

# 11. La mobilité individuelle

Cahier spécial  
**La Recherche**  
réalisé avec  
le soutien  
de la direction  
scientifique de



## TECHNOLOGIE

**Automobile** : quelles, solutions pour demain ?

## ÉCONOMIE

Réseaux de distribution : des **infrastructures** à (ré)inventer

## SOCIÉTÉ

« **La révolution numérique** va transformer les usages de l'automobile »

Interview de Gabriel Plassat, expert Transports et Mobilité à l'ADEME.

CHERCHEURS D'ÉNERGIES

Tous les deux mois, ce cahier *La Recherche* vous permet de comprendre les défis technologiques, économiques et environnementaux des énergies.

# Automobile : quelles solutions pour demain ?

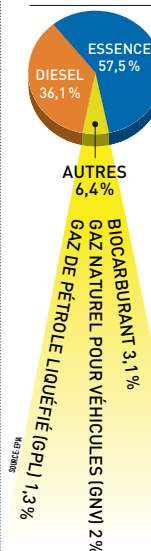
*Améliorer son rendement, réduire ses émissions, rester abordable sans perdre en sécurité... Face aux défis énergétiques et environnementaux du XXI<sup>e</sup> siècle, l'automobile doit résoudre une équation technologique plus complexe que jamais. Mais les éléments de réponse sont, pour l'essentiel, connus. Tour d'horizon.*

**P**our se rencontrer, pour échanger, pour commercer, il faut se déplacer : la mobilité est la condition première du développement de nos sociétés. La seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle a vu l'automobile s'imposer comme le premier vecteur de cette mobilité, grâce à l'extraordinaire association du pétrole et du moteur thermique – la circulation fluide, dans le monde entier, d'une énergie disponible et bon marché, et la capacité d'embarquer cette énergie pour transporter les biens et les personnes, avec une efficacité incomparable. Le parc automobile mondial a dépassé le milliard de véhicules en 2007, pour un réseau routier estimé à 69 millions de kilomètres. Alors que les taux d'équipement se stabilisent dans l'OCDE, en Amérique du Nord ou au Japon, l'industrie automobile

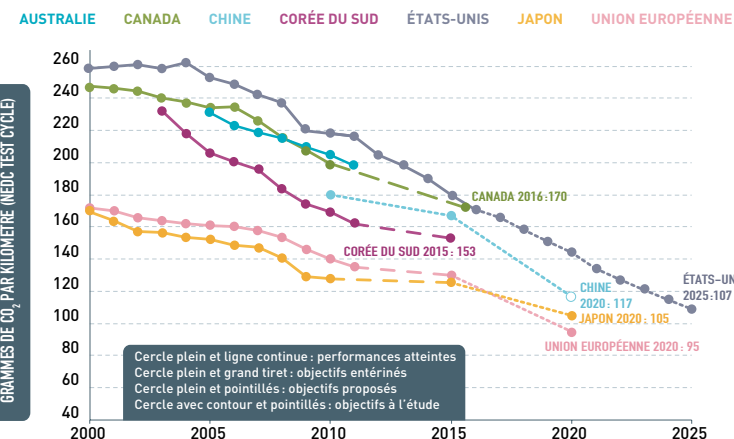
poursuit sa croissance dans les économies émergentes. La Chine est depuis 2009 son premier marché mondial – et l'on n'y compte encore que 50 véhicules pour 1 000 habitants. Ce développement phénoménal de la mobilité a un coût. La voiture produit un tiers des émissions de CO<sub>2</sub> en Europe. Aux enjeux environnementaux s'ajoute le défi énergétique : le pétrole, encore abondant, va voir sa production plafonner et son prix ne peut que croître à l'avenir.

Depuis le protocole de Kyoto en 1995, constructeurs, équipementiers et groupes énergétiques produisent un énorme effort R & D pour rendre l'automobile plus sobre en énergie, moins émettrice de polluants et de gaz à effet de serre (GES), sous l'impulsion de réglementations toujours plus strictes. Dans l'Union européenne, la norme Euro 5 (Euro 6

CONSUMATION MONDIALE D'ÉNERGIE DANS LE SECTEUR DES TRANSPORTS ROUTIERS EN 2009 (%)



## ÉVOLUTION DES RÉGLEMENTATIONS EN MATIÈRE D'ÉMISSIONS DE CO<sub>2</sub> DES VÉHICULES PARTICULIERS



La réglementation sur les émissions de CO<sub>2</sub> est le moteur de l'effort R & D des constructeurs. Ci-contre, l'évolution des normes dans le monde depuis 2002, en grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre. Source : ICCT 2012.

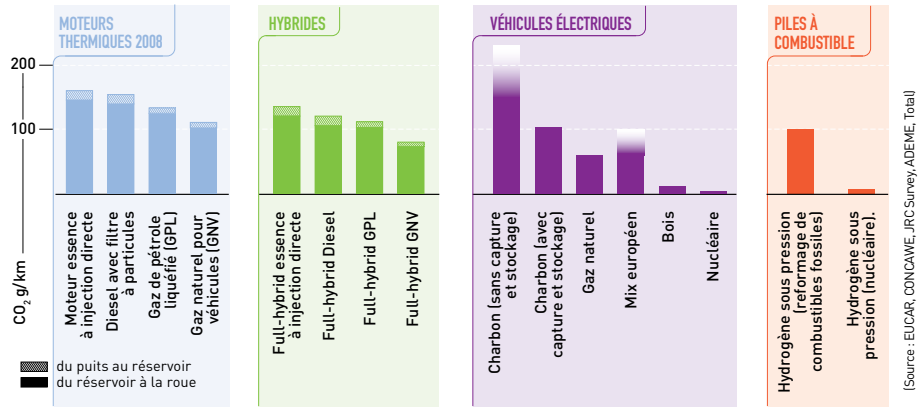
en 2014) encadre les émissions de polluants locaux et, les politiques publiques ont fixé un objectif moyen de 130 g de CO<sub>2</sub> émis par kilomètre pour les véhicules neufs en 2012. Cet objectif sera ramené à 95 g en 2020, ce qui correspondrait à une consommation moyenne de 4,1 l/100 km pour les moteurs essence, et de 3,6 l/100 km pour un diesel. Dans cette course à l'efficacité, tous les leviers sont actionnés. Aérodynamique oblige, les voitures voient leurs formes s'arrondir : « Une amélioration de 5 % du taux de pénétration dans l'air du véhicule peut se traduire par un gain de 0,5 à 1 litre aux cent », indique Philippe Girard, à la direction scientifique de Total. Le développement de matériaux innovants – polypropylènes et résines composites notamment – permet d'alléger les véhicules sans perdre en sécurité. L'amélioration continue des pneumatiques et les travaux de recherche sur le contact pneu-chaussée, les lubrifiants et graisses utilisés dans les ensembles mécaniques (moteur, boîte de vitesses, transmission, hydraulique, roulements...) réduisent les frottements et contribuent eux aussi à l'efficacité énergétique du véhicule.

Mais à l'heure du mix énergétique, c'est bien sûr la motorisation qui concentre les visées et les questions : comment roulerons-nous demain ? À quel prix et pour quel bilan environnemental ? « Tout dépend des stratégies des acteurs industriels et des États, dont découlent les choix technologiques, le coût des énergies (pétrole, gaz, électricité, hydrogène...) et l'évolution couplée des infrastructures de distribution », répond Daniel Le Breton, directeur Développement Produits de Total (voir page 101). « Tout dépend d'abord de l'évolution de nos usages de l'automobile », affirme Gabriel Plassat, expert Transports et Mobilité à l'ADEME (voir page 103).

### L'hybridation, avenir de l'automobile ?

Le moteur thermique – 98 % des automobiles aujourd'hui – conserve une marge de progression importante, en particulier les moteurs à essence. « Une

COMPARAISON SCHEMATIQUE DES EMISSIONS DES CO<sub>2</sub> SELON LE TYPE DE VEHICULE ET L'ORIGINE DE L'ENERGIE UTILISEE



(Source : EUCAR, CONCAWE, JRC-Survey, ADEME, Total)

réduction de 50% des consommations unitaires par rapport à 2007 est raisonnablement possible à terme», estime en juin 2011 un rapport du Centre d'analyse stratégique. Le mode de combustion par injection directe est une piste solide pour rapprocher le moteur à essence des rendements obtenus avec le Diesel, mais elle nécessite un circuit haute pression et des injecteurs de précision, encore coûteux. Expérimenté depuis la fin des années 1990 par Mitsubishi ou Volkswagen, il intéresse de près la plupart des constructeurs. Autre tendance de fond : le *downsizing*, qui vise à abaisser la cylindrée des moteurs en maintenant une puissance égale, grâce à un rendement optimisé par la suralimentation. À la clé, un gain de place dans le véhicule et une consommation moindre. Exemple : «Un moteur à essence de 2,5 l, capable de délivrer une puissance 123 kW et un couple de 211 N.m, peut être remplacé par un moteur de 2 l turbo. Celui-ci délivre 120 kW avec un couple de 250 N.m, donc des prestations équivalentes, tout en offrant une réduction de consommation de 9%», explique Renault.

Mais dans la course au rendement optimal, le moteur thermique pur souffre d'une limite structurelle : «Un moteur qui affiche un rendement nominal de 35% n'offre en réalité qu'un rendement de 15 à 30%, du fait de la prédominance des régimes transitoires jusqu'à 90 km/h», indique Philippe Girard. Pour éviter cet écueil, il faut faire fonctionner le moteur thermique, autant que possible, sur sa zone de rendement optimal, une motorisation électrique prenant le relais lors des redémarrages et changements de régime. C'est le principe de l'hybridation, lancée dès 1997 en grande série par Toyota avec la Prius et qui fait désormais l'objet de programmes R&D chez tous les grands constructeurs – de GM, en association avec Mercedes et

BMW, à Ford ou encore PSA qui se positionne sur l'hybride Diesel-électrique. Déclinée à différents degrés, du simple «*stop'n start*» au «*full hybrid*» rechargeable (voir encadré page 100), l'hybridation est considérée comme la carte maîtresse de l'automobile de demain par nombre d'acteurs industriels. Adaptée à tous les usages (de l'urbain à la route), elle ne nécessite pas d'évolution des infrastructures de distribution de l'énergie. Son handicap actuel reste le coût d'achat, pour un retour sur investissement lié à l'usage que l'on fait du véhicule.

#### Objectif zéro émission

Reste que la meilleure façon de réduire ses émissions de CO<sub>2</sub>, c'est encore... de ne pas en émettre du tout. C'est le choix que propose notamment Renault, qui se positionne comme un pionnier du 100% électrique. «Avec le développement du véhicule électrique, les émissions moyennes de la gamme Renault passeront sous la barre des 100g au kilomètre dès 2016», annonce le P-DG Carlos Ghosn lors du Salon de l'automobile 2012. L'alliance Renault Nissan, qui a investi 4 milliards d'euros dans cette technologie, se fixe l'objectif de vendre 1,5 million de véhicules 100% électriques en 2016. Une ambition forte pour un marché encore confidentiel aujourd'hui, «quelque 40 000 véhicules électriques vendus, principalement en Europe et Amérique du Nord, avec beaucoup de petits constructeurs», estime Domi-

Seule l'analyse «du puits à la roue», intégrant la production et le transport des carburants, permet d'évaluer la véritable empreinte environnementale d'un véhicule. Ci-dessus, données indicatives pour différentes filières en 2010.

nique Herrier de l'IFP-EN. Parmi les défis technologiques que doit relever la filière : l'autonomie des batteries, qui induit une contrainte évidente sur les usages. La berline citadine Renault Zoé annonce ainsi une autonomie normalisée de 210 km avec recharge complète, mais une autonomie en parcours périurbain de 100 à 150 km. Pour le véhicule électrique, comme d'ailleurs pour les hybrides, le stockage embarqué d'électricité s'est imposé comme un champ de recherche stratégique. Tous les espoirs se portent sur l'amélioration des batteries lithium-ion. «Cette technologie mature est celle qui offre le meilleur rapport énergie-volume, avec des performances et une durée de vie compatibles avec l'usage automobile», résume Jean-Louis Liska, responsable du développement des éléments Li-ion Saft. Pour un véhicule 100% électrique, les batteries actuelles permettent d'embarquer une énergie de 20 à 30 kWh pour une masse de 200 à 300 kg, soit une énergie massique de l'ordre de 100 Wh par kilogramme de batterie (poids intégrant l'ensemble du bloc batterie).

Et demain ? «À terme, l'amélioration des matériaux de l'anode et de la cathode pourrait permettre d'atteindre 150 à 200 Wh/kg», indique Jean-Louis Liska. Soit une augmentation potentielle de 50% à 100% de l'autonomie des véhicules. Ce qui changerait la donne. Mais il faudra que, dans le même temps, les infrastructures de rechargement des véhicules se développent. Si la charge peut s'effectuer en 4 à 8 heures sur une prise électrique standard (16 A, 3 kW), le rechargement rapide (20 à 30 min pour la Zoé) nécessite des parcs de bornes spécifiques dont le déploiement à grande échelle pose d'autres problèmes (voir page 101).

#### Histoires d'eau

L'autre grande option pour concevoir des véhicules 100% électriques, c'est la pile à combustible, qui fait l'objet de recherches poussées depuis des années. Le principe : faire réagir, >>>

## LA VOITURE, PILIER DE LA MOBILITÉ INDIVIDUELLE

À pied ou à vélo, en voiture ou en bus, en train ou en avion ? Le «mix transport», comme le mix énergétique, gagne à être diversifié pour s'adapter à une demande croissante de mobilité. À l'échelle mondiale, la marche est le mode le plus utilisé (36% des déplacements individuels en distance). La voiture est le premier mode motorisé (22%), devant les transports en commun (20%) et les deux-roues (chiffres IFP-EN). Ce cahier «Chercheurs d'énergies» est centré sur la mobilité automobile, qui reste le grand défi énergétique de la mobilité individuelle.

Les batteries lithium-ion offrent les meilleures performances pour les motorisations hybrides ou 100% électriques.  
Ci-dessous : Module Saft Li-ion 48V pour voiture de type hybride «abordable», présenté par Saft au Mondial de l'automobile 2012.



>>> par oxydoréduction, de l'hydrogène embarqué dans un réservoir avec l'oxygène de l'air, ce qui produit de l'électricité et de l'eau. Plus de problèmes de gestion de la batterie : le «plein» se fait en quelques minutes, pour une autonomie de l'ordre de 400km actuellement. En Allemagne, les pouvoirs publics supervisent depuis dix ans l'initiative Clean Energy Partnership, qui réunit constructeurs, gaziers et groupes énergétiques autour d'un parc expérimental de stations. Toyota et Daimler annoncent des véhicules de grande série pour 2020. Mais les défis restent nombreux. Le prix des véhicules, même subventionnés, reste élevé. La distribution et le stockage du combustible sous pression posent aussi des problèmes de sécurité. Enfin, tout le bilan écolo-

gique dépend de la provenance de l'hydrogène. Celui-ci est aujourd'hui obtenu à 95% par reformage de combustibles fossiles : son faible coût de production (2€/kg) s'accompagne de l'émission de 12kg de CO<sub>2</sub>. Pour produire de l'hydrogène propre, une solution prometteuse est l'électrolyse haute température de l'eau, à partir d'une électricité elle-même décarbonnée. Le CEA annonce un coût de production potentiellement inférieur à 3€/kg – auquel il faut ajouter les coûts logistiques et les taxes.

La remarque vaut bien sûr pour chaque filière : seule l'analyse «du puits à la roue», intégrant la production et le transport des carburants, permet d'évaluer la véritable empreinte environnementale d'un véhicule (voir schéma p. 99). Ainsi une voiture électrique utilisant de l'électricité produite par une centrale au charbon peut-elle émettre davantage de CO<sub>2</sub> qu'un véhicule thermique classique. Quant aux biocarburants

liquides, renouvelables et compatibles avec les réseaux de distribution conventionnels, leur développement reste conditionné par la disponibilité des surfaces. Ainsi l'essor des agrocarburants de première génération s'est souvent effectué au détriment de surfaces forestières ou de l'agriculture vivrière – ce qui n'est pas le cas par exemple du biométhane carburant, lequel peut être obtenu à partir des déchets organiques urbains.

L'équation énergétique et environnementale de la mobilité reste extraordinairement complexe. Dans une étude parue en 2012, le cabinet Frost & Sullivan estime à 110 millions le nombre de véhicules particuliers vendus dans le monde en 2020. Parmi ceux-là, 2 à 3% d'électriques purs et 97 à 98% de motorisations thermiques plus ou moins hybridées, dont 9 à 11% utilisant des carburants alternatifs (gaz naturel, GPL, mélanges à fortes teneurs en biocarburants). L'histoire de l'automobile continue. ♦

## Vous avez dit «hybridation» ?

Tous les acteurs s'accordent à le dire : le véhicule hybride – thermique et électrique – sera une composante majeure de l'automobile de demain. Mais la notion désigne des motorisations très différentes. On peut distinguer trois grands niveaux d'hybridation :

♦ Les véhicules *micro-hybrids* sont dotés du système *stop & start* (par exemple arrêt et redémarrage automatique au feu rouge). Certains sont aussi équipés de dispositifs pour récupérer de l'énergie au freinage et/ou épauler le moteur thermique lors des accélérations – on parle alors de *micro-mild-hybrids*.

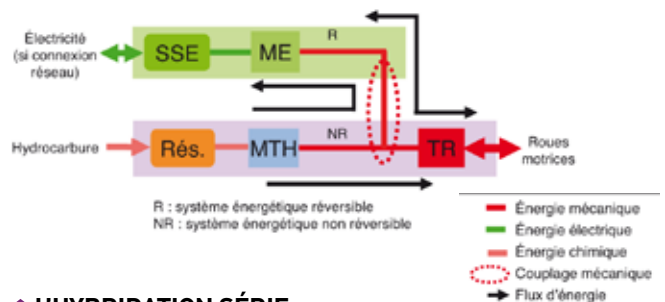
♦ Les véhicules *mild-hybrids* reprennent ces éléments et disposent de plus d'une capacité de propulsion électrique limitée : elle peut fonctionner aux vitesses inférieures à 50km/h, avec une autonomie de l'ordre d'1 km. Le moteur électrique peut délivrer une puissance de 8 à 15 kW.

♦ Les véhicules *full-hybrids* sont dotés d'une propulsion électrique pure, d'une autonomie pouvant aller de quelques kilomètres jusqu'à 50 km dans le cas des systèmes hybrides rechargeables, ou *plug-in hybrids*. Le moteur électrique peut atteindre une puissance de 20 à 40 kW ou plus. Les moteurs thermiques et électriques peuvent être associés en architecture série ou en parallèle. Dans le premier cas, le moteur thermique ne sert qu'à produire du courant : la propulsion est électrique, mais l'efficacité dépend du rendement cumulé des deux systèmes. Dans le second cas (hybride parallèle), les roues motrices sont «attaquées», selon les situations, par le moteur thermique ou par l'électrique – ou par les deux en même temps. Le rendement est globalement supérieur, mais l'ensemble nécessite une électronique poussée. Enfin, certains véhicules *full-hybrid*, à

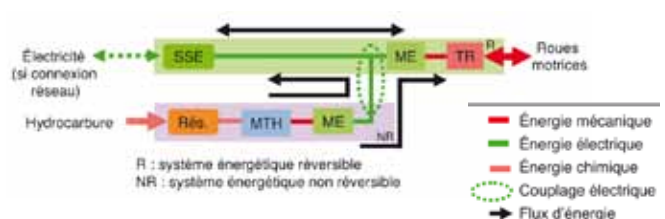
l'image de la Toyota Prius, intègrent une motorisation «parallèle-série» qui combine les deux architectures précédentes. Un rendement encore optimisé, au moyen d'un système complexe et d'une masse accrue.

De manière générale, le prix du véhicule augmente (par rapport à la motorisation thermique seule) avec le degré d'hybridation : le surcoût varie de 100 € pour un simple *stop & start*, à plus de 10 000 € pour les hybridations les plus poussées.

### ♦ L'HYBRIDATION PARALLÈLE



### ♦ L'HYBRIDATION SÉRIE



# Réseaux de distribution : des infrastructures à (ré)inventer

*Carburants alternatifs, hydrogène, voiture électrique... la diversification des sources d'énergie pour l'automobile nécessite des adaptations plus ou moins profondes des réseaux de distribution. Les modèles économiques restent à construire. Quelques repères.*



De gauche à droite : un volucompteur à Chaouia (Maroc) ; inauguration d'une borne de recharge rapide sur le parking d'un supermarché à Haguenau (Bas-Rhin).

« **C'**est le problème de la poule et de l'œuf! » : l'expression revient souvent lorsque l'on évoque les évolutions des infrastructures de distribution d'énergie qu'implique l'arrivée de nouvelles motorisations sur le marché. Sans un réseau de stations suffisant, difficile d'assurer une liberté de circulation – et donc d'inciter les particuliers à l'achat. Mais sans véritable parc en circulation, comment financer le développement et l'alimentation des nouveaux

réseaux ? « Dans le domaine des transports, les évolutions se font toujours de manière très incrémentale », analyse Dominique Herrier, directeur adjoint du centre de résultats Transports IFP-EN. Le poids de l'existant est énorme : à l'échelle mondiale, l'ensemble des équipements de distribution actuels représente un investissement cumulé estimé à 6 000 milliards de dollars. D'une filière à l'autre, les problématiques sont très différentes. Ainsi le développement des biocarburants liquides, souvent tiré par les politiques

publiques, ne pose que peu de problèmes au plan des infrastructures. « Ils sont pour la plupart fongibles dans d'autres carburants et se gèrent à travers les réseaux conventionnels », résume Daniel Le Breton, directeur Développement Produits de Total. À l'inverse, le véhicule 100 % électrique nécessite le déploiement d'infrastructures complètement nouvelles. Les bornes de recharge rapide actuelles, d'une puissance de 42 kW (contre 20 MW disponibles au pistolet d'une pompe à essence) demandent de lourdes adaptations du

réseau de transport d'électricité. « Le coût d'installation d'une seule borne en station-service est compris entre 50 000 et 65 000 euros, calcule Daniel Le Breton. Et sur une station d'autoroute, c'est deux ou trois fois plus. » Autre difficulté, le temps de charge – 30 minutes minimum en charge rapide – nécessite une surface au sol bien plus importante pour assurer la rotation des véhicules.

## Les laboratoires du 100 % électrique

Face à ces défis, les constructeurs doivent procéder par étapes, en commençant par déployer les réseaux de charges sur des parcs spécifiques : flottes captives, réseaux urbains type Autolib, parkings d'entreprise ou de collectivités. Ainsi Renault a décidé d'équiper ses sites français de bornes de recharge rapide. « Cette expérience nous permet de mener une réflexion globale pour préparer ces infrastructures à tous les niveaux, explique Philippe Davin, directeur Transports chez Vinci Énergies Île-de-France, qui assure le déploiement pour Renault, depuis les ateliers techniques consacrés à la normalisation des prises ou à la sécurité des utilisateurs, jusqu'à la conception de "smart grids", réseaux d'énergie intelligents qui permettent d'optimiser les flux électriques à l'échelle d'un site industriel. » De quoi envisager une extension aux parkings opérés par Vinci ? « Il faudra faire évoluer les contrats avec les collectivités », répond Philippe Davin. Autre expérimentation en >>>

>>> cours : La Poste, qui devrait déployer d'ici à 2015 plus de 10 000 véhicules électriques, a lancé avec ERDF le projet Infini Drive, visant à la mise au point d'un modèle standard pour les flottes d'entreprise. L'initiative est soutenue par la puissance publique, via l'ADEME, à hauteur de 3,5 millions d'euros, dans le cadre des Investissements d'avenir. Enfin, les grandes surfaces pourraient constituer un partenaire précieux par le déploiement des bornes de recharge sur leurs parkings. Nissan, qui a offert 400 bornes de sa conception à des enseignes européennes de grande distribution, tablerait sur un réseau de dizaines de milliers d'équipements en Europe à l'horizon 2015.

Outre les bornes de recharge rapide et le rechargement standard (8 à 10 heures sur une prise domestique), une troisième solution est à l'étude pour étendre les usages du véhicule électrique au-delà du trajet domicile-travail : le changement de batterie « minute ». C'est l'objectif de la société californienne Better Place. Celle-ci œuvre, en partenariat avec Renault, au déploiement d'un premier réseau d'échange opérationnel en Israël. Better Place a également inauguré début septembre une station dédiée à la flotte de taxis de l'aéroport d'Amsterdam, et développe des projets au Danemark ou aux Pays-Bas. Si la promesse apparaît séduisante, notamment pour des pays peu étendus, la technologie doit encore lever des difficultés importantes – entre autres, la gestion de stocks de différents types de batteries – pour convaincre les pouvoirs publics de la viabilité économique de son modèle à grande échelle.

#### Hydrogène :

**la route est encore longue**  
En comparaison, la voiture à hydrogène apparaît davantage « soluble » dans les modèles existants, tant au plan des réseaux de



distribution que des usages : une autonomie plus importante (400 km aujourd'hui), pas de limite de puissance motrice, un carburant stockable et un plein fait en quelques minutes. Mais là encore, le modèle économique est loin d'être stabilisé. Le coût du véhicule reste élevé (plus que pour un équivalent électrique rechargeable), tout comme celui du combustible lui-même et des infrastructures qu'il exige. « Une simple station à hydrogène représente un

investissement d'un million d'euros, soit autant qu'une station multipistes d'autoroute », indique Daniel Le Breton. La filière est cependant étudiée de près par Total, qui a inauguré sa première station opérationnelle à Berlin en 2012. Le pétrolier est membre depuis dix ans du groupement Clean Energy Partnership aux côtés notamment de Mercedes, Toyota, Hyundai, Honda, Air Liquide, Linde, Shell ou Siemens. Objectif : étudier des scénarios de montée en régime de la filière, au travers

*De haut en bas : site de stockage de GPL à Nairobi, Kenya ; un automobiliste fait le plein d'hydrogène dans la station Total de Berlin.*

d'un parc expérimental qui compte aujourd'hui cinq stations en Allemagne, et devrait s'étendre jusqu'à un réseau embryonnaire d'une cinquantaine de points en 2016. Pour faire le plein, l'option de l'hydrogène liquide, portée un temps par BMW, a été abandonnée. Les véhicules sont alimentés par de l'hydrogène sous pression (350 ou 700 bars), maintenu à -40°C. Comme toujours avec les gaz, le transport est lui aussi coûteux. Au final, le combustible est vendu autour de 9,5 €/kg à la pompe – « sans accises, avec une TVA à 20 % », précise Daniel Le Breton. Ce qui équivaut (à puissance égale) à une essence à 2,5 euros le litre. À terme, les évolutions technologiques mais surtout les incitations réglementaires laissent tout de même entrevoir la possibilité de descendre à 5 €/kg pour l'utilisateur, toujours hors accises. L'avenir n'est pas écrit. La décision politique est un moteur puissant pour impulser ces évolutions, mais pas toujours suffisant pour les inscrire dans les usages. Exemple ? Dominant en Argentine ou au Pakistan, le gaz naturel est aussi très utilisé en Italie, où existe à fin 2011 un parc de 779 000 véhicules GNV (Gaz naturel pour véhicules) pour 858 stations (chiffres NVGA Europe). En Allemagne, où ce carburant a été défiscalisé pendant vingt ans, le réseau compte davantage de stations (plus de 900)... pour beaucoup moins de véhicules GNV en circulation (96 000). En France, la filière, insuffisamment poussée, n'a jamais démarré pour les usages particuliers. Quant au GPL (Gaz de pétrole liquéfié), économique et mieux implanté – 1 750 stations dans l'Hexagone – il peine toujours à trouver sa clientèle. ◆

# « La révolution numérique va transformer les usages de l'automobile »

*Gagner en efficacité énergétique, c'est aussi repenser notre rapport à l'objet automobile, pour en développer des usages plus intelligents. Entretien avec Gabriel Plassat, expert Transports et Mobilité à l'ADEME.*



**Gabriel Plassat**

a débuté sa carrière dans la construction automobile : ingénieur Architecture Moteur chez Peugeot Citroën. En 2001, il rejoint l'ADEME au poste d'ingénieur Énergies et Prospectives, dans le service Transports et Mobilité. Il y développe des approches systémiques de la mobilité à l'ère numérique.

## Pourquoi devrions-nous, comme le prône l'ADEME, changer de rapport à l'automobile ?

La première raison, c'est évidemment la nécessité de consommer moins d'énergies fossiles, d'émettre moins de gaz à effet de serre (GES). L'objectif du «facteur 4», validé en France par le Grenelle de l'environnement, vise à réduire de 75 % les émissions globales des pays développés à l'horizon 2050 pour éviter des dégradations irréversibles du système climatique. Dans le secteur automobile, l'effort technologique que mènent en ce sens les acteurs industriels est nécessaire mais pas suffisant : il doit s'accompagner d'une mutation profonde des usages de la voiture. En France, le nombre de passagers moyen dans une voiture est aujourd'hui de 1,2. Si nous parvenions à une moyenne de deux personnes par véhicule, cela équivaudrait, pour un même flux transporté, à quarante années de progrès technologique en termes de réduction des GES ! Nous n'avons plus le temps de négliger ce gisement. D'autre part, la voiture individuelle est moins adaptée qu'hier à nos besoins en mobilité, notamment en zone urbaine. Depuis un siècle, les constructeurs ont produit un objet exceptionnel, qui s'est imposé comme le mode de transport dominant. La voiture, censée répondre à tous nos besoins de déplacement, s'est améliorée sans cesse en oubliant de s'intéresser aux évolutions des usages.

## Les attentes changent-elles ?

Avec l'extension des grandes agglomérations, la mobilité devient plus

complexe, plus multimodale. Les transports en commun font l'objet de gros investissements, le vélo trouve un nouveau souffle. La voiture n'est qu'une option, avec ses avantages et ses inconvénients – pollution, coût, congestion. Il y a une vraie prise de conscience dans les opinions, qui se traduit depuis plusieurs années par des réalisations significatives : l'essor du covoiturage, les plates-formes d'autopartage, le succès du Vélib' – mauvais objet à mon sens, mais offrant un service performant. À New Delhi, le gouvernement développe avec Mega Carpool une flotte de véhicules particuliers optimisée par un système GPS. La Chine va expérimenter des véhicules électriques en libre-service – voitures basiques et modèles d'affaires. General Electric va acheter 25 000 véhicules électriques pour apprendre à les opérer, en vue de devenir fournisseur de mobilité. Ce sont des signes d'un glissement de fond, de l'automobile patrimoine à l'automobile service.

## Pour l'ADEME, la généralisation de l'Internet mobile sera le moteur de cette évolution...

C'est ce qui la rend possible. Le numérique permet d'accéder, comme jamais auparavant, à la connaissance des usages. Une société comme Amazon connaît ses clients d'une manière inédite. Dans le champ de la mobilité, des acteurs puissants s'emparent de ces sujets. IBM développe des systèmes de prédiction de trafic à une heure. Apple investit dans les applications cartographiques. Avec Street View, Google est en train d'annexer le monde réel. En

Californie, la compagnie prépare très sérieusement la mise en service de *cybercars* sans pilote, opérés par un système central via le GPS. L'ADEME, qui appuie la création en France d'une filiale industrielle «véhicules serviciels», s'emploie à favoriser cette évolution.

## Quels sont les freins aujourd'hui ?

Les comportements sont prêts à évoluer mais nous manquons d'imaginaires collectifs pour la mobilité du futur. L'acceptabilité est la clé : il faut que les personnes comprennent l'intérêt pour eux et pour le collectif. Au plan économique, la décision politique doit accompagner la transformation des modèles d'affaires. Quant aux constructeurs, leur intérêt est de l'anticiper – ils commencent à le faire d'ailleurs, avec des services comme Twizyway chez Renault, Mu by Peugeot ou Citroën Multicity.

## À quoi roulera la voiture de demain ? Pétrole, gaz, biocarburants, électricité, hydrogène ?

Il n'y a pas de solution évidente. Le plus probable, c'est un mix entre quelques filières gagnantes pour des usages donnés. Mais je préfère me demander combien nous serons à l'intérieur ! ♦

PROPOS RECUEILLIS PAR LAURENT BASILICO

Ce cahier spécial **La Recherche** a été réalisé avec le soutien de la direction scientifique de **TOTAL**

**Comité éditorial :** Jean-François Minster, Total - Olivier Appert, IFP Énergies nouvelles - François Moisan, Ademe - Bernard Salha, EDF - Bernard Tardieu, Académie des technologies - Marc Florette, GDF SUEZ - Jean-Michel Ghidaglia, *La Recherche*.

**Rédaction :** Laurent Basilico

**Conception graphique et réalisation :** A noir, **Crédits photographiques :** Frog 974/Fotolia.com, SAFT, Marco Dufour/Total, Vinci Énergies, Philippe Schaff/Total, Bernard Blaise, DR

Retrouvez ce cahier spécial en français et en anglais sur le site

**planete-energies.com**  
une Initiative de **TOTAL**