandes entreprises ont décidé de mettre en place le Programme ACE (Attractivité, Compétences et Emplois), piloté par la PFA. Ce dernier a pour but de faire naître ou d'adapter des programmes pédagogiques qui répondent aux besoins identifiés des industriels du secteur de l'automobile en France (ingénierie de formations) et de faire de ces programmes pédagogiques des priorités nationales. Il a été mis en place suite à une consultation des ETI/PME et des experts, grâce à l'implication des décideurs métiers des têtes de filière.

L'objectif de ce programme ACE est de favoriser l'émergence de « Campus Filière Automobile et Mobilités » labellisés dans cinq régions : Auvergne-Rhône-Alpes, Île-de-France, Hauts-de-France, Bretagne et Grand-Est/Bourgogne/Franche-Comté. La tête de la filière automobile (constructeurs/équipementiers, fournisseurs) et ses partenaires publics, incluant des ressources détachées par l'Éducation nationale, ainsi que les partenaires régionaux des campus auto-mobilités, proposeront de nouveaux dispositifs pédagogiques pour les compétences clés de la filière, notamment sur trois thématiques de la performance : l'excellence opérationnelle, la relation clients/fournisseurs et le développement du numérique. Ce réseau permet d'obtenir des services de l'enseignement des réponses aux besoins des ETI et PME de leur territoire. Des plateformes RH seront également expérimentées au profit principalement des PME et des ETI de la filière.

Tout l'enjeu est de travailler sur les futurs flux de personnes en anticipant les besoins.

Il s'agit également de travailler sur l'adaptation du contenu des formations aux besoins, qu'il s'agisse de formations initiales ou de formations tout au long de la vie (par exemple, les formations proposées par l'École Supérieure des Techniques Aéronautiques et de Construction Automobile (ESTACA) sur le véhicule autonome). La filière favorise l'apprentissage, qui est un bon moyen de mettre en



Dernière mise au point technique avant la première course de mini-voitures autonomes, l'IronCar, Paris, 10 février 2018.

« Le challenge pédagogique de “Course en cours” propose aux candidats à ce concours de concevoir, fabriquer, tester et faire courir une mini-voiture de course électrique au cours de leur année scolaire. »

relation les jeunes, les enseignants et le monde du travail. La charte LAFAM (label de la filière Automobile et Mobilités) vise en effet à faire de l'alternance une voie d'excellence en faveur de l'emploi et à développer cette formule dans l'ensemble de la filière, dans les grands groupes comme dans les plus petites structures.

En parallèle, de nombreuses actions sont menées pour permettre aux jeunes de mieux appréhender le monde de l'entreprise, en particulier au sein de la filière automobile. MonJob@FuturAuto est devenu le rendez-vous des élèves des écoles d'ingénieurs et des étudiants des universités avec ceux qui conçoivent et développent l'automobile et la mobilité du futur. Le site Internet Planetautomobile.com permet aux jeunes de découvrir les métiers de la filière Automobile et Mobilités, ses formations et ses innovations.

La PFA soutient également deux challenges pédagogiques :

- **Course en cours** : les candidats à ce concours doivent au cours de leur année scolaire concevoir, fabriquer, tester et faire courir une mini-voiture de course électrique. Sur les traces des ingénieurs, les participants utilisent les mêmes outils et processus que les professionnels de la course automobile. Ils intègrent également une dimension *marketing* et communication à leur projet ;

- **EducEco** : les équipes d'élèves et d'étudiants participantes doivent concevoir et construire un véhicule qui soit capable de rouler 18 km sur le circuit urbain de Valenciennes, tout en consommant seulement quelques millilitres d'essence. Pour imaginer et concevoir ce véhicule, elles utiliseront des modèles numériques et des bancs de simulation, tout comme elles le feraient chez un constructeur ou un équipementier de l'automobile.

En anticipant les besoins en ressources humaines à court et moyen termes, la PFA joue ainsi un rôle d'accélérateur en matière de gestion prévisionnelle des emplois et compétences (GPEC).

Optimiser la performance industrielle

En matière de performance industrielle, la priorité de la filière est d'accompagner les dirigeants sur la voie d'une meilleure compétitivité.

La PFA a ainsi mis en place un certain nombre d'outils visant à donner de la visibilité sur ce qui va se passer dans le futur : prévisions volumes, veille technologique et tendances actuelles et à venir de la composition du mix énergétique.

Des enquêtes sont mises à la disposition de l'ensemble de la filière pour permettre aux entreprises de se situer

les unes par rapport aux autres en comparant leurs performances. L'enquête de performance industrielle présente les indicateurs clés de performance et les actions concrètes et efficaces menées dans les entreprises et au niveau de la filière. L'enquête sur la qualité de la relation client/fournisseur donne les clés d'un partenariat efficace entre client et fournisseur, et les bénéfiques pour chacun, ainsi que les actions mises en œuvre au niveau de la filière. Des études réalisées par la Banque de France sur l'état de la filière automobile en France évaluent la situation économique et financière des entreprises de la filière de l'industrie automobile.

La PFA s'engage également à accompagner les dirigeants dans leurs démarches d'amélioration en leur proposant :

- la mise à disposition d'une liste de consultants habilités,
- un soutien dans la démarche de création de grappes d'entreprises, en collaboration avec les Associations régionales de l'industrie automobile (ARIA),
- un accompagnement des flux avec l'appui de GALIA (Groupement pour l'amélioration des liaisons dans l'industrie automobile) : formation logistique, certification des solutions ERP (*Enterprise Resource Planning* – logiciels de gestion intégrés),
- le développement international de leur entreprise, grâce à une animation de la FIEV (Fédération des industries des équipements pour véhicules) et de Business France,
- la possibilité pour leurs dirigeants de bénéficier des services de *sparring partners*, avec l'aide de BPI France,

ou encore de la mise en place d'un dispositif avec Pacte PME dans la lignée des recommandations de la Task Force Automobile de 2015, telle que pilotée par MM. Banquy, Catoire, Leclercq et Sepulchre de Condé, sous la présidence d'Emmanuel Macron, ministre de l'Économie.

Par ailleurs, en tant que membre de la gouvernance de l'Alliance de l'industrie du futur, la PFA met en place une démarche visant à donner aux entreprises une feuille de route vers l'industrie 4.0.

Dans ce cadre, le programme VALdriv PLM (*Value driven Product Lifecycle Management*) est un projet fédérateur et structurant pour la filière. Il contribue pleinement aux différents piliers du « Plan Industrie du futur » dans le cadre de la Nouvelle France industrielle, à savoir :

- développer l'offre technologique : des plateformes, en régions, pour permettre aux entreprises de mutualiser et de tester de nouvelles technologies, et de former leurs salariés à ces nouveaux outils ;
- accompagner les entreprises dans cette transformation : un accompagnement personnalisé proposé par les régions aux PME et aux ETI industrielles ;
- former les salariés : le capital humain et les enjeux de formation sont au cœur de nos préoccupations,
- enfin, renforcer la coopération internationale en matière de normalisation.

La voiture individuelle, un nouveau mode de transport collectif ?

Par Stéphane BEAUDET

Maire de Courcouronnes, vice-président de la région Île-de-France en charge des transports et des mobilités durables et vice-président d'Île-de-France Mobilités

La mobilité connaît une mutation profonde. Après plusieurs périodes durant lesquelles la prédominance d'un mode a été la règle – la voiture ayant succédé au chemin de fer –, s'ouvre une période différente, plus complexe, nourrie des évolutions de nos modes de vie, des contraintes environnementales et de choix sociétaux. La mobilité devient multiple, dispersée, irrégulière, – en résumé – choisie, et les modes traditionnels ne sont plus adaptés.

De premières réponses ont d'ores et déjà éclos, spontanées ou résultant d'initiatives privées, certaines en lien avec l'arrivée de nouveaux véhicules issus de bonds technologiques directement liés à l'explosion du numérique. Alors que la voiture et les infrastructures routières sont depuis plusieurs années pointées du doigt, l'arrivée de ces nouveaux véhicules réhabilite la route, ce réseau d'infrastructures existantes à valoriser et à moderniser, en tant que support de nombreux modes de déplacement.

Mais, jusqu'ici, la puissance publique est restée en retrait. Il lui revient pourtant, à défaut de construire elle-même, de soutenir et d'encadrer les solutions qui se développent. Dans cette perspective, un rapprochement entre la voiture individuelle et les transports collectifs pourrait finir par s'imposer.

La prédominance successive de modes de transport uniques jusqu'à l'apogée de la voiture

Au XIX^e siècle, le chemin de fer a révolutionné la mobilité. En 1837, dès son ouverture, la première ligne en Île-de-France reliant Paris à Saint-Germain connaît un énorme succès : elle transporte 18 000 voyageurs par jour. La route parallèle à cette voie ferrée est alors vingt fois moins fréquentée. Un siècle plus tard, cette ligne de chemin de fer est toujours là, mais le rapport s'est inversé. La voiture particulière a bouleversé la mobilité du XX^e siècle. Son essor a conduit à délaisser les transports en commun. Avec l'avènement du « tout-automobile », l'organisation spatiale mute et le tissu urbain s'adapte à ce nouveau mode de déplacement. Le réseau autoroutier se construit et notre mode de vie s'organise autour de la voiture. Après un demi-siècle de suprématie de la voiture particulière et malgré l'extension continue des réseaux routiers, on observe une saturation des voies de communication et une stagnation de la vitesse moyenne des déplacements. Pour autant, l'attachement à la voiture reste fort, elle demeure le mode de déplacement prépondérant.

Le confort, la rapidité, la souplesse d'utilisation, l'image de modernité sont autant de caractéristiques qui expliquent

cet attachement à la voiture. La création d'infrastructures et l'évolution des véhicules ont accompagné le mouvement. On imagine encore assez mal aujourd'hui le mode de déplacement du XXI^e siècle appelé à détrôner la voiture, tant l'ancrage de celle-ci est profond. Selon l'enquête globale transports de 2010⁽¹⁾, en Île-de-France, 41 millions de déplacements sont effectués chaque jour, dont 8,5 millions en transports en commun (représentant une part modale de 20 %) pour 15,5 millions en voiture (soit une part modale de 38 %). La hausse constante de la mobilité s'établissant aujourd'hui à 3,87 déplacements par personne et par jour pose la question de la capacité du système actuel à absorber cette augmentation avant d'atteindre le point de rupture, lorsque l'on sait que la longueur moyenne quotidienne des bouchons sur le réseau routier francilien en heure de pointe du matin est de 350 kilomètres...

Un modèle en fin de course

Sans être disruptifs, quelques signes annonciateurs d'un changement sont apparus ces dernières années. D'abord,

(1) L'enquête globale transport (EGT) a été réalisée entre 2009 et 2011. Elle a été pilotée par le STIF, ancien nom d'Île-de-France Mobilités, en partenariat avec la DRIEA, dans le cadre de l'Omnibus (Observatoire de la mobilité en Île-de-France).

la forte disparité de l'usage des modes de déplacement entre les territoires franciliens marque un infléchissement de l'utilisation de la voiture, dont la part, en moyenne, s'est stabilisée. Seule la grande couronne enregistre encore une progression de l'utilisation de la voiture, contrairement à Paris et à la zone dense, où elle diminue. Ensuite, on note une augmentation assez nette de la part des transports en commun d'environ 21 % entre 2010 et 2016, comparativement aux périodes précédentes. Enfin, la percée des modes actifs (marche, vélo...) se confirme.

Ces signes ne sont sans doute pas sans lien avec les évolutions sociétales et des enjeux environnementaux de plus en plus prégnants. Ils ont généré un corpus législatif et réglementaire dont les dispositions pèsent sur les choix de mobilité des citoyens, qui, dans le même temps, délaissent peu à peu les modèles traditionnels tournés vers la propriété individuelle, en l'occurrence la voiture, pour favoriser la notion d'usage, dont Autolib', les systèmes spontanés d'auto-partage ou encore le covoiturage sont la traduction.

Au surplus, le coût de possession d'une voiture, la saturation des infrastructures routières, le temps perdu passé dans sa voiture et, plus globalement, le coût des externalisations négatives des embouteillages et des nuisances remettent en cause la pertinence du mode individuel motorisé. L'effet générationnel est également un élément à prendre en compte. Les plus de 65 ans ayant grandi avec la voiture en sont très dépendants, tandis que les jeunes s'en détachent et sont de moins en moins nombreux à passer leur permis de conduire.

Cette remise en cause est encore plus marquée dans les zones denses où les surfaces mobilisées pour la voiture individuelle (voirie, stationnement, échangeurs...) constituent un hiatus au regard de la pénurie de foncier et de la nécessité de construire des logements. De plus, l'amélioration de la qualité de vie est une attente clairement exprimée par des populations de plus en plus sensibles aux nuisances induites par la voiture, notamment le bruit et la pollution atmosphérique. L'incompatibilité entre un accroissement continu du nombre des déplacements et la pérennité du mode de transport dominant dans son usage actuel semble donc être avérée.

Si le chemin de fer et la voiture ont répondu aux besoins de mobilité à une période donnée, des difficultés se font jour. Aujourd'hui, les transports en commun constituent toujours une réponse efficace et adaptée pour les territoires denses et le *mass transit*. Mais, à l'instar du réseau viaire, le réseau des transports en commun n'a plus la réserve de capacité suffisante pour pouvoir absorber tous les flux. Le maillage est insuffisant en dehors des agglomérations, et le réseau est bien souvent saturé, y compris en dehors des heures de pointe. En effet, son dimensionnement établi par rapport au volume des flux domicile-travail est aujourd'hui dépassé, comme le démontre une enquête récemment réalisée par Keolis⁽²⁾, qui a mis en évidence la diminution de la part des déplacements domicile-travail, laquelle est estimée à 20 % de l'ensemble des déplacements. Compte tenu de la concentration d'emplois en Île-

de-France, cette proportion y est sans doute un peu plus élevée, mais cela indique une tendance générale : cela doit nous conduire à repenser notre façon d'appréhender la mobilité et, par conséquent, à adapter nos réponses, et mieux, à anticiper les besoins de demain.

Vers la reconversion de la route

La demande de mobilité est devenue plus exigeante, et elle sera de plus en plus complexe. Les rythmes de vie deviennent de moins en moins réguliers pour chaque individu, et de moins en moins synchronisés d'un individu à l'autre. Nos concitoyens attendent des réponses simples, rapides, performantes. Ils veulent s'affranchir des contraintes inhérentes aux déplacements. Il est évident que, peu flexibles ou trop contraignants, les modes actuels ne sauraient satisfaire ces attentes. En revanche, une multiplicité de modes offrant un panel de possibilités en fonction du motif de déplacement, de l'heure, du lieu, de la saison... apparaît séduisante. La période actuelle est transitoire. Elle s'intercale entre la fin d'un modèle devenu inefficace et l'émergence d'un modèle en cours de construction, une « mobilité sur-mesure » assortie d'un bouquet de services.

Nous l'avons bien compris, les transports monolithiques organisés en silos plus ou moins étanches sont devenus obsolètes. Comme nous l'avons évoqué précédemment, les caractéristiques des territoires, conjuguées aux attentes des habitants, dicteront les solutions de mobilité de demain. Quels seront le support et le mode privilégiés de cette mobilité ? Le réseau viaire, dense et irriguant finement l'ensemble du territoire francilien, est le support logique pour accueillir le ou les modes de déplacement d'avenir. Ce constat évident a longtemps été occulté par la crainte de voir la place de la voiture croître et, par voie de conséquence, renforcer la thrombose d'un réseau déjà très chargé. Pour autant, il opère un changement de paradigme ; la route serait-elle encore la solution ? C'est possible... Présenté ainsi, ce scénario pourrait confiner à la science-fiction. Mais la disponibilité immédiate des infrastructures nécessaires le rend crédible à court terme. Des bouleversements profonds sont envisageables, très rapidement.

Parallèlement à la réhabilitation de la route, de nombreux constructeurs, associés à des entreprises ou à *des startups*, ont engagé des recherches sur de nouvelles générations de véhicules, ayant compris que la voiture, sous une forme évolutive, serait toujours plébiscitée. La multiplication des expérimentations portant sur des véhicules autonomes et, demain, l'arrivée des robots-taxis en témoignent. Au fur et à mesure des retours d'expérience, ces véhicules se perfectionnent et leur déploiement à grande échelle, d'ici quelques années, est une quasi-certitude.

Ainsi, le système véhicules-infrastructures fait sens, c'est une première étape pour construire la réponse à la de-

(2) Étude « Mobilité au service des territoires » réalisée par Keolis en partenariat avec Villes de France, octobre 2017.

mande de déplacements accessibles à tous dans l'espace et le temps. Il est cependant indispensable d'aller plus loin.

Nous savons que le taux d'occupation moyen des véhicules est de 1,2 personne. On comprend dès lors assez facilement d'où vient la saturation actuelle du réseau. Un relèvement du taux d'occupation jusqu'à 1,8 passager suffirait à le désengorger. Faisons le pari qu'à la faveur du développement du covoiturage, motivé par l'accès à des voies dédiées ou par d'autres mesures incitatives, le taux d'occupation moyen des véhicules augmentera, libérant de la capacité sur le réseau routier. Dès lors, se pose la question du maintien de cet équilibre à travers le temps.

Instinctivement, la place ainsi libérée suscitera la convoitise. L'arrivée concomitante sur le marché de véhicules autonomes alliant confort, accessibilité, performance énergétique, gain de temps et sécurité provoquera un regain d'intérêt pour le véhicule particulier, qui ne tardera pas à prendre l'espace dégagé par les voitures « ancienne génération » et probablement à récupérer certains des utilisateurs des transports en commun. Et c'est là le paradoxe de l'engouement pressenti pour le véhicule autonome, qui, en l'absence de modification de nos comportements, c'est-à-dire si la pratique de l'auto-soliste continue de prédominer, provoquera à terme une hausse de la congestion du réseau de l'ordre de 20 à 30 % ! Outre la question de la saturation du réseau, cette situation s'inscrirait dans la continuité de la situation actuelle en termes de problématiques de stationnement, de « sur-occupation » de l'espace public et de surconsommation énergétique.

En créant les véhicules autonomes, les acteurs privés ont joué leur rôle de développeurs et ont redynamisé un secteur en crise. Ils ont aussi capitalisé sur les innovations du véhicule autonome pour transposer celles-ci aux navettes autonomes et pour investir ainsi un champ élargi de la mobilité. En ce sens, nous pouvons les considérer comme étant des précurseurs de la mobilité de demain. Mais la mobilité est aussi et surtout l'affaire de la sphère publique. Or, jusqu'à présent, celle-ci est restée plutôt en retrait par rapport à ces évolutions.

Quel rôle pour les acteurs publics ?

L'écart de temporalité entre l'action publique et l'intervention privée explique en partie le timide investissement des collectivités dans l'innovation en matière de mobilité. Elles cherchent à se positionner, mais elles sont tributaires de leur manque d'agilité, et leur statut limite leurs possibilités d'action.

Néanmoins, leur rôle de régulateur, d'organisateur et de décideur est capital pour l'organisation de nos déplacements. Le rapprochement entre les collectivités et les partenaires privés est indispensable, tant la complémentarité est forte entre ces deux secteurs. Les véhicules autonomes ouvrent des perspectives illimitées, à condition toutefois de sortir du seul usage individuel pour les raisons décrites plus haut.

La région Île-de-France et Île-de-France Mobilités, conscients du processus engagé et des enjeux de mobilité pour la collectivité francilienne, ont décidé d'encourager l'innovation et de soutenir des expérimentations portant notamment sur les navettes autonomes. De capacité réduite, ces véhicules affichent un fort potentiel pour assurer des déplacements aujourd'hui exclusivement pris en charge par la voiture individuelle, car ne correspondant pas au modèle économique des transports en commun. On le pressent, cette voie est prometteuse et doit donc être explorée plus avant. À moyen terme, la transformation des véhicules autonomes individuels en transports en commun semble être le seul modèle viable et économiquement compétitif, comparé à la voiture, pour assurer des liaisons « collectives » de faible flux. Leur flexibilité est adaptée aux demandes diffuses et à des contextes variés, tels que le transport à la demande ou le transport scolaire, et elle complète l'offre de transports en commun classique sur des segments où cette dernière n'est pas pertinente, tels que le franchissement de coupures urbaines, la desserte du dernier kilomètre pour garantir la prise en charge des voyageurs jusqu'à leur destination finale ou encore le désenclavement de zones blanches, principalement en grande couronne. L'organisation de circuits de rabattement vers les gares permettant de s'affranchir de la problématique du stationnement ou la desserte complexe de zones d'emplois très étendues sont autant de fonctions pouvant être remplies par les navettes autonomes.

Les actions combinées des véhicules de nouvelle génération et des infrastructures innovantes, intelligentes et connectées en interaction directe et permanente avec ces véhicules, tendent vers l'adéquation en temps réel de l'offre et de la demande grâce à la modularité du système (*platooning*). Dès lors, le véhicule autonome n'est plus réservé aux petits flux, mais se positionne clairement en tant qu'alternative aux transports en commun. Cette perspective peut inquiéter. Elle mérite donc que les collectivités se penchent sérieusement sur ce sujet pour préparer cette transition et la conduire aux côtés des acteurs traditionnels du transport public et de la route, dont les activités vont connaître un profond bouleversement.

Le changement est déjà amorcé et les décisions sont à prendre dès maintenant. À l'heure des choix, le rôle des pouvoirs publics est déterminant et stratégique, car outre la mobilité de demain, ces choix impacteront l'économie, nos modes de vie et notre rapport à l'espace et au temps. Se profilent déjà de nombreuses questions d'éthique et de révision de notre cadre législatif. Mais, dans le même temps, la période qui s'ouvre à nous s'annonce excitante et passionnante. Les enjeux sont majeurs en termes d'organisation urbaine, d'émergence de nouveaux usages, de préservation de l'environnement... Nous devons intégrer l'ensemble de ces considérations, mesurer l'acceptabilité pour nos concitoyens des changements à venir, faire preuve d'ouverture et être un peu visionnaires pour pouvoir prendre les bonnes décisions.

Quel futur pour le covoiturage ?

Comment surmonter les obstacles ?

Par Matthieu JACQUOT

Covivo

Curieux paradoxe que d'essayer de dessiner un futur pour le covoiturage, alors que celui-ci correspondait pourtant à un usage naturel des voitures au moment de l'avènement de l'automobile. Nous serions bien prétentieux de vouloir prédire l'avenir, tout au mieux nous nous bornerons à rappeler d'où nous venons et quels sont les différents futurs possibles.

Un usage, le covoiturage, dépendant de son support, l'automobile

Rappelons tout d'abord que le covoiturage se définit comme « l'utilisation en commun d'un véhicule terrestre à moteur par un conducteur et un ou plusieurs passagers, à titre non onéreux, excepté le partage des frais, dans le cadre d'un déplacement que le conducteur effectue pour son propre compte ». Cette définition fait son entrée dans le Code des transports par l'intermédiaire d'une loi de 2015⁽¹⁾. C'est-à-dire que du point de vue de l'État, le covoiturage était jusque-là un non-sujet, ou à tout le moins, il ne s'agissait pas d'une question liée aux transports ! Une autre manière de voir les choses est de dire que le covoiturage n'existait que de manière coutumière ou dérivée. Coutumière, au sens où cette pratique existe depuis que l'automobile est apparue. Dérivée, voire jurisprudentielle, au sens où le juge et le législateur ont eu à traiter du covoiturage dans d'autres matières, comme dans les Codes de la Sécurité sociale, des collectivités territoriales ou encore de l'environnement. À titre d'exemple, on peut citer le Code de la Sécurité sociale, qui précise qu'un accident de la route survenu au cours d'un détour occasionné par la prise en charge d'un passager dans le cadre d'un covoiturage régulier pour se rendre à son travail est considéré comme un accident de trajet et, qu'à ce titre, il ouvre les droits à indemnisation afférents. Néanmoins, rien n'indique ce qui va en soi permettre de qualifier la régularité d'un covoiturage, ni même ce qui relève d'un détour acceptable ; charge au juge, le cas échéant, d'en décider !

Ainsi le covoiturage, qui est une pratique bien installée, mais plutôt mal qualifiée, n'a été prise en compte dans les politiques publiques que très récemment.

Exception faite de la première « bouilloire automobile » de Ferdinand Verbiest (en 1668) ou du premier véhicule à vapeur de Joseph Cugnot (inventé en 1769), l'automobile est née dans l'idée d'en faire un moyen de transport de marchandises ou de transport collectif (neuf places pour la *London Steam Carriage*, et douze places pour *L'Obéis-*

sante d'Amédée Bollée, considérée comme le premier véhicule à avoir été commercialisé, en 1873). Grâce aux gains de puissance permis par l'usage du pétrole dans les moteurs à combustion interne, la révolution automobile était désormais en marche. Le fordisme a permis de démocratiser l'usage de l'automobile par toutes les classes sociales et a fait passer le nombre des voitures dans le monde de 250 000 en 1907 à 500 000 en 1914, dont la moitié était des Ford T sorties des chaînes de fabrication inspirées du taylorisme.

De 50 millions de véhicules avant la Seconde Guerre mondiale, le parc automobile mondial a atteint les 300 millions en 1975, après les Trente Glorieuses.

D'objet de production, l'automobile devient alors un objet de consommation. En effet, le taux d'équipement des ménages est tel que l'enjeu n'est plus tant de produire au meilleur coût que d'assurer le renouvellement du parc automobile. L'industrie automobile est tellement puissante que son évolution est révélatrice de l'évolution de la société tout entière : ce n'est plus à un besoin de déplacement auquel on cherche à répondre par la valorisation du travail et de l'innovation technique, mais à un besoin de reconnaissance sociale, d'affirmation de l'estime de soi dans une société de consommation modelée par les *marketeurs*.

Paradoxalement, ce sont les enjeux environnementaux qui marquent le retour en grâce des ingénieurs, auxquels on demande de créer des modèles devant permettre de réduire les émissions de CO₂ par kilomètre parcouru. Les « dieselgates » de Volkswagen, puis de Renault, de Fiat et de PSA ont montré que les limites fixées en matière d'émissions de CO₂ sont telles qu'elles semblent difficiles à respecter sans tricher. Vaste paradoxe que de devoir, norme après norme (Euro 1, 2... 6d), réduire toujours plus les émissions de polluants ou de CO₂, dont la limite

(1) Loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la Transition énergétique pour la croissance verte, article 52.



« L'obéissante », premier véhicule à vapeur (une diligence), construite en 1873 par Amédée Bollée, Paris, Musée des Arts et Métiers.

« L'automobile est née dans l'idée d'en faire un moyen de transport de marchandises ou de transport collectif (neuf places pour la *London Steam Carriage*, et douze places pour *L'Obéissante* d'Amédée Bollée, considérée comme le premier véhicule à avoir été commercialisé, en 1873). »

maximale a été fixée à 95 g/km d'ici à 2020 pour les voitures neuves ⁽²⁾. En effet, les directives et réglementations relatives à ce sujet se succèdent depuis 1990, mais aucune approche systémique n'a été retenue permettant de soutenir les politiques de partage de l'énergie : deux personnes par voiture permettent pourtant de diviser par deux les émissions de CO₂, alors que le taux d'occupation des voitures est resté stable sur la période, en tous les cas en France, c'est-à-dire un taux inférieur à 1,2 pour les déplacements liés au travail. Le potentiel de transport de 100 voitures est en gros de 500 personnes, alors que, dans les faits, elles n'en transportent que 120.

Seule une approche systémique peut donc permettre de diminuer les émissions polluantes.

Les obstacles au développement du covoiturage dans le contexte actuel

Le covoiturage est de nature très différente selon la typologie des déplacements. Il y a des déplacements professionnels, des déplacements domicile-travail, les autres déplacements du quotidien et, enfin, les déplacements sur de grandes distances.

Le covoiturage pour les grandes distances est installé dans nos pratiques depuis très longtemps : au départ,

sous la forme de l'autostop, mais l'individualisation de nos modes de consommation et parfois des questions de sécurité l'ont fait disparaître. Quelques services de substitution – parmi lesquels Allostop ou l'émission diffusée sur RTL « Les routiers sont sympas » – n'ont pas permis de développer un covoiturage notable à grande distance. Il faudra attendre le développement des plateformes collaboratives grâce à Internet pour que cela devienne progressivement une réalité tangible, tout d'abord réservée à la cible spécifique des étudiants. L'audience des sites dédiés s'est progressivement élargie. En dépit des nombreuses plateformes existantes dès les années 2000, il faudra attendre 2011 pour que covoiturage.fr (BlablaCar) finisse par s'imposer progressivement devant une *start-up* devenue depuis lors filiale à 100 % de la SNCF (Green Cove, puis Ecolutis, aujourd'hui commercialisé sous la marque iDVroom). De cette période, il subsiste encore aujourd'hui LaRoueVerte et RoulezMalin.com, mais aussi Covoiturage-libre.fr, qui, en tant que simple associa-

(2) Règlement (CE) 443/2009 du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009 établissant des normes de performance en matière d'émissions pour les voitures particulières neuves dans le cadre de l'approche intégrée de la Communauté visant à réduire les émissions de CO₂ des véhicules légers.

tion, s'impose en contre-modèle du dévoreur de capitaux qu'est BlaBlaCar.

Ce dernier affiche une communauté qui est incontestablement la plus large en Europe pour les trajets occasionnels (longue distance, en week-end), après avoir racheté les « numéros Un » allemand et hongrois, début 2015. Néanmoins, à ce jour, le covoiturage du quotidien (distances inférieures à 100 kilomètres), notamment les trajets domicile-travail (distance moyenne de 35,4 km)⁽³⁾, reste une pratique que les plateformes Web collaboratives ont du mal à traiter, et donc à capter (pour un covoitreur inscrit sur une plateforme, on estime qu'il en existe au moins cinq qui pratiquent le covoiturage de manière informelle – un covoiturage entre collègues ou personnes du voisinage). Les déplacements du quotidien représentent plus de 60 % des kilomètres parcourus, là où les « voyages », qui ne représentent que 1,3 % des déplacements, pèsent pour 40 % des distances parcourues⁽⁴⁾. Les services du covoiturage du quotidien n'ont donc pas encore rencontré leur marché, c'est sans doute la raison pour laquelle près de vingt *start-ups* de moins de quatre ans d'existence s'y attellent (pour la seule France).

Le numérique est une réalité. Il a permis quelques innovations technologiques dans le domaine, parmi lesquelles le covoiturage dynamique, dont les conditions d'émergence ont été parfaitement décrites par le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema), dans son étude de 2009⁽⁵⁾. Alors que ce concept a fait l'objet d'un brevet dès 1982, il faudra encore attendre vingt ans avant de voir mener les premières expérimentations, avec un basculement dû à l'avènement des *smartphones* (avec Avego, en 2009, devenu depuis lors Carma, et Covivo, en 2010, qui, aujourd'hui, exploite RoulezMalin). Nokia aurait pu être un « cygne noir » dans le domaine des services de mobilité, avec notamment la publication en 2007 par cette marque de téléphones de l'étude *Empty Seats Travelling*⁽⁶⁾ et le rachat de Navteq, peu de temps après, préparant ainsi la convergence indispensable au développement de services de mobilité en matière de *data*, de géolocalisation et de téléphonie. Désormais, dans le domaine, c'est Waze, qui, racheté par Google, expérimente ces solutions. BlaBlaCar, après avoir longtemps délaissé le sujet – préférant se concentrer sur ce qui lui paraissait être le plus rentable (commissions prélevées sur les covoiturages de grandes distances et *yield management*) –, est en quête aujourd'hui de nouvelles sources de rentabilité sur les distances du quotidien, dont le modèle économique reste sans doute fragile au regard de l'importance des capitaux à mobiliser.

Si les solutions techniques existent déjà, le succès du covoiturage quotidien, à l'instar de l'industrie automobile à partir des années 1980, ne résiderait-il pas avant tout dans l'approche *marketing* ?

Sans doute. Mais à lui seul, le *marketing* ne suffit pas à traiter la complexité. Or, traiter de la mobilité, cela revient à traiter de la complexité. Néanmoins, le *marketing* est une arme de différenciation commerciale évidente. Depuis 2016 (au moins), le mot « blablacar » fait l'objet de da-

vantage de requêtes sur le moteur de recherche Google que le mot « covoiturage » : cela montre bien que savoir imposer sa marque devient donc indispensable. Mais cela ne suffit pas à lever les freins d'ordres psychosociaux qui, pour l'essentiel, demeurent. Parfois même, le covoiturage ne fait que concurrencer le train : selon une étude de l'Ademe datant de 2015, 69 % des passagers en covoiturage auraient fait appel au rail⁽⁷⁾, à défaut d'avoir pu trouver une voiture.

- L'usage de la voiture est souvent une routine, au quotidien, qu'il est difficile de casser pour basculer vers un autre mode de transport : plus de 70 % des personnes interrogées se disent prêtes à pratiquer le covoiturage. Mais, dans les faits, les automobilistes s'imaginent plus facilement en conducteur qu'en passager.
- La voiture est toujours perçue comme un instrument d'un usage flexible permettant d'exprimer pleinement sa liberté (« où je veux, quand je veux »), en même temps qu'elle est un marqueur du rang social. Dans ces conditions, le covoiturage est perçu comme une contrainte qui s'accommode mal d'horaires flexibles et de lieux de travail multiples. Surtout, le covoiturage crée un lien de dépendance entre le passager et le covoitreur, et l'idée de passer d'un conducteur à un autre en dernière minute, en fonction des contraintes du moment, est trop anxiogène pour que cette pratique s'installe lorsqu'aucun autre mode de transport n'est disponible, comme « filet de sécurité ».
- Le coût réel de la voiture n'est pas intégré (en covoiturage, ce sont les frais de carburant qui sont partagés par les occupants, rarement davantage). Cela d'autant plus que, très souvent, les passagers supportent les coûts fixes de leur propre voiture restée « à la maison ».

En 1975, le philosophe autrichien Ivan Illich a montré qu'en prenant en compte non seulement le temps consacré à la conduite d'une automobile, mais aussi le nombre moyen d'heures de travail nécessaire pour l'acquérir et faire face aux frais qui y sont liés, la vitesse du bolide (dite « généralisée ») est de 6 km/h, soit... celle d'un marcheur ! En effet, un Américain consacrait à l'époque, en moyenne, 1 600 heures par an à sa voiture et ne parcourait chaque année que 10 000 kilomètres. En 2013, nous avons procédé à un calcul équivalent, et, en moyenne, la vitesse généralisée était d'environ 20 km/h, soit celle... d'un cycliste !

(3) Le nombre des déplacements domicile-travail est amplifié par la périurbanisation, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1280781>

(4) « La mobilité des Français », <http://www.wikiterritorial.cnfpt.fr/xwiki/wiki/econnaissances/view/Notions-Cles/LamobilitedesFrancais>

(5) « Le covoiturage dynamique », *Étude préalable avant expérimentation*, janvier 2009.

(6) *Empty seats travelling – Next generation ridesharing and its potential to mitigate traffic and emissions problems in the 21st century*, Nokia Research Centre, february 2007: <http://cts.cs.uic.edu/NRC-TR-2007-003.pdf>

(7) Enquête réalisée auprès des utilisateurs du covoiturage longue distance : http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/covoiturage_longue_distance-synthese.pdf

- Les femmes et les hommes sont par excellence des êtres sociaux. Mais le covoitureur est potentiellement un inconnu qui fait peur : c'est pour rassurer les covoitureurs que la communauté du covoiturage s'autoévalue en donnant des avis ou des notes, mais c'est aussi le piège d'une « ubérisation », dans laquelle le covoitureur devient un produit, qui doit se vendre sur une place de marché pour pouvoir engranger de potentielles économies.

Quelles sont les perspectives du covoiturage ?

Le premier scénario est celui d'un effondrement⁽⁸⁾. Les coûts d'accès à l'énergie (notamment ceux du pétrole) explosent (ils sont multipliés par 3 au minimum). L'économie mondiale, incapable d'en absorber les conséquences, entre alors en récession. Les déplacements se font de toutes les façons plus rares, car la production s'effondre et l'emploi devient l'exception en raison d'une robotisation qui va en s'accroissant.

Les valorisations de licornes comme Uber ou même Bla-blaCar ne résistent pas et les promesses de rentabilité à moyen terme ne suffisent plus à gagner la confiance des investisseurs dans un monde encore plus incertain et soumis à des tensions géopolitiques globales.

Le covoiturage s'impose par nécessité prenant la forme de l'autostop, soit au contraire celle de services très sécurisés, compte tenu de la montée de l'insécurité (cette insécurité est aujourd'hui un frein au développement du covoiturage dans certains pays, par exemple en Afrique du Sud).

Le deuxième scénario est celui de l'innovation technique. Devant l'augmentation prévisible du prix du pétrole, la filière automobile n'a pas attendu pour se réorganiser : de nouveaux acteurs émergent pendant que d'autres disparaissent. De même que Kodak n'a pas réussi à négocier le virage du numérique, certains constructeurs automobiles disparaissent, les nouveaux constructeurs sont ceux qui ont su capter les données d'usage pour en faire les vecteurs de leurs innovations techniques : Google, Tesla, Amazon (pour ne citer que les exemples les plus évidents). Les voitures deviennent électriques, connectées et autonomes, renforçant de fait la filière nucléaire. La robotisation permet d'abaisser les coûts de production des nouvelles technologies, le covoiturage n'a dès lors plus de raison de se développer massivement : les bouchons routiers carbonés deviennent décarbonés, mais les routines psychosociales demeurent.

Le troisième scénario est celui d'une prise en compte facilitée de la complexité, qui permet des bascules massives sur de nouveaux usages déjà à l'œuvre. Les finances publiques étant exsangues, les investissements dans de nouvelles infrastructures se raréfient : l'heure est donc à l'optimisation des infrastructures existantes, notamment des routes.

La voiture autonome « propriétaire » demeure en tant que voiture de luxe. Mais la voiture autonome sera avant tout

une voiture partagée, comme plusieurs analystes l'ont déjà mis en évidence. La question de savoir qui sera le conducteur ne se pose plus dans les mêmes termes, le covoiturage dynamique étant pris en compte automatiquement, au fil de l'eau, par des voitures elles-mêmes intelligentes. Le traitement des données devient central et la question n'est plus tant celle de savoir si nous avons les moyens de protéger notre vie privée contre les intrusions de Google que celle de savoir si nous ne préférons pas faire émerger des acteurs européens, à défaut de pouvoir faire confiance aux États eux-mêmes ?

La voiture autonome partagée permet d'abaisser le coût des déplacements, ce qui accentue le manque de compétitivité des transports en commun en site propre, d'autant plus s'ils ne sont pas autonomes. Se pose alors la question récurrente du financement du transport en commun, qui demeure l'un des modes de déplacement les moins dévoreurs d'espace urbain par rapport à la voiture ; l'optimisation de l'espace devenant également centrale dans un scénario où les villes continuent à se concentrer pour justement optimiser les déplacements entre les lieux de vie et les lieux de travail (ou de télétravail) !

Les Assises de la mobilité nous ont aussi donné à voir les pistes permettant de faire émerger les nouveaux services de mobilité complexes et la nécessité d'expérimenter pour bien comprendre les interactions entre les différents acteurs concernés par les usages de la mobilité : certification des covoiturages pour pouvoir en justifier la pratique auprès des tiers (État, collectivités, employeurs...), le droit à différents avantages (indemnités kilométriques covoiturage, stationnement, cadeaux, voies réservées aux modes partagés, péage inversé à l'image de la ville de Minneapolis qui différencie le tarif de sa voie *High Occupancy Vehicle* en fonction de son degré de congestion, ou encore les expériences hollandaises et celle qui est prévue, à Lille, en matière de *Rush Hour Management*).

Dans ces expérimentations, il reste aussi à imaginer le statut et la fiscalité de tous ces fournisseurs de services potentiels que sont les conducteurs en covoiturage, entre les deux extrêmes que sont les « esclaves des plateformes » et les citoyens solidaires participant au service public en lien avec les collectivités.

Difficile de prédire quel scénario a le plus de chances de se réaliser, même si le dernier que nous ayons cité est celui qui semble se dérouler aujourd'hui sous nos yeux. Dans les faits, selon les régions du monde, la résilience des pays et celle de leurs habitants face aux différents chocs économiques et écologiques diffèrent. Chacun de ces scénarios a donc des chances de devenir la réalité dans les vingt années à venir, quelque part sur la planète !

(8) Comment tout peut s'effondrer. Petit manuel de collapsologie à l'usage des générations présentes, *SERVIGNE Pablo & STEVENS Raphaël*, Éditions du Seuil, Collection « Anthropocène », avril 2015, préfacé par Yves Cochet.

The way out of institutional complexity: Transport for London (TfL)

Par Alex WILLIAMS

Director of City Planning, Transport for London

Cities are the economic powerhouses of nations, cultural and artistic hubs that draw in greater and greater proportions of the world population to exchange ideas and histories and create new lives, jobs, homes and growth. Yet, around the world, cities are grappling with the same problems – pollution, poor air quality, congestion, poor health, a lack of housing and patchy access to jobs and opportunities.

Transport is a key part of the solution to many of these issues. Affordable, reliable and safe transport services can unlock the power of transport to improve people's lives.

This is perhaps why there are many cities around the world where the way that people travel has become synonymous with the city itself. The Paris Metro, or New York's subway and iconic yellow taxis spring to mind.

But no other city is as recognised by its transport system as is London. Our red double deck buses, black taxi cabs and London Underground trains are known the world over, and our distinctive 'roundel' logo – which features on all of our services – is one of the world's most recognised brands.

I'm sure that many readers will know something of the history of London Underground – the most famous element of London's transport network. When it had been launched on a cold day back in 1863 as the 'Metropolitan Railway' between Paddington and Farringdon it was a revolutionary invention, which some detractors had been sure would spell the swift end of anyone using it.

Some 40,000 people travelled on the world's first underground passenger line. Some used it to get to their place of work, but the majority simply travelled in wonder at this new marvel of the Victorian age.

Since then the Underground network, affectionately nicknamed the Tube by generations of Londoners, has grown to 270 stations and 11 lines stretching deep into the Capital's suburbs, and beyond. We now have some of the most frequent services in Europe, state-of-the-art trains and stations and a new line – the Elizabeth line – opening later this year, which will revolutionise travel across London and radically improve accessibility.

This is supplemented by one of the world's most extensive bus networks, an expanding network of high-frequency suburban railways, one of Europe's biggest cycle hire schemes and other important elements that enable the

city to function and grow.

Indeed, the development of London into one of the pre-eminent world cities during the 19th, 20th and 21st centuries – both in geographical and economic terms – would not have been possible without the mobility provided by the Underground and other advancements in city transport.

Yet, the development of transport in London from 1863 to now does not follow a linear path of progress. Improvement and advancement were not, and are never, inevitable.

London's public transport had started to become unified, and its whole development a matter of public policy, with the founding of London Transport in 1933. Control over the transport system swayed with the political vicissitudes of the decades that followed, while serious investment slowly withered on the vine. London Transport was re-nationalised in 1984 and it is no coincidence that this came just ahead of 1985's abolition (by Margaret Thatcher's government) of the Greater London Council, the old form of regional government in London (that had been such a thorn in her side). The resulting direction of London Transport was then informed by national policies – of cost reduction and privatisation.



Photo © Miquel Gonzalez/LAIF-REA

Bus à impériale circulant dans Oxford Street (Londres).

« Our red double deck buses, black taxi cabs and London Underground trains are known the world over... »

The tragedy of the King's Cross fire, in 1987, which killed 31 people and injured 100 more, brought home to everyone the extent to which significant parts of London's transport network had become obsolete, dirty and unloved.

Immediate improvements were made after 1987, but the start of fundamental large-scale change had to wait another decade. A new government, in 1997, looked to a new model of city governance, with a Mayor and an all-embracing new body – Transport for London (TfL) – taking control of transport in London in 2000. The incorporation of the Tube into TfL and the 'Public-Private Partnerships' (PPP), which followed shortly after, brought private organisations into to partner in the wholesale modernisation of the Tube.

For the first time in decades there was a serious plan to modernise the Underground and reverse the decline that had been seen. It was a giant task, likened by a former Managing Director of London Underground as like "performing open heart surgery on someone running a marathon". Great improvements were set in train but eventually, the complexity, inflexibility and high costs of these arrangements was their downfall. The 'PPP' system on the Tube was dismantled and TfL and the Mayor forged ahead creating the type of integrated, reliable and high-performing transport system that we have today.

A huge leap forward came ahead of 2012, when we played a central role in ensuring the success of one of the best Olympic Games in history. This period saw major investment in preparation for the Games, including extending the Jubilee Tube line to the Games site, in Stratford, east London, and major capacity improvements on our 'Docklands Light Railway' service. This period also helped to hone our organisation's understanding of its role in the city as not only 'providing transport', but as supporting the economic growth and success of the city as a whole. Transport is not an end in itself. Rather, it is a key element in creating fairer, greener, healthier and more prosperous cities.

In London, our population continues to grow rapidly. The population is at a record level of 8.6m and it is set to reach 10.5 million by 2041. Housing is one of London's biggest challenges and over 50,000 new homes are needed each year to accommodate this growing population.

Transport investment is the key ingredient needed to unlock development, both at higher densities and in areas currently badly connected. New development can be used to fund transport infrastructure creating a virtuous circle.

That's why we are working with the Mayor to modernise, improve and extend public transport, create streets that are less dominated by motorised traffic and encourage greater sustainable and active travel.

To deliver this, we need to be a transport authority with the very highest levels of organisation and efficiency. There are perhaps five key elements that are enabling us to successfully meet the challenges that we face. They are accountability, integration, innovation, investment and co-operation.

We have a clear accountability to Londoners through the Mayor of London, who is the chair of TfL. Our organisation has existed under three very different Mayors – Ken Livingstone, the current Foreign Secretary Boris Johnson and our current Mayor Sadiq Khan. Mayor Khan has made tackling London's dirty air a key priority, which is why we have introduced a new 'toxicity charge' to restrict the dirtiest cars and are introducing an ultra-low emission which will be the toughest zone of its kind and will help encourage more and more people to get rid of more polluting vehicles and switch to alternative cleaner ways of travelling.

The Mayor, who has a huge direct political mandate, acts as a tremendous advocate for sustained investment in improving transport in London. Each Mayor has set out to demonstrate the crucial role that London has in the UK economy, and the role that transport has in London. This is a large part of the reason why we have been able to invest around £20bn in transforming transport over the last decade, and why the government has supported us in assembling the around £15bn more that is paying for the construction of the Elizabeth line.

The clear political accountability helps us become a better organisation because it fosters transparency. We must be able to prove and justify every decision that we make with regard to where Londoners' money is invested, which means we have to be highly attuned to what Londoners want us to deliver for them. In many respects we are a customer service business that happens to do transport.

And customers want integration. When customers pay for travel on the TfL network they know that the various parts of their journey – whether it is bus, underground, rail, Docklands Light Railway, tram – are all parts of an integrated transport network. Customer information, ticketing, and interchange between different services are all seamless and easy to understand.

This gives people confidence to travel, it gives reliable journeys and it means that people are more likely to leave their cars at home and use the public transport services that are available. It also means that investment to improve or modernise one part of the transport network that needs it can be provided from the business's overall budget.

For example, after taking over a number of under-used and unpopular suburban rail lines in 2007 we were able to bring them back into full use, clean up the stations and create new ones and introduce new trains and full-time staffing. London Overground is now one of the most popular and punctual railways in the country, with passenger numbers up 500 per cent.

It means that we are able to constantly flex our services to respond to new demand. Prior to its introduction, demand

for a 24-hour Tube service was clear – late night Tube use had increased at double the rate of day-time trips and Night bus usage had risen by 173 per cent since 2000.

Our Night tube services are playing a vital role in opening up London's night-time economy to a host of new opportunities, supporting around 2,000 permanent jobs and boosting London's economy by £77m a year.

The clear political accountability and integration that we have means that we can have the ability to innovate. We have the scale and the authority to focus on the end-user experience – so, unlike elsewhere, smart ticketing isn't undermined by competition between different operators, it was achievable because we have an effective monopoly and are here to serve the city.

We introduced Oyster in 2003, followed by contactless payment in 2014, which was developed in London and we remain the only major transport system in the world to offer this convenience to customers. Around 40 per cent of all pay as you go journeys made in London now use this new method of payment.

We have also developed SCOOT, an automated, intelligent traffic signal control system, which dynamically changes signal timings to best suit prevailing traffic conditions and reduce delays. It is now used at over 4,000 of London's 6,300 junctions.

But successful innovation is also about public bodies admitting that we need help from other innovators, particularly the tech sector, to continue to improve the travelling experience.

In 2007 we introduced our open data policy. This data includes transport schedules, expected arrivals, disruption, the availability of bikes on the cycle hire scheme, and real-time road traffic information.

This meant that those at the cutting edge of innovation could design products that people really want to use. Over 42 per cent of Londoners are using a travel app powered by TfL data, with over 600 apps and 12,000 developers.

This in turn has helped support new jobs and industry. And it's not just in London: some 60 per cent of our investment in transport in London supports economic activity outside London and we support as many as 60,000 UK jobs outside the capital.

We are making this case more strongly than ever, offering our support to other cities and demonstrating to government how we are working together on how to shape the development of rapid changes in technology that we are witnessing.

This is more important than ever, as the economic situation in Britain remains uncertain and investment from national government has now started to be constricted. In future TfL will no longer receive any operational grant from government, making London one of the only major cities in the world not to receive central government funding for its transport network.

This need to deliver the Mayor's ambitious agenda and support the city's growth whilst coping with reduced income presents a challenge. But one we are meeting. It has meant that we have had to accelerate the work to improve efficiency and reduce organisational complexity that has been going on within our organisation since the earliest days.

This has involved a comprehensive and tightly managed plan for making TfL more efficient, reducing management layers, eliminating duplication of work and merging functions like engineering, technology, planning, finance, communications (and many others).

This has been accompanied by us reducing the number of head of office buildings that we have around London – va-

cating expensive property in the very centre of the city and relocating to a smaller number of accommodation 'hubs' in other parts of the city. This has helped to co-locate different departments and specialisations, reducing the 'silo' working that can affect large organisations.

Last year, for the first time in history, we reduced our year-on-year operating costs by £153m and this year we are £194m ahead of our savings targets. Our financial plan continues that trajectory towards creating a surplus over the next five years. In the meantime, we continue to invest record amounts in improving transport in the city, supporting new jobs and homes and creating a greener, healthier and more accessible city for all.

L'organisation des transports dans la métropole de Londres : un historique de ses atouts et de ses difficultés

Par Christian FATRAS

Chargé du pôle Industrie, numérique et énergie du Service économique régional (SER) de Londres (DG Trésor)

et Pauline VIRLOUVET

Attachée Transports et industrie au sein du Service économique régional de l'ambassade de France au Royaume-Uni (DG Trésor)

L'organisation des transports de la métropole de Londres est très souvent citée en exemple par le reste du monde. Dotée du métro le plus ancien au monde, Londres bénéficie d'un réseau très étendu et intermodal et a su relever de nombreux défis du XXI^e siècle liés à la transition vers la croissance verte et à l'intégration de nouvelles formes de mobilité. Toutefois, la métropole de Londres pâtit d'un réseau surutilisé et éprouve de grandes difficultés à réaliser les grands projets d'infrastructure nécessaires à son désengorgement du fait de difficultés de financement et de problèmes de gouvernance. À l'image d'autres villes dans le monde, Londres va également devoir s'habituer à de nouveaux modes de mobilité et renouveler son organisation pour accompagner ce changement.

Une organisation des transports unique au Royaume-Uni

Un réseau dense et multimodal

La métropole de Londres se caractérise par un réseau de transport très développé et par une diversité des modes de transport disponibles : 11 lignes de métro (le mythique *Tube*, le plus ancien du monde), 675 lignes de bus, 2 lignes de tramway, 6 lignes de la DLR (*Docklands Light Railway*, transit léger sur rail) et 4 lignes d'*Overground* (de surface). Ce réseau s'étend sur toute la métropole londonienne, soit un territoire de 1 570 km², découpé en 9 zones de transport.

Ainsi, en 2017, 1,4 milliard (Md) de personnes ont emprunté le métro londonien et 2,25 Mds les bus. Londres se démarque également par une forte présence des vélos : 670 000 trajets sont réalisés chaque jour à vélo, soit le double d'il y a dix ans. Cela s'explique notamment par une forte implication dans ce sens des maires successifs. Le dispositif de location de vélos en libre-service (*Santander Bikes*), lancé en 2010 par le maire Boris Johnson, a connu un grand succès. Il regroupe aujourd'hui 11 500 vélos, sur 750 stations. La popularité de ce dispositif est soutenue

Modes de transport	En 2016, à Paris	En 2016, à Londres
Métro	16 lignes 302 stations 219 km de réseau	11 lignes 270 stations 402 km de réseau
RER	5 lignes 587 km 257 stations	Pas d'équivalent
Transilien	10 lignes 1 114 km 383 stations	Pas d'équivalent
<i>Docklands Light Railway</i> (DLR)	Pas d'équivalent	6 lignes 40 km 45 stations
<i>Overground</i>	Pas d'équivalent	4 lignes 86 km 112 stations
Bus	368 lignes 4 640 véhicules 5 954 arrêts	675 lignes 9 300 véhicules Plus de 19 000 arrêts

Tableau 1 : Comparaison des réseaux de transport entre Paris et Londres.

Source : STIF, RATP et Transport for London – TfL.

par une politique d'urbanisation favorable à l'utilisation des vélos. En parallèle, la ville de Londres est également connue pour son péage urbain (*Congestion charge*), mis en place en 2003, et qui concerne certaines catégories de véhicules entrant dans le centre-ville en semaine. Cela

Photo © MARY EVANS/RUE DES ARCHIVES



Emboutillage à Oxford Street, par Mary Koop.

« La métropole de Londres se caractérise par un réseau de transport très développé et par une diversité des modes de transport disponibles. »

visé à résoudre le problème de la saturation du trafic au centre de Londres. La forte densité de ce réseau s'accompagne d'un coût d'utilisation élevé : en moyenne, les Londoniens dépensent 72 £/semaine dans les transports⁽¹⁾, et ce sans compter tous ceux qui résident en dehors de Londres et qui viennent y travailler.

Londres brille ainsi par sa multimodalité, le tout sous la férule de l'autorité organisatrice, *Transport for London* (TfL).

Transport for London, l'autorité organisatrice des transports londoniens

Les transports de la métropole de Londres dépendent de la *Greater London Authority* (GLA), qui a autorité sur le corps fonctionnel *Transport for London* (TfL), à l'échelle locale, et du ministère des Transports (DfT, *Department for Transport*), à l'échelle nationale. L'organisation des transports recouvre ainsi deux échelons, Londres constituant un point nodal de l'organisation nationale des transports.

Il est important de savoir que le processus de décentralisation est récent : la création de la GLA est la consé-

quence de l'arrivée du Labour au pouvoir en 1997, qui propose la création d'une autorité locale, Londres étant la seule capitale de l'Ouest à ne pas disposer d'un gouvernement élu. Le *Greater London Authority Act* adopté en 1999 a créé cette autorité composée d'une Assemblée de 25 membres, avec, à sa tête, un maire élu⁽²⁾. La gouvernance de cette autorité est unique au Royaume-Uni. Le maire de Londres détient l'intégralité du pouvoir exécutif et doit rendre des comptes auprès de l'Assemblée, de manière régulière. La GLA a autorité sur TfL, l'agence organisatrice des transports à Londres. TfL est ainsi responsable de la prévision et de la gestion au quotidien du système de transport public de Londres, qui comprend les bus, le métro, la DLR, le tramway et les navettes fluviales. TfL s'occupe également de la gestion du péage urbain, de la maintenance des principales routes et du bon fonc-

(1) <https://visual.ons.gov.uk/london-household-spending-outstrips-the-rest-of-the-uk/>

(2) <http://researchbriefings.parliament.uk/ResearchBriefing/Summary/SN05817#fullreport>

tionnement des 6 000 feux de circulation, de la régulation des taxis et de la promotion d'initiatives pour les piétons et les cyclistes.

Si TfL assure en direct la gestion opérationnelle des lignes de métro, ce n'est pas le cas des lignes de bus et de DLR, dont la gestion est confiée à des opérateurs privés sélectionnés à la suite d'un appel d'offres. Ce système de franchises renvoie à celui qui a cours dans le reste du Royaume-Uni pour le transport ferroviaire. La maintenance du métro est confiée également à des opérateurs privés, Skanska s'occupant des 2/3 des lignes.

Les revenus de TfL sont tirés à la fois de la collecte des revenus tirés de la vente des tickets, des droits de péage urbain et des taxes payées par les taxis, mais également de revenus issus de la publicité et de la location de locaux. Ces revenus ne couvrant pas entièrement les coûts, les besoins de financement sont comblés par des bourses de la GLA (financée par le DfT – *Department for Transport*) et l'impôt sur les sociétés.

Le maire de la métropole a l'obligation de définir une stratégie sur laquelle les citoyens londoniens sont consultés. Trois stratégies sont parues jusqu'ici : en 2000, 2010 et

en juillet 2017⁽³⁾, cette dernière stratégie est actuellement soumise à consultation. Chaque stratégie vise à définir un cadre en précisant les points d'attention pour le mandat à venir. Sadig Khan, l'actuel Maire de Londres, a placé les transports au cœur de son objectif général de faire de Londres une ville moins polluée et tournée vers la croissance verte, en se concentrant sur la réduction du trafic des voitures et la promotion de la marche et du vélo et en veillant à ce que la question des transports s'intègre dans la problématique plus globale du logement et de l'emploi.

Une métropole reliée efficacement

Une réussite de l'intermodalité

Le système de transport de la métropole de Londres offre une complète intermodalité sur le plan des modes de paiement. En effet, en 2003, la municipalité a introduit l'*Oyster Card*, une carte de paiement utilisable quel que soit le moyen de transport emprunté. Dans le cadre de son programme *Future Ticketing*⁽⁴⁾, TfL a également autorisé, à partir de 2014, le paiement sans contact par carte bancaire, faisant de TfL le premier transporteur au monde à accepter ce mode de paiement, popularisant ainsi cet instrument de paiement auprès des autres commerçants. Outre le fait que ce mode de règlement permette au TfL de réduire plus encore ses coûts, il vient pallier les difficultés inhérentes à l'*Oyster Card* (coût fixe élevé, difficultés de remboursement). Le paiement par carte bancaire élimine ainsi la nécessité de disposer de toute autre carte additionnelle (ticket ou *Oyster*), et sa facturation dès le lendemain du jour d'utilisation permet ainsi d'intégrer très facilement toute offre promotionnelle ou réduction éventuelle liée au nombre de trajets réalisés. Le *daily cap* (le montant maximum débité sur une journée, soit 6,80 £ sur les zones 1 et 2) est également applicable aux paiements par carte bancaire. L'introduction de la billetterie électronique offre ainsi une vraie facilité de transport aux passagers et permet une grande fluidité dans le passage des voyageurs. En outre, pour TfL, l'utilisation de ces deux modes de paiement permet de recueillir immédiatement les données des voyageurs et de réaliser en temps réel une analyse des types de trajets les plus fréquemment empruntés et donc d'adapter son offre en conséquence.

Outre leur intermodalité, les transports londoniens sont cités en exemple pour leur grande accessibilité pour les personnes handicapées. Cet effort s'inscrit dans un cadre légal très développé à l'échelle nationale, qui a connu un coup d'accélérateur à l'occasion des Jeux olympiques de 2012. En effet, à cette occasion, l'autorité organisatrice, *Olympic Delivery Authority*, et la mairie de Londres ont présenté une stratégie⁽⁵⁾ visant à changer l'expérience que peuvent avoir les personnes handicapées des transports. La stratégie présentée en 2017 prévoit d'accroître



Photo © Peter Hiltz/HOLLANDSE HOOGTE-REA

Entrée dans une zone soumise au péage urbain, à Londres.

« La ville de Londres est également connue pour son péage urbain (*Congestion charge*), mis en place en 2003, et qui concerne certaines catégories de véhicules entrant dans le centre-ville en semaine. »

(3) https://consultations.tfl.gov.uk/policy/mayors-transport-strategy/user_uploads/pub16_001_mts_online-2.pdf

(4) <http://content.tfl.gov.uk/ppp-20140226-item04-future-ticketing.pdf>

(5) <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20120403080220> ; <https://www.london2012.com/publications/accessible-transport-strategy.php>

cet effort à travers plusieurs mesures : faire en sorte que l'accessibilité de plain-pied (*step-free*) du métro londonien soit portée à 40 %, contre 26 % actuellement, augmenter la capacité des voitures, améliorer l'accès aux bus pour les personnes se déplaçant en fauteuil roulant...

En parallèle, la mairie de Londres met en avant sa volonté de combiner les différents modes de transport pour répondre à la problématique du dernier kilomètre. Dans la continuité des deux mandats précédents, le maire actuel soutient le vélo et la marche (qui représentent respectivement 2 % et 20 % des déplacements quotidiens à Londres). Sept autoroutes cyclables traversent la capitale. Les infrastructures cyclables bénéficient d'un doublement de leur budget, avec la mobilisation sur cinq ans de 770 M£ : 2 nouvelles autoroutes pour vélos, 20 voies partagées entre piétons et vélos, ainsi qu'un pont dédié aux cyclistes sont programmés.

Ces initiatives s'inscrivent dans la volonté du maire actuel de mettre la qualité de l'air au centre des préoccupations de la métropole, en se fondant sur la promotion des transports publics.

Londres : une métropole confrontée aux défis du futur

Depuis son élection, en mai 2016, Sadiq Kahn annonce vouloir consacrer 875 M£ à l'amélioration de la qualité de l'air sur cinq ans, soit un doublement du budget dédié. Il a d'ailleurs déjà mis en place un système d'alerte à la pollution : ce dispositif permet d'émettre des messages de santé publique, mais il n'est assorti d'aucune mesure contraignante en matière de circulation automobile. 63 % des émissions d'oxyde d'azote à Londres proviennent des transports routiers ; les bus de Londres comptent pour 16 % de ces émissions. Le maire de Londres souhaite réduire le trafic routier londonien de 10 à 15 %, en 2040.

La principale mesure annoncée par S. Khan s'inscrit dans la lignée du péage urbain (C-Charge, 11,5 £/jour) instauré par son prédécesseur, Boris Johnson. Elle vise à appliquer une surtaxe (T-Charge de 10 £/jour) aux automobiles et aux poids lourds qui ne répondent pas au standard Euro4. Cette mesure est entrée en vigueur en octobre 2017 et sera remplacée en avril 2019 par l'*Ultra Low Emission Zone* (ULEZ), qui repose sur le même principe de taxation : pour pouvoir accéder dans le centre de Londres, sont soumis à une surtaxe de 12,5 £/jour les véhicules essence ne satisfaisant pas à la norme Euro4 et les véhicules particuliers diesel/poids lourds ne respectant pas la norme Euro6. Cela vient renforcer le dispositif de la *Low Emission Zone* existante (une taxe sur les poids lourds ne satisfaisant pas à la norme Euro4). Il faut toutefois noter que les conséquences de cette taxe en termes d'amélioration de la qualité de l'air sont controversées du fait d'un report du trafic à l'extérieur de la zone soumise à cette taxation.

L'engagement du maire actuel se manifeste également à travers sa volonté de favoriser les véhicules électriques lors du renouvellement des flottes de véhicules. D'ici à la fin 2020, un programme d'amélioration de la flotte existante de 5 000 bus sera lancé (pour 86 M£) en visant en

priorité les lignes desservant les quartiers affichant les plus hauts niveaux de pollution. 60 % du parc de bus seront ainsi mis en conformité avec la norme Euro6 et la totalité des nouveaux bus rouges à deux étages seront des bus électriques, hybrides ou fonctionnant à l'hydrogène. L'objectif est que l'ensemble de la flotte de bus soit zéro émission en 2037, et qu'en 2050, il en aille de même pour l'ensemble des véhicules circulant dans Londres.

Toutefois, les pouvoirs du maire sont fortement limités dans ce domaine. Il n'a ainsi pas obtenu l'introduction d'une prime nationale incitant au remplacement des véhicules diesel. Agir sur les transports n'est cependant pas suffisant pour pouvoir régler la question de la qualité de l'air, puisque 50 % de la pollution aux particules fines, à Londres, ne sont pas imputables aux transports. La fragmentation des pouvoirs du maire de Londres montre les limites de la politique des transports, qui s'imbrique non seulement avec des considérations environnementales, mais également avec des questions relatives aux infrastructures et au logement.

Londres s'est positionnée très tôt dans l'intégration des nouveaux usages de mobilité et dans l'ouverture aux innovations technologiques. Ainsi, la ville a une politique de données ouvertes qui a permis le développement de plusieurs applications et d'initiatives de niches pour des besoins auxquels TfL n'aurait pas pu répondre. Citymapper a ainsi été créé à Londres en 2011 en s'appuyant sur les données de TfL et est aujourd'hui un outil incontournable des transports londoniens. La Commission sur les transports a publié, le 13 février 2018, son rapport sur les transports du futur⁽⁶⁾, qui vise à répondre aux défis des transports de demain : voitures autonomes et connectées, développement de nouvelles applications et utilisation de drones.

Le défi posé par des transports surutilisés

Un réseau encombré à la limite de la rupture

Depuis 2013, les bus ont vu leur fréquentation se réduire, tout en assurant 2,26 Mds de voyages en 2016. Cette baisse s'explique notamment par le ralentissement de la vitesse des bus de 3 % sur les deux dernières années du fait de conditions détériorées sur les routes (embouteillages, travaux). Pour répondre à ce problème, le maire de Londres a inscrit dans sa stratégie pour les transports de 2017 sa volonté d'adapter les services de bus pour répondre à une demande changeante et d'en améliorer les temps de trajet et la fiabilité. De plus, il a étendu les tarifs Hopper qui offrent la possibilité d'emprunter, sur une durée d'une heure, deux bus ou deux trams à la suite, pour le prix d'un seul ticket.

De manière globale, les transports à Londres souffrent d'un réseau surutilisé, mais qui, paradoxalement, perd des passagers. En 2014, TfL avait ainsi prévu qu'il y au-

(6) <https://www.london.gov.uk/about-us/london-assembly/london-assembly-publications/future-transport-how-london-responding-technological-innovation>

rait 1,44 Md de trajets effectués en métro en 2018-2019. Mais, en mars 2016, ce chiffre a été revu à la baisse de 7 %, à 1,34 Md, et les dernières estimations tablent sur une baisse du nombre des passagers de 1 % au dernier trimestre 2017 (comparé à l'année précédente). Cette baisse s'expliquerait notamment par un changement dans les habitudes de mobilité des voyageurs : le télétravail est de plus en plus répandu et l'utilisation des applications du type Uber s'est fortement accrue. La diminution du nombre des passagers a des conséquences budgétaires pour TfL, qui s'attend à un déficit de 785 M£ en 2017 et qui devrait connaître en 2018-2019 une perte opérationnelle estimée à 968 M£ (7). La mairie de Londres estime que cette baisse a été atténuée par la décision du nouveau maire de la ville de geler les tarifs dans les transports londoniens. Mais cette décision aurait un coût de près de 640 M£, sur 4 ans.

En parallèle, cette baisse peut également s'expliquer par la problématique de la surpopulation dans les transports. Selon des données obtenues par l'équipe transport des *LibDems* à la GLA et par *LondonLovesBusiness* dans des requêtes *Freedom of Information* (8), il y a eu 237 retards dus à la surpopulation dans le métro en 2014-2015, qui se répartissent ainsi :



Figure 1 : Nombre de retards dus à la surpopulation en 2015 (9), par ligne du métro londonien.

La surpopulation à Londres s'accompagne également de fermetures temporaires de certaines stations pour des raisons de sécurité sur les quais. Ainsi, entre mars 2014 et février 2016, la station Oxford Circus a été fermée 219 fois pour cause de surpeuplement.

La métropole de Londres fait ainsi face au défi d'une surutilisation de ses transports, notamment dans certaines stations nodales. La question du financement des in-

frastructures dans un contexte national marqué par une volonté de se tourner en priorité vers les régions en difficulté du nord de l'Angleterre rend le futur des projets d'infrastructures (pourtant nécessaires) très incertain. Ce défi se heurte à la limitation du pouvoir du maire de Londres, qui dépend en grande partie de l'échelon national pour le financement des grands projets d'envergure.

Un futur incertain pour les grands projets d'infrastructures

Ces difficultés budgétaires viennent remettre en cause le financement de projets nécessaires à la survie du réseau des transports londoniens. Plusieurs projets ont ainsi déjà été repoussés faute de financement, comme l'extension de la ligne *Metropolitan* et l'introduction de nouveaux trains sur les lignes *Jubilee* et *Northern*, faisant craindre un surpeuplement accru aux heures de pointe. Face à ces problèmes, TfL met en avant deux projets emblématiques : une nouvelle ligne, *Crossrail* (RER d'est en ouest), ouvrira en 2019, mais elle devrait être très rapidement saturée et se traduira par une hausse des prix du fait d'un fort dérapage du coût de ce projet (14,8 Mds£). De fait, *Crossrail* ne permettra pas de résoudre le problème de saturation des transports, puisqu'il répondra seulement à la hausse de la demande. Un second projet, *Crossrail 2* (un RER reliant le nord au sud), est également en discussion, mais son financement se heurte à de grandes difficultés. Ce projet, qui est évoqué depuis les années 1970, a été relancé au début des années 2000, mais son coût a rapidement grimpé, atteignant 31 Mds£ (selon certaines estimations), soit le double de celui de *Crossrail*. TfL devrait en financer la moitié, des opérateurs privés le reste. Mais ces financements semblent être très difficiles à trouver, en particulier dans un contexte budgétaire tendu. Le projet est donc actuellement repoussé. Cependant, sa non réalisation pourrait avoir de graves conséquences : selon une étude de TfL, 17 stations de métro connaîtront des difficultés opérationnelles sévères si rien n'est fait d'ici à 2030. Ces stations pourraient en effet être régulièrement fermées, ce qui ferait perdre à Londres une partie de sa compétitivité à l'échelon international.

(7) <https://www.ft.com/content/946204de-0dbb-11e8-8eb7-42f857ea9f09>, article du 11 février 2018 (consulté le 12 février 2018).

(8) <https://tfl.gov.uk/corporate/transparency/freedom-of-information>

(9) <https://www.capgemini.com/gb-en/2016/05/just-how-overcrowded-has-transport-in-london-become/#>
Données issues des requêtes FOI.

Mobilités du futur : le Grand Paris Express ouvre la voie

Par Philippe YVIN

Président du directoire de la Société du Grand Paris

Métro automatique et 100 % accessible, le Grand Paris Express permettra de transporter 2 millions de voyageurs chaque jour, avec, en moyenne, une rame toutes les deux à trois minutes et une vitesse commerciale de circulation de 55 km/h. Mais si ce nouveau métro est aujourd'hui tant attendu, c'est parce qu'il viendra relier directement entre eux les territoires de la banlieue parisienne, sans obliger les voyageurs à passer par le centre de la capitale. C'est une véritable révolution pour les mobilités du quotidien, notamment face à la saturation du réseau actuel ! Le Grand Paris Express construit « Paris Puissance 2 » : il repoussera les limites de la métropole du Grand Paris et affirmera de nouvelles centralités et de nouvelles solidarités entre Paris, la petite et la grande couronnes et les territoires périurbains de l'Île-de-France. Surtout, ce nouveau métro anticipe les mobilités de demain en portant l'ambition d'une ville innovante, une ville technologiquement connectée, une ville qui place l'humain au cœur du projet urbain.

Construire un métro n'est pas en soi une nouveauté : la première ligne du métro parisien a été mise en service le 19 juillet 1900, après la construction des métros de Londres, New York, Chicago, Budapest, Glasgow, Boston et Vienne. À l'époque, la principale motivation de leur construction était déjà d'apporter une solution durable aux difficultés croissantes dues à la saturation des transports publics en surface. Et pourtant, à bien des égards, le Grand Paris Express s'annonce comme une étape décisive pour les mobilités du futur et comme un tournant dans l'histoire de la métropole. Le chantier du siècle qui démarre sous nos yeux est un concentré d'innovations et de mutations qui vont de la gestion même des travaux aux bénéfices apportés aux habitants une fois ce nouveau réseau mis en service.

Un métro en rocade pour faire de la métropole du Grand Paris, un « Paris Puissance 2 »

200 kilomètres de lignes – dont 90 % en souterrain –, 68 gares, dont la conception mobilise 37 cabinets d'architectes : voici la carte d'identité du Grand Paris Express. Sa longueur est du double de celle de *Crossrail*, son petit cousin de Londres. Métro automatique et 100 % accessible, il permettra de transporter 2 millions de voyageurs chaque jour, avec, en moyenne, une rame toutes les deux à trois minutes et une vitesse commerciale de circulation de 55 km/h. Mais si le Grand Paris Express est aujourd'hui tant attendu, c'est parce qu'il viendra relier directement entre eux les territoires de la banlieue, sans obliger les voyageurs à passer par le centre de Paris. C'est une vé-

ritable révolution pour les mobilités du quotidien, notamment face à la saturation du réseau actuel ! Dès lors, les gains de temps seront considérables et les transports en commun s'imposeront comme une évidence dans les mobilités du Grand Paris de demain. Ainsi, il faudra à peine plus de 15 minutes pour relier le plateau de Saclay, principale concentration de la recherche française, à l'aéroport d'Orly, contre 1 heure 24 minutes aujourd'hui. Le temps de trajet sera divisé par deux entre la gare Noisy-Champs (94) et l'aéroport Charles-de-Gaulle. On pourra aller de Bagneux (92) à Saint-Quentin (78) en 40 minutes, contre plus d'une heure, aujourd'hui. Certains territoires sortiront de leur isolement pour prendre toute leur place dans la métropole. Ainsi, depuis la gare de Clichy-Montfermeil (93), le nombre des lieux d'emploi accessibles en 45 minutes de transport en commun sera multiplié par 11 grâce au nouveau métro (passant de 313 200 emplois en 2009 à 3 433 300 emplois en 2030). Les cloisons tombent, enfin !

Le Grand Paris Express construit un « Paris à la puissance 2 ». En repoussant les limites de la métropole, il affirmera de nouvelles centralités et de nouvelles solidarités entre Paris, les villes de la petite et de la grande couronnes et les territoires périurbains de l'Île-de-France. Le fait que 80 % des gares de ce nouveau métro soient en interconnexion avec les réseaux existants (métro, RER, TER, lignes de tramway, de bus...) permettra de générer des effets bénéfiques allant bien au-delà des seules communes proches de son tracé. On pourra ainsi aller de Bussy-Saint-Georges (77) à Villejuif/Gustave-Roussy (94) en 38 minutes, contre 1 heure 16, actuellement. De Rambouillet à Saint-Quentin-Est (78), le temps de parcours passera de 55 à 32 minutes. On gagne-

ra 20 minutes entre Saint-Martin-en-Goële et Chelles (77), entre Yerres (91) et Pont-de-Sèvres (92) ou encore entre Courcouronnes (91) et Antony (92).

Une conduite de projet appelée à devenir une référence

La solidité du projet de nouveau métro repose, naturellement, sur l'importance de l'investissement et sur son modèle de financement. Mais, au-delà, elle est le fruit d'une méthode, celle du dialogue en continu. Ce qui peut paraître une évidence est, dans ce cas précis, un petit miracle, tant un projet d'une telle ampleur risquait de se fracasser sur la première alternance politique venue. Chacun a en mémoire de grands projets d'infrastructures qui se sont enlisés faute d'un large consensus... Le Grand Paris Express a su fédérer autour de lui tous les acteurs politiques, économiques, sociaux et culturels. Résultant de l'un des plus larges débats publics jamais menés en Europe, il est né de la rencontre entre deux projets de réseau de transport, l'un étant porté par l'État et l'autre par la région Île-de-France. Les élus des communes desservies sont étroitement associés à la vie du projet grâce au comité stratégique de la Société du Grand Paris, et le conseil de surveillance permet une gestion partagée entre l'État et les élus.

La co-construction est inscrite dans l'ADN du nouveau métro, la Société du Grand Paris a pour mission de faire vivre ce dialogue et cette concertation à tous les étages. Un conseil scientifique des économistes rassemble dix experts reconnus à l'échelle internationale pour leur compétence scientifique dans les domaines de l'économie urbaine et de l'impact économique et social des grandes infrastructures de transport. Un conseil d'évaluation du Grand Paris Express a pour mission d'apprécier les effets du projet dans ses aspects économiques, urbains, sociologiques et territoriaux. Un comité d'experts des programmes artistiques accompagne la Société du Grand Paris dans la construction de son projet culturel.

La construction du métro a également donné naissance à deux observatoires indépendants, l'un sur les prix du foncier et de l'immobilier dans les quartiers des gares, l'autre sur la part occupée par les PME dans les marchés de travaux du Grand Paris Express.

Cette méthode, qui pouvait au départ surprendre, a, au final, fait du Grand Paris Express un projet partagé. Ce qui était indispensable pour permettre l'acceptation de travaux titanesques qui dureront plusieurs années dans un tissu urbain extrêmement dense.

Une concentration de tunneliers encore jamais atteinte en Europe !

En juillet 2016, l'histoire du Grand Paris Express a franchi une étape décisive, avec le démarrage du premier chantier de génie civil, à Fort d'Issy-Vanves-Clamart (92). Depuis, les étapes s'enchaînent. Les premiers tunneliers du Grand Paris Express entrent en action en 2018 dans le Val-de-Marne. Pour réaliser la seule ligne 15 Sud, une dizaine de ces trains-usines sera mobilisée. Au total, au plus fort des chantiers, 21 tunneliers creuseront le sous-sol de la métropole. Du ja-

mais vu en Europe ! Cette concentration exige une connaissance la plus fine possible du sous-sol francilien : plus de 6 000 sondages géotechniques ont été réalisés avant le passage des tunneliers, et les mouvements des sols font l'objet d'une surveillance satellitaire, grâce à l'interférométrie. Nous serons également confrontés à un autre défi de taille : la gestion des déblais, avec pas moins de 45 millions de tonnes de terre qu'il va falloir caractériser, évacuer, transporter, stocker ou valoriser. Enfin, la conduite de ces travaux pose un autre défi exceptionnel, celui des compétences humaines à rassembler ! Au plus fort des chantiers, le Grand Paris Express va mobiliser 15 000 emplois à temps plein, chaque année. Et la Société du Grand Paris veut que cette dynamique en faveur de l'emploi soit accompagnée d'un effort d'insertion sans précédent. Plus que jamais, la construction du Grand Paris Express s'affirme bien comme étant un chantier hors norme, le plus grand et le plus beau chantier du siècle.

Un métro pour faire métropole

Les chantiers de génie civil se généralisent sur la ligne 15 Sud. Avec eux, le projet du Grand Paris Express devient réalité et démontre, par ses enjeux économiques et urbains, qu'il est bien plus qu'un réseau de transport. Véritable colonne vertébrale de la métropole, le nouveau métro est un projet éminemment urbain. Déjà, aux abords des 68 nouvelles gares, on dénombre pas moins de 540 000 logements, dont 30 % de logements sociaux. Les gares sont aussi des leviers permettant de densifier la ville et de combattre un mal bien francilien : l'étalement urbain. Dans certains cas, comme à Bagneux (92), à Issy-les-Moulineaux (92), à Créteil (94) et à La Courneuve (93), des projets immobiliers attenants aux gares sont portés par la Société du Grand Paris et les collectivités locales.

Autre illustration : le projet Inventons la métropole du Grand Paris, le plus grand concours d'aménagement et d'urbanisme en Europe, qui mobilise 7,2 milliards d'euros d'investissements privés, prévoit la construction de 14 290 logements. Dix-neuf de ces 51 projets se situent dans les quartiers entourant les gares du Grand Paris Express, à Saint-Denis Pleyel (93), à Antony (92), à Vitry-sur-Seine (94)... Au-delà de leur audace architecturale et de leurs innovations constructives, ces projets sont annonciateurs d'une métropole engagée dans l'économie circulaire et dans la transition énergétique. À cet égard, les espaces entourant les gares deviennent des lieux stratégiques pour faire émerger une ville plus fluide, plus intelligente : un nouveau modèle de la ville européenne du XXI^e siècle, une ville française nouvelle qui donne aussi toute sa place à l'innovation culturelle et sociale, et à la participation des habitants.

Un modèle pour l'intermodalité

Les espaces publics entourant les gares du Grand Paris Express seront à la fois des lieux de vie et des lieux d'échanges entre les différentes formes de mobilité. Ces morceaux de ville ponctueront le réseau et structureront la métropole. Mais réussir l'intermodalité est un défi, si l'on veut offrir à toutes et à tous des conditions d'accès à la gare et de correspondances qui soient sûres, efficaces et confortables, de jour comme de nuit, et ce, en toutes saisons. Pour relever ce défi,

la Société du Grand Paris a mis en place, dès 2015, en lien avec Île-de-France Mobilités, des comités de pôle regroupant tous les partenaires, tous les acteurs de ces 68 « places du Grand Paris ». Pour chaque pôle, une étude a été lancée pour définir, en deux ans, un programme d'actions à mener sur les espaces publics entourant les gares. Dans le même temps, Île-de-France Mobilités a renouvelé sa vision de l'intermodalité en adaptant le triptyque traditionnel « stations bus/stationnement vélos/parc relais » afin de l'élargir à tous les besoins de services et à toutes les solutions de transport des voyageurs, ainsi qu'aux nouvelles mobilités. De son côté, la Société du Grand Paris a engagé une démarche inédite, avec l'Atelier des places du Grand Paris. Son objectif : définir une vision globale et garantir une cohérence dans l'aménagement des abords des gares. Ce travail aboutira à des principes qui seront adressés à l'ensemble des maîtres d'ouvrage, des propriétaires et des gestionnaires de voirie. Il s'agit, partout, de bien prendre en compte les besoins de l'intermodalité, des cheminements piétons, du positionnement des abris vélos aux points d'arrêt pour les bus et des aires de dépose-reprise, sans oublier des espaces de rencontres pour le covoiturage et l'auto-partage, en préparant d'ores et déjà l'arrivée du véhicule autonome... En décloisonnant les approches et en faisant l'éloge de la souplesse, ces préconisations permettront d'aborder la place de chaque gare dans sa ville et dans l'ensemble urbain, et d'offrir à tous une ville « à vivre à temps continu ».

Carrefours des mobilités, les places du Grand Paris offriront, dans une logique de « suite de services », des aménités répondant aux besoins en perpétuelle évolution des voyageurs. L'enjeu est d'optimiser les temps de parcours des Franciliens et de faciliter leur vie quotidienne grâce à la mise à leur disposition, à l'intérieur et aux abords des gares, d'espaces dédiés aux commerces et à des services de proximité.

Auto, métro, vélo !

Le nouveau métro anticipe les mobilités de demain. Il prend en compte le recul de la voiture individuelle, dont l'usage sera de plus en plus recentré sur les besoins strictement nécessaires : ceux des professionnels, des actifs travaillant en horaires décalés ou contraints, des personnes ayant des besoins spécifiques. L'usage de la voiture a diminué de 13 % en Île-de-France depuis 2001, et cette régression s'accroît depuis 2010, alors que, parallèlement, les déplacements à vélo ont augmenté de 195 %. L'auto-partage, le covoiturage et les mobilités innovantes, qui ont émergé au cours des 15 dernières années, continueront à se développer.

Encouragées, accompagnées et anticipées, ces évolutions prendront sans doute des allures de révolution, notamment avec l'avènement des véhicules autonomes. Certains experts prédisent une mutation complète du parc automobile d'ici à 2040. À cet horizon, la conduite humaine deviendra marginale et sera, sans doute, considérée comme dangereuse. Les véhicules autonomes, partagés, propres par définition, contribueront à atteindre les objectifs de réduction des émanations de gaz toxiques et à effet de serre. Si certaines questions restent en suspens, par exemple sur la régulation à mettre en place pour assurer un bon équilibre entre modes de transport collectifs et modes de transport

individuels autonomes, ces nouvelles mobilités vont avoir de nombreuses incidences sur l'aménagement des espaces entourant les gares du Grand Paris Express. On voit ainsi émerger un nouveau modèle économique et social de la ville à travers la mobilité innovante, avec, en ligne de mire, une ville intelligente et intuitive.

Un vecteur de lien social

Une ville innovante n'est pas seulement une ville connectée technologiquement, c'est aussi une ville qui place l'humain au cœur de son projet urbain. Le Grand Paris Express constitue une formidable opportunité de créer, à travers ses places, de nouveaux espaces de vie. Demain, la communication entre les humains et les objets, intensifiée par un débit numérique de plus en plus performant, transformera nos comportements, nos besoins et nos usages. Selon le concept de « chrono-urbanisme » (faisant le lien entre l'espace et le temps), chacun doit disposer à moins d'un quart d'heure de chez lui d'un accès aux besoins primaires, secondaires et tertiaires : se loger, travailler, se nourrir, se distraire, se soigner. Les quartiers des gares du Grand Paris se trouvent ainsi au carrefour de tous les enjeux de la ville de demain. Chacune des 68 gares du nouveau métro annonce ces métamorphoses. Avec, à chaque fois, un contexte et des enjeux particuliers. À Nanterre-La Folie (92), la gare mettra en relation la future gare du RER E et celle de la ligne 15 du Grand Paris Express avec les nouveaux quartiers. Une continuité physique – une passerelle rejoignant une promenade longue de 700 mètres – est assurée entre ces deux ouvrages d'art et entre eux et l'espace public. La gare elle-même a été conçue avec des effets de transparence pour créer une porosité avec la ville. À Chelles (77), la gare sera située au carrefour des lignes E du RER, P du Transilien et de la ligne 16 du Grand Paris Express. Elle va ainsi contribuer à la valorisation du quartier environnant et à l'amélioration de sa qualité de vie.

De l'art de ralentir

Les gares du Grand Paris Express faciliteront toutes les mobilités, tout en offrant aux voyageurs la possibilité de s'offrir une petite pause dans leur rythme effréné, une nécessité. Elles favoriseront aussi notre capacité à nous émouvoir, à contempler, à appréhender autrement l'espace public. Dès le début, la Société du Grand Paris a placé l'ambition culturelle et artistique au cœur de son projet. Pour chacune des gares, architectes et artistes travaillent en tandem. Et sur le parvis de chacune d'elles, sera planté un arbre-témoin venant signaler l'appartenance de la gare au réseau du Grand Paris Express.

68 arbres pour 68 gares : un projet artistique à connotation environnementale et sociale (les habitants des villes desservies étant invités à adopter un arbre et à en prendre soin), s'inspirant des édicules Art nouveau de l'architecte Hector Guimard (1867-1942), qui, aujourd'hui encore, viennent signaler l'accès à certaines stations du métro parisien.

68 arbres pour nous rappeler le rythme des saisons, la nécessité d'une utilisation raisonnée des ressources naturelles et l'importance, à travers le végétal, d'améliorer la respiration en ville.

Les nouveaux services interurbains d'autocars : un atterrissage en douceur, ou un atterrissage en catastrophe ?

Par Laurent GUIHÉRY

Professeur à l'Université de Cergy-Pontoise, Laboratoire Mobilité, Réseaux, Territoires et Environnement (MRTE)

Le succès des autocars interurbains (services librement organisés, ou SLO) est incontestable, mais ce succès repose sur un modèle économique très déficitaire, ce qui est peu connu du grand public. Après avoir procédé à un état des lieux récent de la situation des SLO, nous nous efforcerons de lever le voile sur le niveau des pertes financières des acteurs de ce marché très concurrentiel et nous proposerons des pistes de solutions pour tenter de redresser la barre et imaginer un atterrissage en douceur.

L'irruption en 2015 des services librement organisés (SLO) d'autocars interurbains a modifié le paysage du transport de voyageurs sur longue distance en France. BlaBlaCar, acteur indépendant et innovant dans le co-voiturage, avait déjà bien ébranlé le monopole de la SNCF, et l'État, toujours aux petits soins pour son colosse tentaculaire, se devait de réagir. La baisse du pouvoir d'achat des Français et le niveau élevé des prix des TGV pour les jeunes et les voyageurs les plus modestes ont constitué le moteur de la croissance de ces nouveaux services qui ont fait de la France un leader mondial et un espace d'expérimentation à grande échelle des nouvelles mobilités. Avec le TGV et sa déclinaison *low cost* Ouigo, avec les *low costs* aériens en plein essor, la France offre un marché particulièrement innovant pour le transport interurbain de voyageurs, mais aussi très concurrentiel. Au-delà de cette grande diversité des offres, sans oublier la voiture particulière qui reste très dominante, la question de la soutenabilité économique de ces offres reste posée. Nous savons que l'offre ferroviaire absorbe une quantité impressionnante de capitaux publics (ECALLE, 2011). Qu'en est-il de l'offre SLO ? Fait-elle, elle aussi, appel à des subventions publiques ? Dans le marché actuel à trois opérateurs, quelle sera sa manière d'atterrir, en catastrophe – avec une concentration du secteur que l'on a pu observer en Allemagne, où Flixbus est en situation de quasi-monopole – ou en douceur – avec une optimisation et une rationalisation de l'offre de SLO ?

L'objectif de notre contribution est, après avoir présenté les développements prometteurs de ce nouveau secteur,

de nous interroger sur la soutenabilité financière de leur exploitation. Si le grand public est impressionné par la diversité et le nombre des opérateurs sur le marché (Ouibus, filiale de la SNCF ; Flixbus, acteur privé en situation de quasi-monopole en Allemagne ; Isilines, filiale de Transdev), mais aussi par la forte concurrence intermodale – le fer, la route et l'aérien *low cost* –, beaucoup ignorent le niveau de rentabilité de l'exploitation de ces différents modes. Or, en France, l'autocar interurbain perd à ce jour beaucoup d'argent, ce qui nécessite, pour Ouibus, une recapitalisation – et donc l'appel aux contribuables. Quelle est la soutenabilité à terme de ce marché ? Ne va-t-on pas observer une concentration des acteurs ? Quelles perspectives, pour ce secteur, dans une Europe en quête de cohérence économique et financière ?

Une mission pour les services librement organisés d'autocars : contre BlaBlaCar !

Vu de l'extérieur, la France offre un marché du transport interurbain de voyageurs particulièrement innovant, mais aussi très concurrentiel (GREMM et GUIHÉRY, 2016 ; GUIHÉRY, 2017).

Du côté de l'innovation, elle possède un leader mondial des innovations de services de mobilité, avec BlaBlaCar (pour le co-voiturage). De nombreuses *start-ups* profitent de cet environnement très favorable, du côté de l'auto-partage, de l'autostop coopératif (Rezopouce) ou des applications Web et pour *smartphones*. La SNCF est, elle

aussi, de ce point de vue, devenue particulièrement innovante en termes de services et de communication. Mais cela s'est fait au détriment de son métier de base, à savoir la production de services ferroviaires de qualité, innovants, ponctuels et avec une forte fréquence de service... et aussi, bien sûr, bon marché comme cela doit être la règle pour tout mode de transport massifié.

Ces nouveaux services de mobilité reposent sur des modèles d'affaires de l'économie de l'Internet que l'on retrouve dans la gestion des flottes d'autocars et dans les stratégies commerciales et tarifaires des acteurs de la mobilité interurbaine par autocars, comme Flixbus ou Ouibus (gestion de la clientèle automatisée, *Yield Management* (c'est-à-dire une tarification modulée en temps réel en fonction du remplissage des véhicules), contrats de sous-traitance optimisés et applications Web et mobiles performantes).

Du côté de l'offre de services de transport de voyageurs, celle-ci est très diversifiée en France : voitures individuelles et co-voiturage (avec un très bon réseau d'infrastructures de transport), une offre TGV qui, après avoir commencé à reculer en termes de voy.km, a récemment reconquis des voyageurs grâce au programme d'abonnement TGV Max⁽¹⁾, qui a tout d'une offre *all inclusive*, grâce à une politique tarifaire de petits prix (Prem's) et grâce à une offre de TGV *low cost* Ouigo particulièrement efficace en termes de remplissage⁽²⁾. La SNCF ne cache pas sa satisfaction de voir revenir une clientèle qui avait déserté le train – les jeunes, surtout –, mais cela s'est fait au détriment de la rentabilité. Rappelons enfin que la stratégie Ouigo vise, pour la SNCF, à empêcher toute entrée d'un nouvel opérateur sur le marché TGV, comme c'est le cas en Italie, avec deux opérateurs de grande vitesse présents sur le réseau (Trenitalia et NTV (*Nuovo Trasporto Viaggiatori*)-Italo). Enfin, en France, les *low cost* aériens connaissent une forte croissance : ils sont plébiscités par le grand public, proposant des tarifs parfois inférieurs à ceux de l'offre TGV classique. Et, en août 2015, est enregistrée l'arrivée des SLO, trois ans après leur apparition en Allemagne, où ils ont été empruntés par près de 25 millions de voyageurs, en 2017.

En termes plus quantitatifs, le marché français de la longue distance voyageurs s'élève à 126 milliards de voy.km en 2015 (CROZET, 2017). La moitié est réalisée par le transport ferroviaire de voyageurs (61,6 milliards de voy.km, dont 54,1 pour le TGV). Les autocars de tourisme affichent un résultat surprenant, bien que peu mis en avant dans les médias, avec 40 milliards de voy.km, ce qui indique bien que la France possède une histoire⁽³⁾ de l'autocar interurbain et un tissu sectoriel dynamique et largement implanté sur le territoire. Le transport aérien réalise 14,3 milliards de voy.km, et les SLO près de 10 milliards de voy.km.

La connaissance du secteur des autocars interurbains est grandement facilitée par l'Autorité de régulation des activités ferroviaires et routières (Arafer), qui a confié à un observatoire interne le recensement des flux et le suivi de l'analyse sectorielle (ARAfer, 2017 et 2018). Chaque trimestre, un rapport très exhaustif dresse un état des lieux du secteur des SLO, tout en analysant son impact sur

les autres modes, comme les TER. Au-delà de 100 kilomètres, le service est totalement libéralisé. En dessous de 100 kilomètres entre deux points d'arrêt, l'offre de service est soumise à l'expertise de l'Arafer pour savoir si elle ne se fait pas au détriment d'un service public de transport, de type RER ou réseau urbain, par exemple.

La croissance des flux est impressionnante : à la fin 2016, ce sont 6,3 millions de voyageurs qui ont été transportés (ARAfer, 2017). Au troisième trimestre 2017, ils ont été 2,16 millions (+ 29 % par rapport au trimestre précédent et + 8 % par rapport au même trimestre de l'année précédente, toujours selon l'Arafer (2018)). On observe désormais une vraie saisonnalité des flux, avec de fortes variations (pouvant atteindre jusqu'à 15-20 %) en fonction des saisons et des vacances scolaires. L'Arafer note aussi une certaine optimisation des flux du point de vue du nombre des villes desservies : au troisième trimestre 2017, on a enregistré 270 villes françaises desservies par l'offre des autocars interurbains et 244 villes desservies par les trois opérateurs développant un réseau en France (1 603 liaisons directes ou indirectes, dont 87 % opérées par Flixbus (65 % de l'offre des liaisons commercialisées), Ouibus (42 % de l'offre) et Isilines (31 % de l'offre de liaisons)). Paris est la ville la plus desservie, avec 410 mouvements d'autocars par jour, devant Lyon et son aéroport Saint-Exupéry. Un tiers des villes desservies ne voit passer un autocar que deux fois par jour (ou moins).

Tout porte à croire que l'offre des autocars interurbains atteint aujourd'hui un seuil du fait d'une volonté d'optimiser les flux et de leur trouver une rentabilité. Le surdimensionnement de l'offre est étudié très précisément par les opérateurs, qui adoptent des stratégies différentes et se partagent implicitement le marché national : réseau de villes moyennes pour Flixbus, à l'image de ce qui a fait son succès en Allemagne, et liaisons à fort potentiel pour Ouibus. Le taux de remplissage s'améliore : au quatrième trimestre 2016, le taux d'occupation moyen des autocars s'élevait à 36 %. En 2017, il s'établit à 50 % (et même à 56,2 % au troisième trimestre 2017, selon l'Arafer (du fait de la mise en œuvre d'une nouvelle méthode de calcul)). Toujours dans cette recherche de rentabilité, on observe une augmentation des prix : l'Arafer indique, pour le troisième trimestre 2017, que la recette moyenne par passager s'établissait à un niveau de 4,9 € HT pour 100 kilomètres, pour un trajet moyen de 325 kilomètres (soit 15,9 € HT par trajet). Elle est de 22 % plus élevée qu'à l'été 2016. Le chiffre d'affaires du secteur atteint 34 millions d'euros (HT), en hausse de 24 % par rapport à celui du troisième trimestre 2016.

(1) Abonnement TGV Max (79 €/mois) pour les moins de 28 ans, élargissement de la gamme Prem's...

(2) Par contre, la gestion des files d'attente à l'embarquement laisse franchement à désirer, en termes de sécurité et de confort.

(3) Avec le réseau d'autocars Citroën et Renault, la France possédait un maillage très précis du territoire dans l'entre-deux-guerres. Mais, face aux déficits croissants du mode ferré, suite à la crise de 1929, il a été décidé (décret R. Dautry) de concentrer l'offre autour du mode ferroviaire, les bus devenant peu à peu subsidiaires du chemin de fer, en continuité d'une gare ferroviaire terminale. La Fondation Berliet (Lyon) garde une mémoire de cette histoire prestigieuse.

L'Arafer insiste aussi sur un point délicat du lancement des SLO : les services de TER ne sont pas menacés. « Au 31 décembre 2016, 56 liaisons (hors Migratour) étaient commercialisées par les opérateurs, sur une distance inférieure à 100 km. Environ 7 500 passagers ont été transportés sur les liaisons inférieures à 100 kilomètres commercialisées au quatrième trimestre (hors liaisons navettes et Migratour), ce qui représente 2 % des passagers transportés sur les 42 lignes longue distance intégrant ces liaisons », et moins de 1 voyageur/autocar, en moyenne, selon l'Arafer (2017).

Enfin, 2 282 emplois à plein temps ont été créés, dont 86 % d'emplois de conducteur (Arafer, au 30 septembre 2017).

Le fer ayant laissé passer sa chance, l'autocar construira-t-il l'Europe ?

Au niveau européen, le transport interurbain par autocars occupe de plus en plus la place laissée vacante par le transport ferroviaire qui a réduit son offre, en particulier pour les trains de nuit. Il n'est pas rare, aujourd'hui, de voir les étudiants se rendre en autocars interurbains dans une capitale européenne pour rejoindre une soirée Erasmus. Ainsi, Eurolines, Flixbus et Ouibus et beaucoup d'autres encore du côté de l'Europe de l'Est se muent peu à peu en acteurs européens, franchissent des frontières, étudient une croissance externe pour atteindre une masse critique sur le continent européen. Ce n'est pas nouveau : dans les années 1950, l'ancêtre d'Eurolines, Europabus, avait développé un réseau européen et international de près de 200 lignes, circuits et excursions, soit une offre totale de près de 100 000 kilomètres, avec 26 pays desservis.

Alors que depuis 20 ans la grande réforme européenne des chemins de fer vise à réaliser un marché ferroviaire intégré, ce sont plutôt les autocars interurbains qui sont en train de la réaliser, avec la route comme infrastructure support, ce qui est dommage, non seulement car le bilan environnemental des autocars interurbains est plus défavorable que celui des trains, mais aussi et surtout en termes de sécurité : les risques d'accidents graves sont en effet plus importants sur la route que sur les lignes de chemin de fer.

Cette grande réforme ferroviaire européenne vise, rappelons-le, à relancer le moteur d'une nouvelle intégration européenne en s'appuyant non seulement sur une interopérabilité technique (les corridors Fret, les réseaux TEN-T (réseaux transeuropéens de transport) pour la grande vitesse ferroviaire, en lien avec le Livre blanc de l'Union européenne sur les transports de 2011, le standard d'interopérabilité ferroviaire ERTMS (*European Rail Traffic Management System*), mais aussi et surtout sur une interopérabilité culturelle (mixité d'entreprises ferroviaires différentes dans les États membres, interdépendances ferroviaires, échanges de compétences, concurrence par comparaison...). Cette stratégie d'expansion européenne des opérateurs d'autocars interurbains s'est confirmée, très récemment, avec la signature, à la fin 2017, de nombreux contrats de type *interlining* (classiques, dans le transport aérien), en particulier chez Ouibus : ainsi, la fi-

liale de la SNCF a signé un partenariat avec trois sociétés d'autocars au Royaume-Uni (National Express), en Espagne (Alsa) et en Italie (Marino Bus), ce qui lui permet de proposer une offre commune sur dix pays visant 300 destinations (*Les Échos*, 13/12/2017). Ces trois sociétés distribueront les offres de leurs partenaires. En termes d'offres, les différents opérateurs devraient s'organiser autour de logiques de *Hub and Spoke*, ce qui permettra d'optimiser les interconnexions et de renforcer la communication auprès des publics très mobiles au niveau européen.

On ne peut donc que déplorer le fait que le mode ferroviaire ne soit pas le support de cette européanisation des flux. N'assisterions-nous pas face à la passivité de la SNCF en matière d'innovation dans la production ferroviaire en France⁽⁴⁾, face à son refus borné de s'inscrire dans les logiques concurrentielles soutenues par l'Union et face aux dérives financières d'un monopole jusqu'alors sans tutelle, à une revanche de la route ?

Une concurrence intermodale généralisée : quelles issues pour les SLO ?

Le système de transport en France a bien du mal à respecter un minimum d'équilibre financier : c'est particulièrement vrai pour le fer, mais ça l'est aussi aujourd'hui pour les SLO, qui accusent des pertes importantes et nécessitent, comme pour Ouibus adossée à la SNCF, une recapitalisation importante. La multiplication des offres intermodales – SLO, BlaBlaCar, TGV – pourrait faire évoluer le système de transport vers une logique du « tous perdants », avec une guerre des tarifs, une concurrence accrue qui, *in fine*, affaiblirait tous les acteurs, pousserait à une plus forte concentration et nécessiterait pour les acteurs publics, majoritaires, de faire appel à des subventions publiques toujours plus importantes.

Du côté du fer, l'incapacité de la SNCF à réaliser des gains de productivité et à maîtriser ses coûts de production ferroviaire hypothèque l'avenir de tout le système ferroviaire français : on parle d'inflation ferroviaire pour qualifier la situation du ferroviaire français. Cette sous-productivité chronique amène un inquiétant dérapage des coûts : 6,3 milliards d'euros de subventions par an, pour 150 000 salariés, soit environ 42 000 euros par salarié et par an. Et si l'on ajoute 3,3 milliards pour les retraites et les transferts à SNCF Réseau (environ 3 milliards d'euros), on obtient alors une somme proche de 13 milliards d'euros⁽⁵⁾, soit 85 000 euros/salarié, avec une progression continue qui atteint 80 % depuis 2000, soit deux fois plus que celle du PIB nominal (CROZET, 2017). La dette dépasse les 40 milliards d'euros et devrait rapidement atteindre les 60 milliards (J. Rapoport, *Mobilette*, mai 2016).

(4) Voir, à ce sujet, le dernier rapport « À la reconquête de la robustesse des services ferroviaires », juillet 2017.

(5) Voir, à ce sujet, le très bon article de François Écalle « La SNCF sous perfusion », paru le 13 décembre 2017 sur *LeNouvelEconome.fr*, qui a amené d'ailleurs, chose rare, un droit de réponse de la SNCF, le 16 janvier 2018, puis une nouvelle clarification de François Écalle, le 16 janvier 2018.

Du côté des opérateurs de SLO, le discours (certes volontariste) est à une recherche d'un équilibre financier, dont on aperçoit les premiers résultats dans une meilleure optimisation de l'offre. Mais combien de temps trois opérateurs indépendants pourront-ils tenir sur ce marché très concurrentiel ? Ainsi, selon Mobilicités (octobre 2017), Ouibus enregistrerait 45 millions d'euros de pertes⁽⁶⁾ en 2016 pour 45 millions d'euros de chiffres d'affaires et une estimation de 30-35 millions d'euros de pertes en 2017 (*Les Échos*, septembre 2017). Sur une base de 40 millions d'euros de pertes en 2016 pour 2 millions de voyageurs transportés, cela conduit d'emblée à une perte de 20 euros par voyageur, à chaque siège vendu ! Flixbus ne publie pas ses comptes, mais vise la rentabilité en France, en 2018. Certains travaux de recherche en cours (GREMM, GUIHÉRY, 2017) montrent même que des transferts financiers ont lieu entre la maison-mère de Flixbus, qui est bénéficiaire en Allemagne, vers Flixbus France.

Comme nous l'avons évoqué précédemment, les opérateurs adaptent leur modèle économique pour tenter de résorber ces déficits : Ouibus abandonne peu à peu ses opérations en propre pour y substituer le modèle fondé sur les franchises et les sous-contractants qui fut à la base du succès de Flixbus. L'idée de créer une première classe devrait aussi apparaître.

Rentrons dans le détail pour l'année 2016, mais aussi pour le troisième trimestre 2017, grâce au travail remarquable que réalisent l'Arafer et son observatoire du marché⁽⁷⁾. À partir de ces données, nous savons que :

- 6,1 millions de voyageurs ont été accueillis en 2016 et 2,17 millions au troisième trimestre 2017.
- Le chiffre d'affaires du secteur est de 83,1 millions d'euros⁽⁸⁾ (34 millions d'euros, au troisième trimestre 2017).

Les nombres de voyageurs.km et de bus.km sont donnés.

FRANCE	2016	3 ^e trimestre 2017
Voyageurs (millions)	6,1	2,16
Chiffres d'affaires (CA)(millions €)	83,1	34
CA /voyageur (€)	13,60	15,7
Voyageurs.km (millions)	2 085	693
CA/voyageurs.km (€)	0,039	0,05
Facteur de remplissage	38 %	48 %
Bus.km (millions)	113	28
CA/bus-km	0,74 €	1,2 €
Coût (€/bus.km)	2	2
PERTE (€/bus.km)	- 1,26 €	- 0,8 €
PERTE (millions €)	- 142 millions €	- 22 millions d'€ soit, en tendance, 90 millions d'€ sur l'année 2017
Pertes/voy. (en €)	- 23 €	- 10 €
Recettes moyennes par trajet	15,5 € HT	15,9 € HT
Distance moyenne parcourue	329 km	325 km

Source : CROZET, 2017 ; ARAFER, 2018 ; propre calcul.

Une donnée n'est cependant pas présente dans les rapports de l'Arafer : le coût d'exploitation au bus.km. En puisant dans différentes recherches, on peut estimer ce coût à 2 €/bus.km (en gras, dans le tableau ci-contre (CROZET, 2017 ; GREMM, GUIHÉRY, 2017)).

Les résultats de notre évaluation du bilan économique du marché des SLO en France sont présentés dans ce même tableau pour l'année 2016, mais aussi pour le troisième trimestre 2017 (dernières données disponibles).

On peut déduire du tableau qui précède que :

- le niveau des pertes est en effet élevé (142 millions d'euros pour l'ensemble du marché SLO, en France, en 2016), sur la base d'un coût d'exploitation de 2 €/bus.km. Il semble s'améliorer au troisième trimestre 2017 (90 millions d'euros de pertes, en tendance, sur 2017) ;
- trois stratégies doivent être combinées pour réduire ces pertes : baisser les coûts d'exploitation au bus.km. Au troisième trimestre 2017, avec un coût d'1,2 € au bus.km, il n'y a plus de pertes, mais cela implique des ajustements de coûts difficilement réalisables. Aussi faut-il augmenter les recettes (et donc le prix du billet, sans perdre des voyageurs, évidemment) et le remplissage des bus, ce que l'on observe depuis quelques mois, avec une stratégie de Flixbus très orientée dans ce sens.

Conclusion

Le succès des autocars interurbains est au rendez-vous, c'est incontestable. Mais ce succès repose sur un modèle économique très déficitaire, ce qui est peu connu du grand public. Avec le transport ferroviaire, dont l'instabilité financière hypothèque le grand projet européen porté par la France et l'Allemagne, les SLO ne renversent pas la tendance, ce qui est dommageable pour bâtir une confiance indispensable avec nos partenaires européens les plus proches. La situation s'améliore néanmoins, en écho avec les engagements pris dans ce sens par les opérateurs.

Une différence importante avec nos partenaires européens s'observe dans la place centrale des acteurs publics, en France, avec Ouibus, filiale de la SNCF, et Isilines-Eurolines, filiale de Transdev (détenu par la Caisse des Dépôts et Consignations). À l'inverse, Flixbus est un acteur privé (fonds d'investissement allemand et américain), il ne peut donc faire appel à la garantie de l'État et des contribuables. Comme pour le ferroviaire, un des défis à venir est de trouver un équilibre sur le marché européen entre acteurs publics et acteurs privés, dans le respect des règles du jeu communautaire : distorsions de concurrence, abus de position dominante, subventionne-

(6) Avec un cumul de 130 millions d'euros de pertes depuis 2013 (*Les Échos*, décembre 2017).

(7) Notons d'ailleurs que l'Arafer a récemment publié un rapport très exhaustif sur le secteur ferroviaire français, ce qui renforce les comparaisons intermodales et la recherche : <http://www.arafer.fr/le-ferroviaire/les-indicateurs-du-transport-ferroviaire/indicateurs-du-transport-de-voyageurs/>

(8) À titre de comparaison, le chiffre d'affaires du marché allemand (liaisons nationales) serait de 284 millions d'euros pour 16,6 millions de voyageurs en transport national – et 24 millions en tout, avec l'international (GREMM, GUIHÉRY, 2017).



Photo © Wolfgang Steche/VISUM-REA

Gare d'embarquement de la compagnie allemande FlixBus, gestionnaire de lignes de transport de passagers sur de longues distances.

« FlixBus s'efforce d'augmenter le remplissage de ses bus, et donc ses recettes, pour mieux couvrir ses coûts d'exploitation. »

ment d'activités concurrentielles susceptible de dresser *in fine* les nations les unes contre les autres (EUCKEN, 1914). À l'avenir, il semble indispensable qu'une régulation européenne puisse s'affirmer dans ce secteur, car les opérateurs d'autocars évoluent peu à peu vers le statut d'acteurs européens, passent des frontières et rentrent dans des logiques et des stratégies européennes de croissance.

Bibliographie

EUCKEN W., *Die Verbandsbildung in der Seeschifffahrt*, dissertation, Universität Bonn 1914, 118 pages.

GREMM C. (Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Volkswirtschaftslehre) & GUIHÉRY L. (2017), "New intercity coach services in Germany and France: can they make money?", *Long-distance passengers transport: market, planning, innovation*, Milano Politecnico, 29 septembre 2017.

GREMM C. (Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Volkswirtschaftslehre) & GUIHÉRY L. (2016), « Impact des nouveaux services d'autocars interurbains sur la compétitivité du ferroviaire allemand : enseignements pour la France », Colloque « La compétitivité des chemins de fer et des cheminots », 6-7 octobre, Maison des Sciences de l'Homme, Dijon (publication en cours).

Union européenne, Commission européenne, Livre blanc « Transport », 2011.

ARAFER, *Rapports d'activité trimestriels et annuels des SLO (Observatoire)*, 2016, 2017 et 2018.

ARAFER (2017), *Bilan du marché du transport ferroviaire de voyageurs en France pour les années 2015 et 2016*,

novembre.

CROZET Y. (2017), « Les autocars et le marché voyageurs longue distance : un jeu "perdant-perdant ?" », *Ville Rail et Transport*, n°605, novembre.

CROZET Y. & GUIHÉRY L. (2017), "Developments of Coach Services in France: 'Much Ado about Nothing?'" , *Thredbo Conference*, Stockholm, August.

ÉCALLE F. (2017), « La SNCF sous perfusion », *Renouvellement*, 13 décembre.

FONDATION BERLIET, Lyon.

FRESSOZ M. (2017), « Ouibus : 45 millions de chiffre d'affaires pour 45 millions de pertes en 2016 », *Mobilicités* (<http://www.mobilicites.com/>), 20 octobre.

GUIHÉRY L. 2016, « Nouveaux services d'autocars interurbains en France : après l'euphorie, quelques perspectives à la lumière de l'expérience allemande », *Revue Transports*, n°499, pp. 5-12.

Ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique, « Loi pour la croissance, l'activité et l'égalité des chances économiques – Bilan de l'application de la loi, un an après », rapport, août 2015-août 2016.

Mobilette, mai 2016.

Les Échos, *Mobilicités*.

NEIERTZ N. (2000), « La coordination des transports en France, de 1918 à nos jours », Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Paris.

VALEO AU CŒUR DES RÉVOLUTIONS DE L'INDUSTRIE AUTOMOBILE



Jacques Aschenbroich,
Président Directeur Général de Valeo

L'automobile vit-elle aujourd'hui sa plus grande révolution depuis le moteur à explosion ?

L'industrie automobile est actuellement bouleversée par trois révolutions fondamentales et simultanées : la voiture électrique, la voiture autonome, et la mobilité digitale avec des services développés par des startups comme BlaBlaCar, Drivy, Karos, Uber etc... C'est la première fois qu'on voit autant de révolutions impacter une industrie à une telle vitesse. Chez Valeo, nous sommes très bien positionnés à des niveaux de la chaîne de valeur bien définis sur chacune de ces trois révolutions. Nous sommes en train de devenir leader mondial sur les moteurs électriques et l'électronique de puissance pour les véhicules électriques. Nous sommes le leader mondial dans les capteurs (capteurs ultra-sons, caméras, lasers, scanners, radars...) qui sont les oreilles et les yeux pour la voiture autonome, mais également sur les logiciels permettant de fusionner les différentes données recueillies par ces capteurs. Valeo développe enfin des solutions digitales pour les acteurs de la mobilité comme la clé virtuelle qui peut être transmise de smartphone à smartphone, ouvrant de nouvelles perspectives à la location de voiture et aux gestionnaires de flottes.

Quelles sont les innovations que Valeo est entrain d'imaginer pour la voiture électrique?

Valeo est en train de s'imposer comme

le leader mondial de voiture électrique et hybride. Nos technologies permettent de couvrir tous les usages et tous les segments de véhicules, de la petite citadine à la berline premium. Nous avons l'ambition de rendre l'électrique accessible au plus grand nombre ; c'est le sens du prototype que nous avons présenté au dernier CES de Las Vegas : un véhicule électrique citadin potentiellement beaucoup moins cher car fonctionnant à basse tension. Nous faisons partie des leaders mondiaux pour tout ce qui concerne les équipements capables de contrôler thermiquement la batterie au lithium-ion. Aujourd'hui nos innovations permettent de gérer avec plus d'efficacité l'interface entre les cellules et le pack de la batterie. Créée il y a plus d'un an avec Siemens, notre joint-venture Valeo-Siemens est spécialisée dans le moteur électrique et les systèmes de propulsion haute tension : l'onduleur, le chargeur et le redresseur. Avec 10 milliards de commandes, notre co-entreprise est donc très bien placée au niveau mondial d'un point de vue technique mais aussi compétitif.

La voiture de demain sera-t-elle 100% électrique et sera-t-elle un jour capable d'offrir le même confort d'autonomie que les voitures thermiques ?

Dans un univers à 10 ans, il y aura, c'est certain, une croissance très forte de véhicules électriques, une décroissance importante de véhicules diesel et une relative stabilité de véhicules à essence au niveau mondial.

L'accroissement du nombre de véhicules électriques touchera dans un premier temps les marchés européens et chinois. Démocratiser son usage implique encore de grosses avancées techniques. L'augmentation de la capacité de stockage d'énergie, la réduction du temps de charge et le coût des batteries sont des enjeux majeurs qui évoluent sans cesse.

De notre côté, nous travaillons à optimiser l'autonomie des véhicules électriques grâce à nos technologies de gestion thermique des batteries au lithium-ion ou à celles permettant de réduire la consommation la gestion thermique des véhicules.

Concernant la voiture autonome, à quels marchés est-elle liée ?

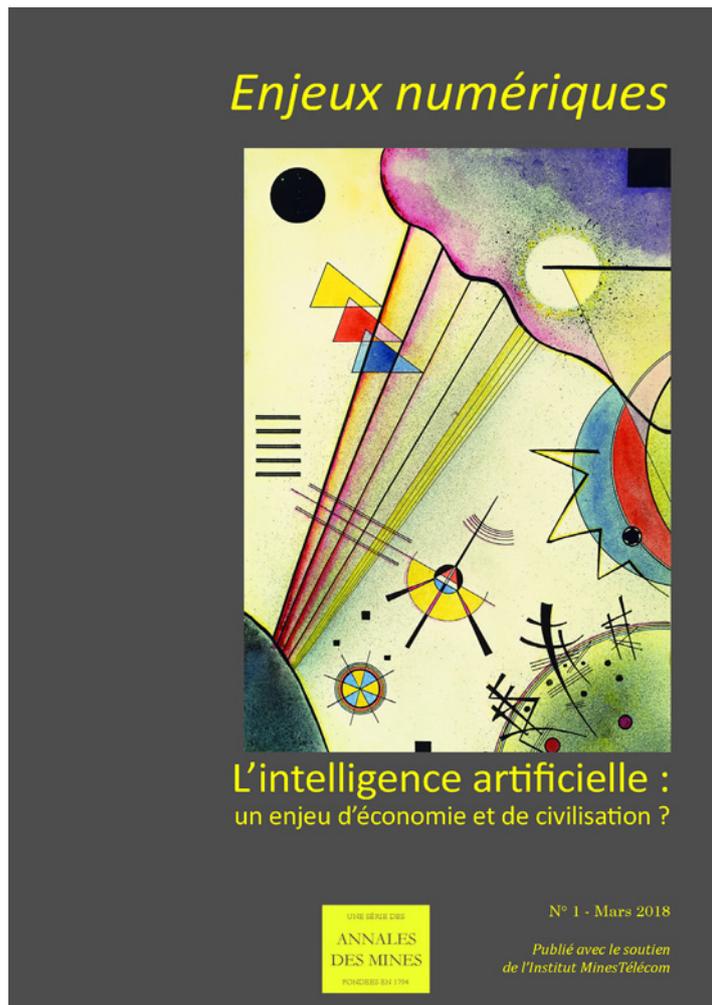
Il y a, d'un côté, les véhicules à usage collectif, comme les navettes autonomes ou les robots-taxis autonomes.

Nous sommes à cet égard partenaires de la start-up française Navya qui dispose déjà de plusieurs navettes autonomes, équipées de nos capteurs, capables d'assurer un service de mobilité. Ce type de navettes et les robots taxis vont se démocratiser à travers le monde.

Il y a, de l'autre côté, les véhicules individuels qui vont progressivement devenir plus autonomes dans certaines situations de conduite. C'est déjà le cas pour les manœuvres de parking, puis ce sera sans doute bientôt le cas dans des situations comme les embouteillages sur périphérique ou encore la circulation sur autoroute.

ENJEUX NUMÉRIQUES

L'intelligence artificielle, un enjeu d'économie et de civilisation



Enjeux numériques / Digital issues
Une nouvelle série, des ambitions renouvelées
Jean-Pierre DARDAYROL

Introduction
Jacques SERRIS

Accompagner la dissémination de l'intelligence artificielle pour en tirer parti
Yves CASEAU

Finance et intelligence artificielle : une révolution en marche
Claire CASTANET et Camille PLANES

La mise en place du cognitif au sein du Crédit Mutuel
Frantz RUBLÉ

Intelligence artificielle et règles de protection de la clientèle dans la banque
et l'assurance
Olivier FLICHE

Intelligence artificielle et assurance
Patrick DIXNEUF

Les impacts de l'intelligence artificielle sur l'emploi : comment favoriser
la complémentarité avec l'humain et faire émerger de nouveaux types de
métiers ?

Reynald CHAPUIS

L'intelligence artificielle, nouvelle interface utilisateur ?
Yan GEORGET

Comprendre les habitudes des consommateurs grâce à l'intelligence arti-
ficielle
Charles OLLION

L'intelligence artificielle et la publicité : quelle éthique ?
Mohamed MANSOURI

Intelligence artificielle et publicité
Romain NICCOLI et Franck LE OUAY

L'émergence des plateformes de données industrielles
Hubert TARDIEU

Entretien avec Tatsuya TANAKA et Shingo KAGAWA

Artificial intelligence in China
Yifei FAN et Frank DESVIGNES

Intelligence artificielle : défis scientifiques et attentes socio-économiques
Stephan CLÉMENÇON

Questions juridiques au sujet de l'intelligence artificielle
Marie SOULEZ

L'Homme face à l'intelligence artificielle : repenser l'éthique de la relation
homme-machine
Paul-Olivier GIBERT

Mars 2018 Hors dossier

Le Baromètre du numérique
Gérard LALLEMENT et Matthias de JOUVENEL

Ce numéro a été coordonné par **Jacques SERRIS**

Pour plus d'informations, nous invitons le lecteur à se reporter à notre site :
<http://www.anales.org>

Mobility of the future: Technical vectors, business models and public policies

Foreword

Serge Catoire, engineer from the Corps des Mines, Conseil Général de l'Économie (CGE)

Future forms of mobility and the organization of society

For a new approach to mobility

Jean-Claude Raoul, Académie des Technologies

Efforts to restrict mobility are usually made for the sake of conservation of the environment. From the viewpoint of a global cycle, very few advances have been made in nonpolluting forms of transit. Supply-side responses to the demand for mobility have been proposed; but little is known about the effects of mobility and its segmentation. We still need to determine the forms of mobility needed for a thriving society. But the possibilities of digital technology (foreseeable, now or soon) can be used to make plans for cleaner forms of mobility at the service of a harmonious human society. For this purpose, information must be methodically collected; and multidisciplinary work teams, formed. It is the right time to do this in France; the path is laid out before us...

Mobility, transit time and investments

Yves Crozet, Laboratoire Aménagement Économie Transports, Université de Lyon 2 (IEP)

To understand mobility in the future, we must not look just at changes in transportation, which simply serve as variables in the general equation. Over the past decades, the factor of speed has made mobility democratic owing to relatively lower prices. This trend has met its limits. The "commercial" speeds of various forms of transport are stable or even declining. To imagine mobility in the future, focus must be shifted from speed to the new ways (individual and collective) of managing time, which has become the scarcest resource for people. For this reason, public policy has set as priority "daily forms of mobility", which are subjected to financial, energy and environmental conditions. The aim is no longer to increase speed but to optimize the management of space, the scarcest collective resource.

The new vectors of mobility

Connected, automated vehicles: Economic and industrial issues

Iarion Pavel, engineer from the Corps des Mines, Conseil Général de l'Économie, **Denis Vignolles**, head of the Mis-

sion de Contrôle Économique et Financier, Conseil Général de l'Économie, and **Gérard Lallement**, engineer from the Corps des Mines, Conseil Général de l'Économie

Many issues surround the rollout of connected, autonomous vehicles. There are public policy issues related to safety, improved circulation of traffic, public transit and the reduction of energy consumption. There are also economic and industrial issues, as well as regulatory problems, in particular, the access to, and use of, personal data. Finally, there is the issue of sovereignty owing to cybersecurity and inadequate control over certain strategic techniques (cartography). These issues have come under consideration at the EU and international levels, which are decisive for the development of connected, automated vehicles, in particular for vehicle registration and road safety. Under certain scenarios, the makers of the vehicles and of parts for them might no longer be the leading financial players in the ecosystem of self-driving cars.

The electrification of light commercial vehicles: Trends and questions

Michel Savy, professor emeritus at École des Ponts and École d'Urbanisme de Paris; and **Pierre Camilleri**, doctoral student at Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR)

Although light commercial vehicles represent a major part in the transportation system, little is known about them. Making them electric is a key to reducing greenhouse gas emissions and local pollutants from road traffic. This can be done in several ways, which are explored herein...

Electric mobility and charge stations

Joseph Beretta, AVERE France (Association pour le Développement de la Mobilité Électrique)

The French government's Climate Plan, launched in July 2017, sets 2040 as the date when no more gasoline or diesel vehicles are to be sold. The priority is to accelerate changes in mobility by controlling demand, helping to diversify forms of transit and new uses (car-pooling or -sharing), and speeding up the conversion of the existing fleet of vehicles toward new motor systems. "Electric mobility" has, it is often said, to make it possible to reach the environmental objectives set under EU and French programs for fighting against climate change (in particular, reducing CO₂ emissions). The contribution, and its limits, of electric vehicles to this fight is inherently linked to the pursuit of the energy and environmental transitions. It is,

therefore, necessary to take account of “electric mobility” when planning tomorrow’s electricity grids. As much can be said about reducing environmental nuisances and reasonably using natural resources.

Batteries for hybrid and all-electric vehicles

Philippe Azais, Thierry Priem and Florence Lambert, CEA LITEN, Université Grenoble Alpes

Batteries (in particular Li-ion) are evolving as demand rises owing to electric vehicles. Several industrialists have already staked out positions on this market, including the leaders who are mainly in Asia (China, Japan and South Korea). Europe, which has lagged in the production of batteries, is starting to set up ambitious programs for competing with the Asian monopolies. Nonetheless, several technological and economic issues must be addressed to create a durable battery industry for electric vehicles. Among them are: the “second life” of batteries once they have been used for mobility, and the “post-Li-ion” solutions for increasing efficiency, reducing production costs and breaking the dependency on critical raw materials.

New forms of mobility: Electric scooters, hoverboards, bicycles...

Frédéric Héran, economist and urbanist, Université de Lille 1

In recent years, new, light forms of “urban mobility” have developed that use innovative materials or update older solutions. There are many variants and a proliferation of brands. The press sees this trend as a new, alternative form of urban mobility (the “urban glide”), a “micromobility” that will set off a revolution in lifestyles, at least for hip city-dwellers. These means of personal mobility, to which should be added bicycles of all sorts, consume much less energy and fewer materials than private cars, and they cause fewer nuisances. They are all treated alike, as if each had the same chances of being developed. Marketing studies are of little use for making a long-term assessment. Based on past sales and customer surveys, they tend to overestimate the potential market and consider as durable something that is but a fad. To understand the advantages and limits of each means (actual or potential) of personal mobility, a better method is to review the principal technical choices for making innovations in this field, then to assess the consequences of these choices on the efficiency of these various means of light mobility and, finally, to propose a typology.

Aerial tramways: The example of Orléans

Charles-Éric Lemaignan, city councillor, Orléans, and member of the Bureau d’Orléans Métropole

For several years now, the city of Orléans has faced the question of how to renovate an urban zone located between its two train stations. The Aubrais station with through-traffic opens in the east on a zone of 110 hectares and in the west on train tracks. An urban planning project (InteRives) seeks, in the coming twenty years, to build in this zone a new, sustainable neighborhood with nearly 300,000 m² of offices and stores, and 3000 housing units.

This innovative neighborhood will be the place to live in this French city in the 21st century. For this project to fully exercise its attraction (one hour by train from Paris), the Aubrais station must be opened toward the west thanks to a modern method of transit for crossing the approximately 400 meters of train tracks. Following several studies and competitive bidding procedures, an aerial tramway has been selected. The only other urban aerial tramway in France is in Brest.

Economic players and public policies

The automobile industry supports French small and medium-sized firms for developing future forms of mobility

Éric Poyeton, managing director of the Plateforme de la Filière Automobile (PFA)

At the core of mobility in the future, automobiles must take up several challenges. The automobile industry is undergoing a transformation: new sources and techniques in the field of energy (electricity, natural gas, hybrid vehicles, autonomous connected vehicles, etc.), new uses (car-pooling and -sharing) and automobile factories in the future. Thanks to collaboration among all players, this industry can turn these challenges into opportunities. As a creator of durable working relations based on confidence between big firms and small and medium-sized companies, the Plateforme de la Filière Automobile (PFA) is to open the way to take up these challenges thanks to the strength of this collaboration involving small and medium-sized firms.

The individual car, a new public transit?

Stéphane Beaudet, mayor of Courcouronnes, vice-president of Île-de-France Region in charge of sustainable transportation and mobility, and vice-president of Île-de-France Mobilités

Deep changes are under way in mobility. After successive periods with a dominant form of transportation (e.g., trains replaced by cars), we are entering a new, more complicated period owing to changes in lifestyles, environmental requirements and societal choices. There are now many, dispersed and irregular, forms of (chosen) mobility; and traditional means of transportation are no longer adapted. Initial responses have been formulated, spontaneously or as a result of private initiatives, some of them related to the invention of new vehicles thanks to technological breakthroughs in digital technology. For years now, cars and roads have been criticized, but the coming of these new vehicles is restimulating interest in the road system, an infrastructure to be modernized. Till now however, public authorities have been holding back. They must, if not build, at least support and oversee the solutions being developed. From this perspective, the individual car and public transit could finally be made compatible.

The prospects for car-pooling? How to overcome drawbacks?

Matthieu Jacquot, Covivo

An odd paradox: how to imagine the future of car-pooling, which used to be “natural” when cars first came into use?

Without claiming to predict the future, we can, at best, recall how we have come to be where we are and imagine the prospects....

The way out of institutional complexity: Transport for London (TfL)

Alex Williams, Director of City Planning, Transport for London

Cities are the economic powerhouses of nations, cultural and artistic hubs that draw in greater and greater proportions of the world population to exchange ideas and histories and create new lives, jobs, homes and growth. Yet, around the world, cities are grappling with the same problems – pollution, poor air quality, congestion, poor health, a lack of housing and patchy access to jobs and opportunities.

Transport is a key part of the solution to many of these issues. Affordable, reliable and safe transport services can unlock the power of transport to improve people's lives.

This is perhaps why there are many cities around the world where the way that people travel has become synonymous with the city itself. The Paris Metro, or New York's subway and iconic yellow taxis spring to mind.

But no other city is as recognised by its transport system as is London. Our red double deck buses, black taxi cabs and London Underground trains are known the world over, and our distinctive 'roundel' logo – which features on all of our services – is one of the world's most recognised brands.

The organization of transportation in the London metropolitan area: A history of its positive points and difficulties

Christian Fatras, assistant to the pole of industry, digital technology and energy in the Regional Economic Service of London (DG Trésor), and **Pauline Virlovet**, attaché for transportation and industry in the Regional Economic Service of the Embassy of France to the United Kingdom (DG Trésor)

The rest of the world often points to the organization of transportation in the London metropolitan area as an example. Equipped with the world's oldest "tube", London has an extended, intermodal system. The city has ad-

ressed many of the issues in this 21st century related to "green growth" and new forms of mobility. However the metropolitan area's system is overused, and there are major difficulties (of funding and governance) with conducting the big public works on the infrastructure that are necessary to relieve congestion. Like other cities worldwide, London is going to have to become used to new forms of mobility and overhaul its organization to adapt to this change.

Future forms of mobility: The Grand Paris Express on track

Philippe Yvin, chairman of the board of directors of Société du Grand Paris

An automatic subway line 100% accessible: the Grand Paris Express will move two million passengers per day with, on the average, a train every two or three minutes circulating at 55 km/hr. Expectations are high for this new line, since it will directly connect suburbs without forcing passengers to transit via the center of the capital. This revolution in everyday transit is even more awaited given the current system's congestion! The Grand Paris Express will aggrandize Paris by pushing outwards the bounds of the metropolitan area and by reinforcing the centrality and solidarity between Paris and its suburbs and exurbs in Île-de-France Region. Above all, this new "métro" is a harbinger of mobility for tomorrow owing to the ambition of an innovative, technologically connected city that places people at the center of urban planning.

New interurban bus services: A soft or hard landing?

Laurent Guihéry, professor, Cergy-Pontoise University, Laboratoire Mobilité, Réseaux, Territoires and Environment (MRTE)

There is no doubt that "freely organized interurban bus services" have been a success, but one based on a business model deep in the red – a point unawares to the public. Following a recent inventory of these services, light is shed on the financial losses of players in this very competitive market. Approaches for finding solutions for a recovery and imagining a soft landing are presented...

Issue editor: Serge Catoire

AZAIS Philippe

Après l'obtention d'un DEA en structures et propriétés multiéchelles des matériaux, Philippe Azais devient docteur en sciences et technologies industrielles (2003, Université d'Orléans) en collaboration avec SAFT. Il rejoint le groupe Bolloré (Batscap/Blue Solutions), en 2006, en tant que responsable de l'Innovation et de la Recherche pour l'activité Supercapacités. Fin 2011, il rejoint le CEA pour y coordonner des projets pluridisciplinaires de recherche et de développement dans le domaine du stockage de l'énergie (notamment les batteries lithium-ion), en collaboration avec des partenaires industriels et académiques. Philippe Azais est expert senior, spécialiste du carbone et des systèmes de stockage d'énergie. Titulaire d'une habilitation à diriger des recherches de Grenoble INP, il dirige plusieurs thèses se rapportant aux domaines précités.

BEAUDET Stéphane



Après avoir été rédacteur en chef du magazine *L'Envol* entre 1993 et 1994, Stéphane Beudet a été responsable des publications d'Étampes en 1997. Puis, la même année, il rejoint la ville d'Yerres pour y exercer en qualité de chargé de mission et de directeur des relations publiques.

D.R

Entré en politique à l'âge de quatorze ans, à l'occasion d'élections locales et de la campagne présidentielle de 1988, il prend la tête en 1998 de l'association d'opposition « Avenir de Courcouronnes ». Il est successivement membre du Rassemblement pour la République à vingt-deux ans, puis de l'Union pour un mouvement populaire.

En 2001, Stéphane Beudet, tête de liste RPR, est élu maire de Courcouronnes. Il est confortablement réélu en 2008 et 2014. En 2010, il est élu conseiller régional d'Île-de-France sur la liste de la Majorité présidentielle en Essonne.

Outre ses fonctions de maire, Stéphane Beudet est :

- élu, en 2001, président du réseau de transports TICE (Transports intercommunaux du Centre Essonne). Fonctions qu'il cesse d'exercer au début de l'année 2016, suite à son élection au Syndicat des transports d'Île-de-France, en tant que premier vice-président.
- En novembre 2014, Stéphane Beudet est élu président de l'AMIF.
- En décembre 2015, Stéphane Beudet est élu vice-président du Conseil régional d'Île-de-France, en charge de la politique des transports et des mobilités durables.
- Fin janvier 2016, Stéphane Beudet remporte la Présidence de la fédération essonnienne du parti Les Républicains.

BERETTA Joseph

Engagé depuis longtemps dans la mobilité électrique de façon active, Joseph Beretta est aujourd'hui président de l'Avere-France et vice-président de l'Avere (*European Association for Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicles*). L'Avere-France est une association professionnelle créée



D.R

en 1978 sous l'impulsion de la Commission européenne. Elle fait partie d'un réseau international regroupant les associations de différents continents : Europe (AVERE), Asie Pacifique (EVAAP), Amérique (ETDA) et la WEVA (*World Electric Vehicle Association*).

L'Avere-France est le pôle d'information, d'échanges et d'expertise nationale, qui regroupe

tous les acteurs de l'écosystème de la mobilité électrique.

Les principales missions de l'association, au-delà de la promotion et de l'information sur la mobilité électrique, sont de fédérer la filière, notamment au travers de la structuration d'un réseau d'associations régionales, et de représenter cette filière auprès des pouvoirs publics.

De formation ingénieur INSA Lyon en génie électrique (titulaire d'un DEA énergétique), Joseph Beretta justifie d'une expérience de 14 ans dans l'industrie de l'électronique de puissance (1980-1994), allant de la conception de « Drive » (commande électronique de moteur électrique) jusqu'à la direction d'une PME de 10 personnes réalisant le développement et la fabrication de systèmes de régulation et de pilotage de motorisation électrique.

Au cours des vingt années qui suivent (1994-2014), il travaille dans l'industrie automobile (PSA Peugeot Citroën).

Pendant 10 ans, il a été directeur adjoint responsable du pilotage de la recherche et de l'innovation dans les domaines des véhicules électriques, hybrides et à pile à combustible, ainsi que dans celui des composants électriques et de l'électronique embarquée.

Puis dans le cadre d'un détachement d'une durée de deux ans, il a exercé au ministère de la Recherche représentant la France dans la définition des programmes cadres européens de recherche pluriannuels (PCRD) dans le domaine des transports terrestres.

Au cours des dernières années, il a travaillé au sein de la direction des affaires publiques en tant que délégué énergies technologies et innovation, représentant le groupe auprès des pouvoirs publics français et européens dans des domaines aussi variés que les motorisations diesel, essence, électrique/hybrides et le financement de grands projets d'innovation.

Il est de par son expertise :

- membre du pôle MOVEO et pilote du DAS DVD,
- membre du comité scientifique du congrès mondial EVS,
- expert scientifique auprès de la Commission européenne,
- expert scientifique auprès du Prédit et de l'ANR.

Ce parcours professionnel a été l'occasion pour Joseph Beretta de publier de nombreux articles scientifiques présentés dans des congrès internationaux, ainsi que de trois ouvrages qui présentent la pénétration du génie électrique et de l'électronique dans l'automobile :

- « Le Génie électrique automobile » aux Éditions HERMES ;
- « Électronique, électricité et mécatronique automobile » aux Éditions HERMES ;
- « Électricité, électronique, un siècle de développement automobile » aux Éditions PSA.

CAMILLERI Pierre



D.R

Pierre Camilleri est ingénieur de l'École polytechnique et est titulaire du master Recherche Transport et Mobilité de l'Université Paris Est. Il finit actuellement son doctorat en aménagement à l'IFSTTAR (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux), dans le cadre

d'une convention avec Renault, sur l'analyse prospective de l'utilisation du véhicule électrique en matière de transport urbain de marchandises.

CATOIRE Serge

Ingénieur général des Mines, Serge Catoire travaille depuis ses débuts professionnels sur des sujets industriels et internationaux : tout d'abord, au sein de l'administration, en particulier en tant que conseiller technique au cabinet de Hubert Curien, ministre de la Recherche et de la Technologie, puis dans l'industrie aéronautique et spatiale. Entre autres fonctions, il a été notamment directeur technique et industriel du groupe Aérospatiale, directeur général d'Aérospatiale Missiles, puis PDG de Reims Aérospatiale. En 2012, il rejoint le ministère de l'Économie et des Finances pour exercer au sein du Conseil général de l'économie, dont il est le référent économie. À ce titre, il participe régulièrement à des missions, notamment sur des sujets liés à l'économie d'entreprise.

CROZET Yves



D.R

Yves Crozet est économiste. Il a été professeur à l'Université Lyon 2 de 1992 à 2010, puis à Sciences-Po Lyon. Depuis fin 2015, il est professeur émérite. En 1988, il intègre le Laboratoire d'économie des transports (LET) après avoir soutenu sa thèse de doctorat d'État, dont le titre est « Les Minguettes ou les infortunes de la tutelle ». Il a dirigé ce

laboratoire de 1997 à 2007. Il est toujours membre de ce laboratoire, qui s'appelle aujourd'hui le Laboratoire Aménagement Économie Transports (LAET).

Yves Crozet est aussi président du conseil scientifique du laboratoire d'excellence « Dynamite », président du *think tank* de l'Union routière de France (URF) et membre du conseil d'administration du Conseil national routier (CNR). Il est également *Research Fellow* du CERRE (*Centre on Regulation in Europe*) à Bruxelles.

En 2016, il a publié aux Éditions Economica un ouvrage intitulé « *Hyper-mobilité et politiques publiques : changer d'époque ?* ».

De 2010 à 2015, il a été Secrétaire général de la WCTRS (*World Conference on Transport Research Society*) et est toujours membre du *Steering Committee*. En 2012-2013,

il fut l'un des dix membres de la commission « Mobilité 21 » en charge de réexaminer le contenu du Schéma national des infrastructures de transport (SNIT). De 2008 à 2012, il a été membre du conseil d'administration de RFF (Réseau ferré de France), au titre des personnalités qualifiées. De 2008 à 2013, il a présidé l'OEET (Observatoire énergie environnement des transports) destiné à mettre en place les normes d'affichage CO₂ des services de transport. De 2002 à 2013, il a présidé les groupes opérationnels du PREDIT n°1, puis n°6 (Programme national de recherche sur les transports terrestres) portant sur la mobilité durable et les politiques publiques.

FATRAS Christian



D.R

De formation française et anglaise, Christian Fatras a exercé diverses fonctions au sein du réseau de la Direction générale du Trésor. Il a été en poste au Canada, à la Représentation permanente française auprès de l'Union européenne à Bruxelles, à Washington, à Oslo ou bien encore à Berlin, auprès du ministère allemand de l'Économie,

dans le cadre d'un échange de fonctionnaires.

Il est depuis septembre 2016 en charge du pôle Industrie, numérique et énergie au Service économique régional de Londres. À ce titre, épaulé par une équipe de trois personnes, il promeut, d'une part, les intérêts et le savoir-faire français dans ces secteurs d'activité et, d'autre part, analyse les grandes tendances et enjeux de l'industrie britannique pour le présent et les quelques années à venir. Dans ce cadre, il analyse les politiques publiques mises en place par les pouvoirs publics britanniques, que ce soit en matière de politique industrielle, d'appui au numérique ou encore de transition énergétique.

GUIHÉRY Laurent



D.R

Laurent Guihéry s'intéresse à la politique européenne des transports, en particulier à la réforme européenne des chemins de fer et au lien entre transport et environnement (transport routier de marchandises, logistique, multimodalité). Il travaille actuellement à la mise en place d'un observatoire des nouveaux développements de la libéralisation

des services d'autocars interurbains en France et en Allemagne, et, plus globalement, en Europe. Ses premiers résultats pointent le possible réaménagement des centres urbains autour de nouvelles gares routières. Il a contribué à de nombreux colloques en Europe et a publié divers articles scientifiques traitant de ces questions. Plus récemment, les questions d'une ouverture réussie et équilibrée des services ferroviaires à la concurrence, des appels d'offres pour les activités ferroviaires régionales dans les

pays européens qui ont avancé sur cette voie (Royaume-Uni, Suède, Allemagne...), des conditions d'un renouveau du fret ferroviaire français sont les thèmes principaux de ses recherches.

HÉLAN Frédéric

Économiste des transports et urbaniste, Frédéric Héran est maître de conférences à l'Université de Lille. Ses recherches portent sur « ville durable et mobilité ».

Il analyse la façon dont la ville a été façonnée par les transports, passant de la ville pédestre (de l'Antiquité au XIX^e siècle) à la ville des transports publics (pendant la première moitié du XX^e siècle) et à la « ville automobile » (depuis les années 1950). L'usage désormais dominant de la voiture a entraîné un fort étalement urbain et favorisé la création d'un zonage. Cet urbanisme moderne fondé sur la priorité accordée à la voiture est coûteux en ressources (espace, réseaux, énergie...) et provoque diverses nuisances (bruit, pollution, accidents...). Il devient nécessaire d'envisager une ville plus durable, moins étalée, moins ségréguée, plus intense et reposant sur des modes de déplacement plus urbains que l'automobile.

Depuis plus de vingt ans, il travaille peu à peu sur tous les modes de déplacement alternatifs à l'automobile et sur la façon dont ils peuvent former un « système de transport écologique » associant marche, vélo, transports publics et usages partagés de l'automobile. Il s'intéresse également à des externalités négatives peu étudiées, car difficilement monétarisables, et pourtant majeures, comme l'effet de coupure des grandes infrastructures en milieu urbain ou la consommation des espaces par les transports.

Il a notamment publié trois ouvrages :

- *La Ville morcelée. Effets de coupure en milieu urbain*, chez Economica, en 2011,
- *Transports en milieu urbain : les effets externes négligés. Monétarisation des effets de coupure, des effets sur l'affectation des espaces publics et des effets sur les paysages*, à La Documentation Française, en 2000,
- *Le Retour de la bicyclette. Une histoire des déplacements urbains en Europe de 1817 à 2050*, aux Éditions La Découverte, en 2014.

Un ouvrage est actuellement en préparation sur *La transition écomobile. Le passage du tout-automobile à des rues pour tous*.

JACQUOT Matthieu



D.R

Diplômé de l'École Nationale Supérieure en génie des systèmes et de l'innovation de l'Université de Lorraine en 2000, il complète son cursus par l'obtention d'un DEA sur le développement durable au sein d'une équipe de recherche en processus innovatifs. Il rejoint une PME issue du groupe Jaeger qui fabrique des connecteurs industriels. Il devient responsable de la

veille technologique et d'un bureau d'études qui est l'un des tout premiers à recourir à des outils de conception 3D

et de suivi du cycle de vie. C'est ensuite un équipementier qui exploite la marque Nobel qui l'accueille comme manager de programmes (développement de canalisations pour l'écoulement des fluides) en lien avec le développement des véhicules de nouvelle génération du groupe Renault.

Sa réussite au concours de Sciences-po en 2006 est pour lui l'opportunité de revenir sur les bancs de l'école : son diplôme en affaires publiques obtenu, il fait de la politique environnementale le moteur principal de son action. N'optant pas pour la voie des concours administratifs, il crée, en 2009, Covivo, émanation d'une association exploitant le concept de co-voiturage en temps réel. Il fait de cette entreprise un véritable laboratoire où se croisent de multiples compétences en matière de politiques publiques et environnementales, de transport et d'ingénierie des systèmes d'information, des compétences mobilisées au service de la mobilité partagée. L'entreprise connaît un fort développement qui s'accompagne de la co-fondation, en 2013, de la société Tooxme, une *start-up* suisse qui exploitait le concept de VTC ne sur-vit pas à la vague Uber.

En 2014, il reprend la plateforme de co-voiturage *RoulezMalin.com*. La R&D en recherche opérationnelle et même celle en sciences sociales occupent toutes deux une place importante dans la gestion par l'entreprise, qui repose sur le numérique et l'Internet, de la complexité que recouvrent les plateformes collaboratives développées au service d'une mobilité durable.



D.R

LALLEMENT Gérard

Ingénieur général des mines, Gérard Lallement est en fonction au Conseil général de l'économie.

LAMBERT Florence



© Philippe Dureuil

Titulaire d'un diplôme d'ingénieur et d'un doctorat de Grenoble INP, Florence Lambert rejoint le CEA, en février 2000, pour y travailler sur la thématique solaire.

Très rapidement, elle occupe des postes recouvrant de fortes responsabilités en matière de management (équipe, laboratoire).

À partir de 2009, elle dirige le département des Transports du CEA-LITEN. Dans ce contexte, Florence Lambert a structuré l'activité batterie Li-ion et construit l'une des plus importantes plateformes de R&D au monde, laquelle a pour vocation d'accélérer le transfert technologique. Depuis janvier 2013, elle dirige le CEA-LITEN (1 200 chercheurs), qui traite pour le compte du CEA un ensemble de thématiques touchant au solaire, aux transports, à l'hydrogène, à la biomasse et, enfin, aux nanomatériaux.

LEMAIGNEN Charles-Éric



D.R

Charles-Éric Lemaignan est titulaire d'une licence es histoire, d'un diplôme d'études supérieures en droit public et est diplômé de l'IEP de Paris et de l'executive MBA d'HEC.

Il a présidé la Communauté d'agglomération Orléans Val de Loire d'avril 2001 jusqu'à la transformation de celle-ci en métropole, en juin 2017. Il est aujourd'hui conseiller municipal d'Orléans et membre du bureau de la Métropole. Après avoir présidé l'ADCF (Assemblée des communautés de France) de 2014 à 2017, il en est aujourd'hui le premier vice-président. Il est également vice-président du GART (Groupement des autorités responsables de transports). Il a été conseiller régional de 2004 à 2015. Avant d'être élu, il a été successivement directeur régional de la Caisse des dépôts, directeur général des services de deux régions, puis a exercé en tant qu'avocat. Enfin, il enseigne à l'Université d'Orléans en qualité de professeur associé. Il a également créé une société de *consulting*.

PAVEL Ilarion



D.R

Ingénieur en chef des mines, docteur en physique, Ilarion Pavel travaille au Conseil général de l'économie, de l'industrie, de l'énergie et des technologies et au Laboratoire de physique théorique de l'École Normale Supérieure, dans le domaine de la physique des particules élémentaires et des interactions fondamentales.

Il a été ingénieur de recherche chez Thomson-CSF et a effectué un séjour post-doctoral à Caltech. Pendant trois ans, il a travaillé à la Délégation régionale de la recherche et de l'innovation de l'Île-de-France, dans le domaine de l'innovation et du transfert de technologie, puis, pendant cinq ans, il a été en charge du Réseau national de recherche en télécommunication, au ministère de la Recherche. Par la suite, au sein de ce même ministère, il a été conseiller scientifique en nanotechnologies.

POYETON Éric



D.R

Éric Poyeton est diplômé de l'ECAM Lyon Arts & Métiers. Il a effectué toute sa carrière dans les secteurs de l'automobile et des transports. De 1989 à 1993, il a dirigé une PME sous-traitante des industries aéronautique et automobile et du secteur médical. De 1994 à 2001, il a occupé le poste de responsable d'unités autonomes au sein de la division

systèmes électriques de Valeo, avant d'être promu directeur industriel et adjoint du P-DG japonais du groupe KOYO, filiale de Toyota. De 2001 à 2013, il a occupé, chez Renault Trucks, le poste de directeur du site de Bourg-en-Bresse, avant d'être nommé membre du comité exécutif en charge de la marque, du plan produits et services et des accords de partenariats. En 2015, il a été nommé à la direction générale de la PFA, succédant à Bernard Million-Rousseau.

PRIEM Thierry

Thierry Priem est adjoint à la Direction scientifique du CEA/LITEN et est ingénieur diplômé de l'École polytechnique et de l'École nationale supérieure des Mines de Paris. Il justifie d'une solide expérience technique et scientifique qu'il a acquise au sein du CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) en réalisant des recherches portant sur différents domaines comme les sciences des matériaux, les nouvelles énergies, etc. Après avoir dirigé pendant plusieurs années un service de 60 personnes travaillant sur les nouvelles technologies (piles à combustible et hydrogène, cellules photovoltaïques, etc.), Thierry Priem a été nommé responsable du programme piles à combustible au sein de la Direction des nouvelles technologies pour l'énergie du CEA de Grenoble. Depuis 2014, il est membre du *Board du Research Grouping « Hydrogen Europe Research »* du FCH-JU2.

RAOUL Jean-Claude

Jean-Claude Raoul est ingénieur des Arts et Métiers (Lille, 1964).

Au titre de ses activités réalisées dans le domaine de l'industrie, il a :

- de 1964 à 1983 : occupé dans le secteur du BTP, des postes de directeur technique, directeur général et de président de sociétés d'ingénierie ou de filiales territoriales,
- de 1983 à 2002, été directeur technique établissements, puis de la division ALSTOM TRANSPORTS,

Au titre de ses activités d'intérêt général, il a été :

- de 1995 à 2007 : directeur de l'Association qui a préfiguré l'Agence européenne du ferroviaire,
- de 1998 à 2001 : associé aux travaux de la mission Recherche de la Fédéral Transit Administration US,
- de 2003 à 2015 : conseiller technique auprès de la Fédération des industries ferroviaires France,
- de 2013 à 2015 : président de la Commission Innovation et réglementation de la conférence Fret ferroviaire.

Au titre de ses activités à caractère scientifique et technique, il a été :

- de 2006 à 2011 : président de la Commission Mobilité et Transport de l'Académie des Technologies,
- de 2007 à 2010 : président de la plateforme Mobilité Transports d'Eurocase (Fédération des Académies de technologies européennes).

Il a été également membre de divers conseils scientifiques : ceux du PREDIT, de l'INRETS, du GRRT, D'i-trans, de Railenium...

Il est l'auteur de différentes publications, dont *Scientific America* et *Chinese railways*.

SAVY Michel



D.R

Ingénieur de l'École Centrale et docteur en économie, Michel Savy est professeur émérite à l'Université Paris Est (École des Ponts-ParisTech, École d'urbanisme de Paris). Il est également membre du collège des experts de l'ARAFER, directeur de l'Observatoire des politiques et des stratégies de transport en Europe et du bulletin Transport/Europe, président du conseil scientifique du *think tank* TDIE et consultant de la Banque mondiale sur les questions logistiques. Il a récemment publié *Nouveaux lieux, nouveaux flux. Les mobilités de l'avenir* (Paris, Éditions Odile Jacob, 2015) et *Le Transport de marchandises. Économie du fret, management logistique, politique des transports* (Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2017).

VIGNOLLES Denis



D.R

Denis Vignolles est chef de mission de contrôle économique et financier, il est membre permanent du Conseil général de l'économie depuis 2006. Au terme d'une carrière d'administrateur civil au ministère de l'Économie et des Finances, il a exercé le contrôle d'État au sein de la mission de contrôle des activités atomiques (CEA, AREVA, ANDRA, IRSN), entre 2000 et 2005.

VIRLOUVET Pauline



D.R

Pauline Virlovet est attachée Transports et industrie au sein du Service économique régional de l'Ambassade de France au Royaume-Uni. Elle analyse les grandes tendances et enjeux de ces deux secteurs. Elle a auparavant obtenu un master en management de l'innovation à l'École polytechnique : à cette occasion, elle a travaillé au sein du III-V Lab, un groupement d'intérêt économique entre Thales, Nokia et le CEA-Leti, sur la problématique de la valorisation des technologies de rupture. Elle s'est également intéressée aux différences culturelles entre la France et la Chine en vue de développer un dispositif d'autopartage chez PSA. Elle est diplômée d'HEC Paris et est titulaire d'une licence de mathématiques appliquées de l'Université Paris-Sud.

WILLIAMS Alex

Alex Williams is the Director of City Planning at Transport for London. His responsibilities include working with the Mayor to de-



D.R

velop and deliver his Transport Strategy for London and working to develop and gain powers for major infrastructure projects such as Tube extensions and new river crossings.

Alex provides transport advice on Land Use Planning applications referable to the Mayor, manages relationships with London Boroughs and ensures TfL's work is underpinned by a robust evidence base through modelling and analysis. Alex was formally appointed to the post in April 2017, having held it on an interim basis since April 2016. Before that he was Director of Borough Planning and, before TfL, worked for the London Borough of Camden and the London borough of Ealing.

YVIN Philippe



©Genaro Bardy

Philippe Yvin est président du directoire de la Société du Grand Paris. Il est diplômé de l'École supérieure des sciences économiques et commerciales (Essec), de l'Institut d'études politiques de Paris et est titulaire d'un diplôme d'études approfondies de sciences politiques.

Il a été chargé d'études au Conseil régional d'Île-de-France (1981-1983), puis secrétaire général de la ville d'Epiney-sur-Seine (1983-1985), parallèlement à l'exercice des fonctions de chargé de mission à la Commission des maires sur la sécurité, puis au Conseil national de prévention de la délinquance (1983-1986). Directeur de cabinet du maire d'Epiney-sur-Seine (1985-1989), Philippe Yvin devient secrétaire général du Conseil national des villes (1989-1990).

Il sera par la suite :

- directeur de la prévention et de la délinquance de la délégation interministérielle à la Ville et au Développement social urbain (1990-1991),
- sous-préfet, chargé de mission pour la politique de la ville auprès du préfet des Yvelines de 1991 à 1993,
- secrétaire général de la préfecture de Haute-Corse (1993-1995),
- directeur du cabinet du préfet de l'Essonne (1995-1997), avant d'être nommé chef du cabinet civil du ministre de la Défense (1997-1998), puis directeur du cabinet du ministre délégué à la Ville (1998-2002).

Philippe Yvin devient ensuite secrétaire général de la Commission de préparation de la Charte de l'environnement (2003-2004), avant de diriger les services départementaux de l'Oise (2004-2008), puis de la Seine-Saint-Denis (2008-2012).



Avec le soutien gracieux de l'agence - IAAVAS WORLDWIDE PARIS

RÉPARER LES VIES

Depuis notre première prothèse au Cambodge en 1982 nous continuons de soutenir les populations vulnérabilisées
Infrastructures de santé - Haiti 2010

**HANDICAP
INTERNATIONAL**

RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

Le bâtiment dans la transition énergétique



Introduction : Mireille CAMPANA et Richard LAVERGNE

L'énergie dans le bâtiment : état des lieux

L'énergie et le bâtiment : les données chiffrées pour la France depuis 1950
Françoise DUPONT

Allemagne : le bâtiment et l'énergie en chiffres
Sven RÖSNER et Marie BOYETTE

Énergie et bâtiments : regards sur le reste du monde
John DULAC et Thibaut ABERGEL

L'architecte, ambassadeur de la planète
Didier LENOIR et Dominique GAUZIN-MÜLLER

Économies d'énergie : le bâtiment confronté à ses occupants
Marie-Christine ZÉLEM

La précarité énergétique, une nouvelle dimension à prendre en compte
Robert DURDILLY et Bertrand LAPOSTOLET

Décarboner le bâtiment, sans oublier ses émissions indirectes
Alain GRANDJEAN, Roman LEDOUX et Julie DAUNAY

Acteurs et utilisateurs

L'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment : la vision et l'ambition de la Commission européenne - Mechthild WÖRSDÖRFER

Les outils mis au service des pouvoirs publics pour promouvoir l'efficacité énergétique dans les bâtiments - Gilles AYMOZ

Évaluation de la Réglementation thermique de 2012
Mireille CAMPANA, Michel JEAN-FRANÇOIS, Anne FLORETTE et Didier PILLET

Vers une réglementation environnementale pour les bâtiments neufs
Romain GAËTA, Laurent GULDNER, Florian PITON, Laetitia PRIEM et Aloïs THIÉBAUT

Energy transition of Europe's building stock
Implications for EU 2030 Sustainable Development Goals
Dr Yamina SAHEB, Dr Heinz OSSENBRINK, Dr Sandor SZABO, Dr Katalin BÓDIS and Strahil PANEV

La mobilisation des réglementations thermiques au service de la transition énergétique - André POUGET

Les barrières à l'investissement dans l'efficacité énergétique des bâtiments en France - Isabelle CAMILIER-CORTIAL, Alexis LOUBLIER, Arthur SOULETIE et Étienne PERROT

Comment l'intervention publique peut-elle augmenter le nombre et la qualité des rénovations dans le parc immobilier français pour en réduire les consommations d'énergie et les émissions de GES ?
Hadrien HAINAUT, Ian COCHRAN et Benoît LEGUET

L'efficacité énergétique : mode d'emploi - Myriam MAESTRONI

Les grandes orientations sont tracées, il faut à présent les suivre
Jean BERGOUGNOUX et Jean-Pierre HAUET

Perspectives technologiques

Le bâtiment, entre idéal et réalité : les facteurs clés du succès de la transition énergétique - Étienne CRÉPON et Hervé CHARRUE

L'innovation dans le secteur du bâtiment dans les programmes européens de financement de la R&D - Antoine DUGUÉ et Germain ADELL

Hors dossier

Bilan énergétique de la France en 2016
Sous-direction des Statistiques de l'énergie, CGDD, MTES

Avril 2018

Ce numéro est coordonné par Mireille CAMPANA et Richard LAVERGNE

Pour plus d'informations, nous invitons le lecteur à se reporter sur notre site :

<http://www.annales.org>