

La voiture de demain

Dans un contexte tendu, entre la perspective du changement climatique et des pressions géopolitiques croissantes sur les ressources pétrolières, le véhicule électrique peut apparaître comme une solution d'avenir. N'émettant aucune pollution au niveau local, il est même souvent qualifié de véhicule "zéro émission", de manière exagérée cependant puisque cette expression ne prend en compte le contenu en carbone ni de l'électricité qu'il utilise, ni de son cycle de vie. L'intérêt écologique se double de considérations de sécurité énergétique, mais les bénéfices pour la collectivité s'accompagnent de contraintes qui pèsent en premier lieu sur les particuliers : recharges fréquentes et longues, autonomie limitée. Si les consommateurs semblent prêts à reconsidérer leur vision de la mobilité, le prix restera pour beaucoup une variable très importante dans la décision d'achat : la rentabilité du véhicule électrique dépendra principalement du prix de la

batterie ainsi que de la distance annuelle parcourue. Compte tenu des différences actuelles de coûts, le véhicule électrique ne sera probablement pas moins cher que le véhicule thermique dans les prochaines années : il ne faut donc pas s'attendre à une irruption du tout-électrique sur le marché. Si l'on se fixe l'objectif de réduire notre dépendance au pétrole (ce qui conduit *de facto* à diminuer également les émissions de dioxyde de carbone), il faut poursuivre l'amélioration des véhicules thermiques, dont les marges de progrès sont importantes : une réduction de 50 % des consommations unitaires par rapport à 2007 est raisonnablement possible à terme. L'électrification progressive des véhicules thermiques et le développement à grande échelle des véhicules hybrides rechargeables permettraient d'aller encore plus loin et constituent des voies d'amélioration prometteuses. ■

PROPOSITIONS

- 1 Modifier les méthodes réglementaires de mesure des consommations énergétiques et des émissions de CO₂ afin qu'elles soient plus représentatives de l'utilisation réelle des véhicules.
- 2 Poursuivre les efforts d'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules à moteur thermique par un durcissement de la réglementation : les émissions de CO₂ devront être limitées, dès que possible, à 70 g/km pour les parcs de véhicules neufs de tourisme.
- 3 Obliger les constructeurs, dans un délai maximum de trois ans, à doter les véhicules neufs d'un dispositif coupant automatiquement le moteur lorsque le véhicule est à l'arrêt.
- 4 Réduire le stationnement résidentiel en augmentant progressivement son tarif.
- 5 Finaliser sans tarder les normes que doivent respecter les bornes de recharge tant publiques que privées pour garantir la sécurité des installations.
- 6 Renforcer progressivement l'incitation à l'achat de véhicules neufs peu polluants.

▶ LES ENJEUX

Parce que le changement climatique est désormais au cœur de toutes les politiques énergétiques, le développement de technologies plus propres, notamment dans le secteur des transports, qui représente près d'un quart des émissions de dioxyde de carbone liées à l'activité humaine, est devenu une priorité. En outre, en 2008, le prix du pétrole a fortement augmenté. Comme souvent après les grands chocs pétroliers, le véhicule électrique est alors réapparu sur le devant de la scène. Aiguillonnés par les pouvoirs publics, notamment par les réglementations en faveur des véhicules "décarbonés", les constructeurs automobiles s'intéressent donc à nouveau au véhicule électrique. Cela veut-il dire pour autant qu'il constituera la seule réponse aux enjeux de demain ?

🔗 QUEL AVENIR POUR LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE ?

Différents constructeurs se sont positionnés sur le segment du véhicule électrique. En France, Renault prévoit de mettre sur le marché des véhicules tout électriques d'ici la fin de l'année 2011. Le groupe PSA commercialise la IMieV du constructeur japonais Mitsubishi sous le nom Ion. Les ambitions du groupe Bolloré doivent trouver un débouché dans la formule d'autopartage dénommée "Autolib" (projet parisien de 3 000 véhicules Bluecar, dont le démarrage est prévu à l'automne 2011). À l'étranger, plusieurs constructeurs (Nissan, BMW, Daimler, Mitsubishi, etc.) ont eux aussi annoncé la sortie de véhicules tout électriques.

📌 Véhicule électrique : de quoi parle-t-on ?

Les véhicules qui font intervenir l'électricité pour se mouvoir sont souvent qualifiés de véhicules électriques alors qu'ils relèvent de catégories différentes, précisées par la réglementation européenne ou nationale.

Le véhicule à moteur thermique (VTh), qui est aujourd'hui le plus répandu, est mû uniquement par un moteur à combustion interne, utilisant pour l'essentiel du gazole ou de l'essence. **Un véhicule électrique pur (VE)**, dit tout électrique, est un véhicule qui dispose d'une chaîne de traction électrique et d'un dispositif de stockage de l'énergie électrique (une batterie en général), qui doit être régulièrement rechargé par raccordement à un réseau de distribution d'électricité. **Un véhicule électrique hybride (VH)** est doté d'une double motorisation, électrique et à combustion interne. Il est équipé d'une batterie autorisant des petits déplacements (2 km environ) en mode électrique pur. Son intérêt réside dans l'amélioration du rendement global : il permet en effet au moteur thermique de fonctionner avec un meilleur rendement, en combinant propulsion thermique et électrique. Ce véhicule tire entièrement son énergie d'un combustible fossile, et l'électricité utilisée par le moteur électrique ne provient que de la conversion de ce carburant en électricité par le moteur thermique et de la récupération d'énergie de freinage. **Un véhicule électrique hybride rechargeable (VHR)** est un véhicule hybride dont le dispositif de stockage d'énergie peut être rechargé grâce à une source extérieure d'électricité. Il est généralement doté d'une capacité de batteries embarquées plus

importante que le VH et peut se mouvoir en mode électrique pur sur des distances de l'ordre de 15 à 30 km. Ces véhicules doivent permettre de rouler en ville grâce à l'électricité, et en mode thermique lors des longs parcours.

Ce renouveau du véhicule électrique intervient dans un contexte technologique et géopolitique favorable :

- ▶ les batteries au lithium, produites pour l'essentiel par trois grands pays asiatiques (le Japon, la Corée du Sud et la Chine), d'abord pour la téléphonie mobile et les ordinateurs portables, constituent des sources de progrès très importants par rapport aux générations précédentes ;
- ▶ les pouvoirs publics favorisent le développement des véhicules "décarbonés", adoptant des réglementations et incitations ;
- ▶ la préoccupation du changement climatique conduit également les consommateurs à prendre conscience qu'un changement en profondeur des modes de consommation, notamment de la mobilité, doit être envisagé ;
- ▶ la croissance économique des pays émergents, ainsi que l'incertitude sur l'état des ressources mondiales d'hydrocarbures, accroît l'inquiétude sur l'approvisionnement futur en pétrole. La tension sur les marchés a conduit à des prix élevés et volatils, une tendance qui, selon certains observateurs, pourrait encore s'accroître.

Dans ce contexte, le développement des véhicules électriques revêt un double objectif : répondre aux problématiques environnementales tout en réduisant la dépendance présente et future au pétrole.

(Des atouts pour la collectivité

Alors que certaines villes européennes sont encore confrontées à des concentrations élevées de particules fines, ozone ou oxyde d'azote, le véhicule électrique apparaît comme une solution intéressante pour diminuer la pollution locale, notamment dans les centres-villes encombrés. Fonctionnant à l'électricité, il n'émet, en effet, pas de polluants toxiques, contrairement au véhicule thermique. De plus, il est relativement silencieux, à vitesse faible et lors des démarrages et accélérations, ce

qui est particulièrement appréciable dans les habitats denses.

Autre point positif, il n'émet pas de CO₂ à l'usage. Cet avantage comparatif en matière d'impact environnemental par rapport au véhicule thermique doit cependant être nuancé. Car si le fait qu'il n'émette pas de CO₂ à l'usage lui a conféré cette image de véhicule écologique, décarboné ou "zéro émission", cet affichage "vert" n'intègre pas le contenu carbone de son cycle de vie (fabrication, électricité utilisée par le véhicule, élimination, etc.). Le véhicule électrique – ou hybride rechargeable – peut, dans certains cas, réduire les émissions de gaz à effet de serre (en comparaison des véhicules thermiques) mais il ne peut être considéré comme une solution intéressante dans la lutte contre le changement climatique que s'il est associé à une production d'énergie décarbonée. Ainsi, la structure du parc électrique français donne au véhicule électrique un avantage certain, qui ne peut cependant être généralisé à tous les pays.

Le véhicule électrique, un véhicule "zéro émission" ?

Même si la France semble de prime abord le lieu d'implantation le plus judicieux du point de vue des émissions de CO₂ en raison d'un parc électrique majoritairement nucléaire, l'utilisation courante de l'expression "zéro émission" pour évoquer le véhicule électrique doit être fortement nuancée. Il paraît exclu de compter exclusivement sur le rechargement de nuit à partir d'électricité d'origine nucléaire. En effet, les utilisateurs, par nécessité, auront tendance à recharger leurs batteries dès qu'ils le pourront (en particulier sur le lieu de travail) et non pas seulement à des heures choisies (spécialement la nuit). Les émissions de CO₂ des véhicules électriques "du puits à la roue" risquent donc d'être en France plus proches de 30-40 g CO₂/km que des 10-20 g CO₂/km généralement cités, ce qui ne remet pas en cause la situation privilégiée de la France sous cet aspect. La moyenne des émissions de CO₂ des véhicules neufs vendus en France en 2009 était en effet de 133 g CO₂/km. Les mix énergétiques étant, dans les autres pays, généralement plus carbonés qu'en France (en moyenne, environ 80 g CO₂/kWh produit), les émissions globales des véhicules électriques y sont comprises entre 80 et 120 g CO₂/km selon les études et les pays (Allemagne,

États-Unis, Japon, Israël). En Inde (plus de 950 g CO₂/kWh produit), en Australie (920 g CO₂/kWh produit), ou en Chine (800 g CO₂/kWh produit), nations où la production d'électricité se fait massivement à base de charbon et, encore pour longtemps probablement, sans captation et séquestration du CO₂, les émissions sont équivalentes, voire dépassent celles des meilleurs véhicules diesel d'aujourd'hui.

Ainsi, un véhicule tout électrique (consommant 200 Wh/km) émettrait, à l'usage, entre 12 et 20 g CO₂/km en France.

En Chine, ses émissions seraient de 160 g CO₂/km, si bien qu'un fort développement de ce type de motorisation entraînerait une augmentation des émissions de GES. À cela s'ajoute la fabrication des batteries, avec une dépense en énergie pouvant largement dépasser celle de l'usage d'un véhicule électrique sur toute sa durée de vie. Si, comme c'est le cas actuellement en France, les batteries étaient importées de Chine ou de Corée du Sud, le contenu carbone d'un kilomètre parcouru pourrait atteindre jusqu'à 66 grammes de CO₂ par kilomètre.

Rappelons que la nouvelle réglementation européenne impose aux constructeurs de produire progressivement, à partir de 2012, des véhicules émettant en moyenne moins de 130 g CO₂/km⁽¹⁾ et abaisse en 2020 cette valeur à 95 g CO₂/km. Dans ce système, chaque véhicule électrique vendu compte pour zéro émission et peut alors contribuer de manière significative à éviter les pénalités induites par les véhicules qui dépassent les seuils affichés.

La recherche d'une réduction de la dépendance énergétique constitue enfin l'une des raisons principales conduisant au développement du véhicule électrique. Ainsi la Chine et Israël affichent clairement que le développement de motorisations électriques sur leur territoire est avant tout lié à leur volonté de réduire leur approvisionnement pétrolier.

Des inconvénients pour les particuliers

La sécurité des batteries, du moins pour certains modèles au lithium, n'est pas encore totalement assurée alors qu'elle constitue un enjeu majeur pour le développement des véhicules électriques. L'exemple du lancement difficile de la Nano de Tata montre qu'il peut y avoir des retours d'image particulièrement négatifs en cas d'accidents en période de lancement commercial. La mise en œuvre de

certifications en matière de sécurité (type INERIS) apparaîtra vite comme incontournable, tant pour les véhicules hybrides rechargeables que pour les véhicules tout électriques.

Le vieillissement et la durée de vie des batteries constituent encore aujourd'hui un sujet d'interrogation : les batteries (sinon le véhicule lui-même) seront donc préférentiellement louées sur une longue durée, car il est peu probable qu'un propriétaire puisse supporter le coût de leur changement si elles sont défectueuses.

La durée de recharge standard (entre 5 et 8 heures sur une alimentation à 220 volts, le double en 110 volts aux États-Unis) apporte une contrainte nouvelle en matière de gestion du temps d'usage, de mode d'approvisionnement électrique (il faut trouver un emplacement avec une prise sécurisée) et de disponibilité immédiate du véhicule. Cette contrainte peut être partiellement compensée par l'accès à des points de recharge accélérée ou rapide, qui restent toutefois à mettre en place dans les lieux publics et dont l'usage doit rester exceptionnel, tant en raison des incertitudes sur l'effet de leur usage répété sur la durée de vie des batteries que pour privilégier les recharges en périodes creuses.

L'autonomie limitée est le handicap le plus lourd du véhicule tout électrique. La consommation est très difficile à prévoir, puisqu'elle dépend beaucoup du mode de conduite, de la vitesse, du profil de la route, de la vitesse du vent, de la température extérieure (pour le chauffage et la climatisation) et de l'utilisation des accessoires (éclairage, essuie-glaces, radio, etc.). Les constructeurs affichent une autonomie souvent proche de 150 km, calculée à partir des tests normalisés de consommation, mais certains ajoutent qu'en pratique, elle est plutôt de l'ordre de 80 km, soit l'équivalent de 5 à 8 litres de carburant dans un véhicule thermique classique⁽²⁾.

Autonomie des VE et cycles d'homologation

L'autonomie des véhicules électriques constituera un élément important pour le consommateur. Cette donnée est le résultat des cycles d'homologation. Ceux-ci ont d'abord été conçus pour mesurer la consommation de carburant et les émissions correspondantes de CO₂ des



[1] Une réduction supplémentaire de 10 g sera obtenue par le recours, par exemple, à des biocarburants ou à des pneus basse consommation.

[2] Pour un véhicule thermique, l'autonomie est estimée entre 600 et 1 000 km.

véhicules thermiques et sont maintenant utilisés pour définir l'autonomie des véhicules tout électriques. Or la consommation des auxiliaires (chauffage, climatisation, dégivrage des vitres...) n'est pas prise en compte dans les mesures normalisées actuelles. Pourtant, elle peut représenter une proportion significative de la consommation d'énergie dédiée à la seule propulsion du véhicule. Comme les véhicules tout électriques embarquent une quantité d'énergie relativement faible, l'autonomie affichée par les constructeurs, établie par les cycles d'homologation actuels, peut être très éloignée de la réalité vécue quotidiennement. Ainsi, l'autonomie réelle peut être inférieure de plus de moitié à celle affichée par les constructeurs (déterminée par ces tests). **Il est donc indispensable de modifier les cycles d'homologation actuels : ils doivent être représentatifs de l'utilisation moyenne des véhicules – tant électriques que thermiques – et, en particulier, fournir une information réaliste sur l'autonomie des véhicules électriques.**

Pour surmonter ces difficultés, la voiture tout électrique devrait être moins chère que la voiture thermique comparable

Les données économiques semblent en défaveur du véhicule électrique, même en intégrant des effets d'échelle à venir en cas de succès.

LA RENTABILITÉ DU VÉHICULE ÉLECTRIQUE DÉPENDRA PRINCIPALEMENT DU PRIX DE LA BATTERIE ET DE SON UTILISATION

Les calculs de coût global du kilomètre parcouru nécessitent la connaissance de paramètres encore très incertains, d'autant plus que le marché de l'occasion des véhicules électriques et des batteries n'existe pas encore. Les plus importants sont le prix d'achat ou de location du véhicule et des batteries, le prix de l'énergie (en n'oubliant pas que le prix de l'électricité subit des variations dans le même sens que celui du pétrole dans la plupart des pays), la taxation de l'énergie (en France, on compare le prix du carburant fortement taxé au prix de l'électricité peu taxée), la consommation future des véhi-

cules thermiques et le nombre de kilomètres parcourus. Dans la plupart des cas, le véhicule tout électrique (hors prix de la batterie) n'est pas moins cher que son équivalent thermique complet. De plus, le coût de la batterie (qu'elle soit achetée ou louée) sera difficilement compensé par les coûts de fonctionnement moins élevés, même en tenant compte de l'aide actuelle de 5 000 € en France (plafonnée à 20 % du prix du véhicule, batterie comprise). Avec les offres commerciales affichées début 2011, **le coût de revient kilométrique d'un véhicule électrique apparaît le plus souvent entre 20 % et 100 % plus élevé que celui d'un véhicule conventionnel à usage équivalent, selon le nombre de kilomètres annuels parcourus.**

Les effets d'échelle d'une production croissante de véhicules électriques (hors batterie) devraient néanmoins engendrer une baisse des coûts :

- ▶ dans la fabrication des moteurs électriques, si toutefois le renchérissement attendu du prix de certaines matières premières (notamment cuivre et métaux non ferreux issus des terres rares) ne venait pas la contrebalancer ;
- ▶ dans la production en série des batteries, qui devrait faire baisser leur coût unitaire. Le chiffre de 300 €/kWh constitue cependant, pour de nombreux experts, un seuil au-dessous duquel il est difficile d'aller, en raison du prix des composants de base. Les constructeurs auront alors le choix entre deux possibilités : **soit réduire le handicap de prix, soit réduire le handicap du manque d'autonomie.**

Autre paramètre important, la distance parcourue annuellement est déterminante dans le coût de revient au kilomètre. L'autonomie du véhicule électrique le désigne comme un véhicule à **usage principalement urbain, suburbain ou pour de courtes distances.** Aujourd'hui, la majorité des trajets font moins de 4 km, ce qui, sur la base d'un aller-retour quotidien, correspond à 3 000 km parcourus annuellement. Or, compte tenu de la différence de prix entre l'électricité et le diesel, le véhicule électrique ne devient rentable par rapport à son homologue thermique que s'il parcourt au moins 15 000 kilomètres par an.

DES INFRASTRUCTURES DE CHARGE SONT NÉCESSAIRES AU DÉVELOPPEMENT DU VÉHICULE ÉLECTRIQUE

Le développement du véhicule électrique dépendra également des infrastructures prévues lors de son déploiement ainsi que du modèle économique choisi.

Aucune décision n'a encore été prise quant aux systèmes de recharge et de connecteurs. Au niveau européen, les différences structurelles des réseaux électriques ainsi que les stratégies variées des constructeurs automobiles (diversité de charges possibles) freinent l'établissement de normes.

La recharge des véhicules doit s'effectuer de préférence lors du stationnement de longue durée (nocturne au domicile, en parking collectif ou sur la voirie, ou en journée sur le lieu de travail) et à un niveau de puissance de charge usuel dans le contexte domestique (3 kVA, soit environ 8 heures pour une recharge complète en charge dite "normale"). Parce qu'il utilise pour l'essentiel une infrastructure existante sans la bouleverser, ce mode de charge dite "normale" est, de loin, le moins coûteux et donc le plus souhaitable. Sur la base de simulations, et des premières expérimentations, on table sur 90 % à 95 % de recharges de ce type. Les installations de charge accessibles au public n'existent pas encore. Il s'agit là de postes financièrement non négligeables, tant pour les particuliers (installation domestique à vérifier, voire à sécuriser, ou prise de charge dédiée, le tout pouvant dépasser 1 000 €) que pour les collectivités (un poste de recharge public pour une recharge en une trentaine de minutes, dite rapide, en 43 kW coûte environ 50 000 €). Pour sécuriser l'utilisation du véhicule et pour gérer la demande en électricité, il est en effet nécessaire de donner la possibilité de recharges d'appoint en dehors du stationnement principal, "accélérées" (22 kVA, soit une recharge complète en 1 heure maximum), ou "rapides" (43 kVA maxi 30 minutes). Cette possibilité doit néanmoins être limitée pour des raisons de coût et d'impact sur la durée de vie des batteries⁽³⁾. Autre élément à prendre en compte, ces systèmes favorisent la recharge

en dehors des heures creuses et peuvent accroître ainsi la demande de pointe.

La sécurité de ces installations aura également un coût significatif, encore mal connu aujourd'hui : remise en cause de certaines installations domestiques non adaptées à la recharge de batteries pendant plusieurs heures, modalités juridiques d'installation de prises et de bornes d'alimentation homologuées dans les parkings souterrains privatifs (révision des règlements de copropriété, modalités du comptage des consommations électriques), réalisation de l'alimentation électrique des postes de charge publics, etc.

L'apparition d'un marché significatif en matière de motricité électrique nécessite une combinaison de contraintes réglementaires et d'incitations financières

EST-IL POSSIBLE DE CRÉER UN MARCHÉ "GRAND PUBLIC" SUBSTANTIEL ?

Les consommateurs sont de plus en plus sensibilisés à l'impact de leurs choix de consommation sur l'environnement. Ainsi, lorsque le véhicule électrique est présenté comme un véhicule "décarboné", les sondages réalisés depuis deux ans indiquent que les trois quarts des Français se déclarent prêts à acquérir un véhicule de ce type. Si cette intention d'achat signale que les habitudes de mobilité pourraient évoluer, la décision d'achat effective est conditionnée par le prix, la plupart des sondés n'acceptant pas de payer un véhicule électrique plus cher que son équivalent thermique (pour l'obtention d'une autonomie plus faible). Les contraintes actuelles (faible autonomie, infrastructures) et des considérations économiques constituent des obstacles à la création d'un marché "grand public" des véhicules électriques.

Il est donc probable que, dans un premier temps, les marchés seront spécialisés et correspondront à des niches : **des flottes d'entreprises pourraient constituer un débouché intéressant.** Des entreprises peuvent en effet disposer sur place des points de recharge nécessaires



[3] Les systèmes d'échange rapide [de type "quick drop"] promus par exemple par "Better Place" peuvent permettre aux VE de parcourir de longues distances. Avant que de telles solutions soient déployées, de nombreux détails techniques devront être réglés (normalisation, systèmes d'échange...), mais c'est surtout le modèle économique qui doit être pensé, le coût d'une station étant évalué à 1,2 M € et le fournisseur devant disposer d'un stock de batteries important, immobilisé pendant les recharges.

et réduire les coûts d'usage par un kilométrage annuel relativement élevé, avec des parcours prévisibles. Elles en tireraient un avantage en termes d'image ou de stratégie d'entreprise : adhésion des personnels conducteurs, gage de bon comportement (responsabilité sociale et environnementale), compatibilité avec des objectifs négociés (par exemple contrat d'objectif et de moyens entre l'État et un établissement public).

Différents types de véhicules tout électriques (qui ne sont pas examinés dans le cadre de cette étude) pourront également trouver leur place pour le transport de personnes ou de marchandises (véhicules électriques légers, quads, quadricycles, véhicules à 2 ou 3 roues, ou utilitaires légers pour les livraisons en ville, comme ceux utilisés par la Poste ou ERDF).

Au-delà de ces marchés spécialisés, demeure la question de l'émergence du marché "grand public", pour faire décoller la demande, donc la production et par conséquent pour faire baisser les prix : aujourd'hui, même si un certain nombre de consommateurs veulent mettre en pratique leurs convictions environnementales et acheter un véhicule électrique pour des trajets urbains, le consommateur "moyen" ne paraît pas pouvoir être spontanément tenté par une expérience qui risque de ne pas lui coûter moins cher et va lui apporter des sujétions nouvelles.

Le véhicule électrique pourrait néanmoins trouver sa rentabilité dans un certain nombre de services de mobilité. À l'instar de l'expérience Vélib' menée dans Paris, **les voitures électriques répondraient à l'achat de services et non à l'achat d'un bien**. Les expériences existantes de voitures en libre-service (La Rochelle et Saint-Quentin-en-Yvelines) n'ont pas prouvé leur rentabilité. L'opération Autolib' annoncée pour l'automne prochain à Paris sera donc un test important pour savoir si l'économie de service peut trouver un nouveau débouché dans la mobilité.

L'analyse qui précède s'appuie sur l'hypothèse de la rationalité économique de l'automobiliste. Mais il existe d'autres critères que le coût, tels que la démonstration d'un statut social (qui conduit à préférer certains modèles ou marques plutôt que d'autres), le souci de sécurité (qui peut justifier l'achat d'un véhicule plus gros et plus lourd

que nécessaire) ou encore un comportement soucieux de l'environnement. Toutes ces motivations peuvent sans conteste servir le véhicule électrique mais elles ne suffiront probablement pas à garantir le développement d'un marché significatif.

➤ **DES CONTRAINTES DE CIRCULATION SERAIENT FAVORABLES À LA MOTRICITÉ ÉLECTRIQUE**

Dans certaines zones, les centres-villes en particulier, la mobilité électrique apporte un réel avantage, notamment en termes de qualité de l'air et d'ambiance sonore. Si l'on veut promouvoir le véhicule électrique, il faut donc modifier le comportement des consommateurs, non pas par des incitations financières puissantes (comme en Israël où la suppression de la taxe à l'importation des véhicules électriques équivaut à une subvention de 45 % sur le prix d'achat) et peu probables sur la durée, mais par des obligations nouvelles : instauration de restrictions de circulation (péage à l'entrée de zones urbaines exonérant certaines catégories de véhicules "propres") ou zones à circulation réglementée (voies prioritaires ou zones urbaines réservées à des véhicules électriques ou "propres" dont les émissions seraient inférieures à un seuil donné).

De telles mesures pourraient bénéficier au transport collectif, ainsi qu'à une nouvelle sorte de motricité électrique. Ainsi la Chine, en interdisant les deux-roues à moteur thermique qui polluaient les centres urbains, a favorisé l'éclosion des deux-roues électriques qui sont actuellement près de 150 millions dans ce pays.

Les véhicules hybrides rechargeables : une solution de transition séduisante ?

Le **véhicule hybride rechargeable (VHR) sur le réseau électrique** combine les avantages des véhicules électriques en ville (faibles nuisances locales) et des véhicules thermiques sur route (autonomie, performances). Contrairement au véhicule électrique, il ne permet pas de s'affranchir intégralement de l'essence ou du diesel mais il entraîne néanmoins une diminution significative de ces consommations.

La recharge du véhicule hybride rechargeable dure environ deux heures. Elle est donc possible sans risque sur des prises existantes en 220 volts, alors que la recharge du véhicule tout électrique nécessite des alimentations sécurisées qui sont encore à mettre en place.

En termes d'utilisation, le véhicule hybride rechargeable diffère sensiblement du véhicule tout électrique : ce dernier se positionne comme un petit véhicule adapté à des trajets courts et répétitifs, un moyen de transport urbain (un second véhicule) ou un véhicule de navetteurs ("commuters") ; le véhicule hybride rechargeable peut se substituer pour tous ses usages au véhicule thermique, en étant électrique en ville et thermique sur des parcours longs : il peut respecter des contraintes réglementaires favorables à la motricité électrique, pour peu qu'il dispose d'une autonomie électrique au moins égale à 20 km en conditions réelles et que son utilisateur puisse choisir lui-même son mode de fonctionnement, thermique ou électrique.

Sur le plan économique, le véhicule hybride rechargeable est cependant plus coûteux que le véhicule thermique, compte tenu de sa double motorisation et de la capacité de ses batteries (au moins 5 kWh). Il se compare plus au véhicule tout électrique qui n'a qu'une seule motorisation, mais davantage de batteries.

❖ L'ATTEINTE D'OBJECTIFS GÉNÉRAUX DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS SUPPOSE UNE FORTE AMÉLIORATION DES PERFORMANCES DES VÉHICULES THERMIQUES

L'amélioration des performances des véhicules thermiques, qui profitera également aux véhicules hybrides, doit être poursuivie pour parvenir aux objectifs globaux de réduction des pollutions atmosphériques urbaines et de réduction des émissions de CO₂.

Différentes voies, déjà explorées et considérées comme exploitables, sont mentionnées ci-après. Toutes n'aboutiront pas, notamment pour des raisons d'optimisation économique, mais elles sont suffisamment nombreuses pour permettre d'envisager raisonnablement l'objectif

d'une division par deux de la consommation des véhicules⁽⁴⁾, en prenant 2007 comme année de référence.

Véhicule thermique : des progrès attendus dans la motorisation conventionnelle

En matière de motorisation, aux techniques performantes largement utilisées (injection directe, turbo-compression...) viendront s'ajouter celles qui commencent à équiper des modèles sur le marché et celles qui sont d'ores et déjà en voie de mise au point, notamment chez les équipementiers, permettant d'envisager une réduction de 20 % à 40 % des consommations unitaires :

- ▶ distribution variable, commande électromagnétique des soupapes, variation du taux de compression en ce qui concerne le moteur à essence ;
- ▶ systèmes de combustion à basses émissions d'oxydes d'azote (NOx), filtres à particules et à oxydes d'azote (système DéNOx) pour le moteur diesel ;
- ▶ réduction de la cylindrée ("downsizing"), catalyse avancée, micro-hybridation ("stop & start") pour toutes motorisations.

L'introduction progressive de l'électricité dans la motorisation permettra d'aller encore plus loin dans la réduction de la consommation unitaire des véhicules thermiques. Les systèmes dits "stop & start" coupent le moteur lorsque son fonctionnement n'est pas nécessaire : en ville, dans les zones les plus congestionnées, ils réduisent les consommations de 20 % à 25 %. La récupération de l'énergie de freinage apporte un gain d'environ 5 %.

D'autres perfectionnements techniques peuvent être envisagés, mais ils supposent une modification des comportements et une meilleure organisation du secteur du transport individuel

Au-delà de ces améliorations sur les moteurs, des gains communs à tous les types de véhicules peuvent être obtenus :

- ▶ des réductions de 10 % à 15 % de la consommation peuvent être obtenues en travaillant sur les postes fonctionnels de base d'un véhicule, autres que ceux relevant de la motorisation. Quelle que soit la propul-



[4] On rappelle que, lorsque l'on combine deux gains X et Y, le gain résultant se calcule en soustrayant de 1 le produit [1-X] par [1-Y] et non pas en additionnant X et Y.

sion envisagée, des gains sont attendus sur les caractéristiques structurelles du véhicule, telles que son poids, son aérodynamisme ou encore les frottements des pneumatiques. Mais il faut aussi prendre en compte le fait que son aspect fonctionnel se complexifie (climatisation, dispositif de sécurité, automatisation, etc.), ce qui entraîne bien souvent un accroissement de la masse du véhicule et des consommations associées ;

- ▶ **une diminution des performances dynamiques** (vitesse maximale atteinte par le véhicule et temps nécessaire à l'accélération) **conduirait à une réduction de la consommation unitaire d'au moins 15 %**. Par exemple, aujourd'hui, la plupart des véhicules mis sur le marché sont capables de rouler largement au-delà des limites de vitesse autorisées. Outre les questions de sécurité, cette donnée, certes essentielle pour certains acheteurs, induit des consommations de carburant plus élevées à tous régimes, spécialement en ville ;
- ▶ **les conducteurs pourront bénéficier d'outils intelligents d'aide à la conduite, pouvant réduire jusqu'à 20 % en moyenne la consommation unitaire.**

Ces perfectionnements seront favorisés par l'évolution des comportements, des automobilistes comme des pouvoirs publics, car ils supposent de repenser le rapport à la voiture (conduite plus économe, respect rigoureux des limitations de vitesse), sans exclure de développer d'autres modes de mobilité et mieux organiser le secteur des transports (transports collectifs urbains et périurbains dans les grandes agglomérations, TGV sur longues distances).

➤ DES OBJECTIFS ET DES RECOMMANDATIONS

Réfléchir à ce que pourrait être la voiture de demain suppose donc d'envisager toutes les pistes disponibles, des carburants de synthèse à la voiture électrique : il n'y a pas une solution unique répondant à la fois au changement climatique et à la problématique de l'approvisionnement énergétique.

Pour obtenir une diminution de la consommation des véhicules et de leurs émissions directes et indirectes, l'État intervient de multiples façons.

▶ *L'information*

Elle permet de justifier toute nouvelle politique, d'y faire adhérer les automobilistes et de leur faire adopter un comportement mieux adapté au nouveau contexte.

▶ *L'exemplarité de l'État*

L'État doit montrer l'exemple en tant qu'acheteur et utilisateur de véhicules.

▶ *La réglementation*

Elle permet de réduire la consommation des véhicules et leurs émissions, directement ou en limitant la vitesse, la circulation ou le stationnement.

▶ *La taxation*

Elle concerne le prix des véhicules et celui de leurs sources d'énergie.

▶ *L'incitation financière*

Elle peut dissuader l'acquisition des véhicules les plus consommateurs, aider à l'acquisition des véhicules les plus performants, en combinant éventuellement les deux options ("bonus/malus").

Les mesures à prendre sont à traiter, suivant le cas, au plan communautaire ou au plan national.

PROPOSITION 1

Modifier les méthodes réglementaires de mesure des consommations énergétiques et des émissions de CO₂ afin qu'elles soient plus représentatives de l'utilisation réelle des véhicules.

Les mesures sont effectuées sur des cycles normalisés simulant différents parcours. Ces cycles ont été conçus pour mesurer la consommation de carburant et les émissions correspondantes de CO₂ des véhicules thermiques. Ils sont maintenant utilisés pour définir l'autonomie des véhicules tout électriques. Or ils ne représentent qu'imparfaitement les parcours réels moyens des automobilistes et la consommation des auxiliaires (chauffage, climatisation, dégivrage des vitres...) n'est pas prise en compte, alors qu'elle peut représenter une proportion significative de la consommation d'énergie dédiée à la seule propulsion du véhicule.

PROPOSITION 2

Poursuivre les efforts d'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules à moteur thermique par un durcissement de la réglementation : les émissions de CO₂ devront être limitées, dès que possible, à 70 g/km pour les parcs de véhicules neufs de tourisme.

Cette disposition, bénéfique pour l'environnement, aura pour effet d'accélérer la mise en œuvre de différentes mesures d'économie de carburant associées à une électrification des véhicules.

PROPOSITION 3

Obliger les constructeurs, dans un délai maximum de trois ans, à doter les véhicules neufs d'un dispositif coupant automatiquement le moteur lorsque le véhicule est à l'arrêt.

Cette mesure impliquerait, pour les véhicules thermiques, la mise en œuvre d'un dispositif de type "stop & start". Ce dispositif est déjà livré en série sur plusieurs modèles.

Au moment où la pollution urbaine est considérée comme préoccupante, la mesure proposée permettrait de réduire de 20 % à 25 % les émissions de polluants dans les zones les plus congestionnées, en évitant le fonctionnement des moteurs thermiques au ralenti et, par conséquent, la consommation de carburant, la pollution et le bruit qu'ils engendrent.

PROPOSITION 4

Réduire le stationnement résidentiel en augmentant progressivement son tarif.

La nécessité de réserver des places de stationnement pour recharger les véhicules électriques entraîne la suppression de nombreuses places de stationnement. Or le stationnement résidentiel sur la voie publique quasiment gratuit (à Paris, une semaine au prix d'une heure de stationnement normal) engendre déjà un surcroît de circulation pour trouver une place libre et donc une augmentation de la consommation de carburant des voitures (environ 20 % à Paris).

PROPOSITION 5

Finaliser sans tarder les normes que doivent respecter les bornes de recharge tant publiques que privées pour garantir la sécurité des installations.

Des travaux de normalisation sont indispensables, tant pour assurer la sécurité des véhicules et de leurs composants (batteries en particulier) que l'interopérabilité (pour la charge) et les performances énergétiques des véhicules électriques et de leur emploi. La mise en place d'un "groupe stratégique" véhicule électrique à l'AFNOR et d'un "focus group" au niveau européen, ainsi que la récente mise à jour de l'accord entre l'ISO et la CEI au plan international vont dans le bon sens. Mais beaucoup reste à faire pour concrétiser les intentions qu'ils manifestent, réaliser les consensus nécessaires au plan industriel et pour articuler correctement les réglementations nationales avec les normes européennes et internationales.

PROPOSITION 6

Renforcer progressivement l'incitation à l'achat de véhicules neufs peu polluants.

Par la loi du 25 décembre 2007, le gouvernement a instauré un système de bonus/malus destiné à favoriser l'acquisition des véhicules dont la consommation est la plus basse et à pénaliser ceux dont la consommation est la plus élevée. Cette décision a eu un effet très positif sur les émissions moyennes des véhicules neufs à court terme. Son effet risque cependant de s'atténuer dans le temps si la valeur des incitations ne tient pas compte des progrès technologiques réalisés et n'est pas augmentée progressivement.



Johanne Buba [DDD], Etienne Beeker [DDD],
Dominique Auverlot [DDD], Philippe Hirtzman
[CGIET] sous la direction de Jean Syrota

Cette note est la synthèse du rapport
de la mission présidée par Jean Syrota,
La voiture de demain : carburants et électricité.

**“La voiture de demain : carburants et électricité”,
rapport de la mission présidée par Jean Syrota,
est disponible sur**

www.strategie.gouv.fr, rubrique publications



La Note de synthèse n° 227 -
juin 2011 est une publication
du Centre d'analyse stratégique
Directeur de la publication :
Vincent Chriqui, directeur général
Directeur de la rédaction :
Pierre-François Mourier,
directeur général adjoint
Secrétaire de rédaction :
Delphine Gorges
Service éditorial :
Olivier de Broca
Impression :
Centre d'analyse stratégique
Dépôt légal : juin 2011
N° ISSN : 1760-5733

Contact presse :
Jean-Michel Roullé, responsable
de la Communication
01 42 75 61 37 / 06 46 55 38 38
jean-michel.roulle@strategie.gouv.fr

Le Centre d'analyse stratégique est une institution d'expertise et d'aide à la décision placée auprès du Premier ministre. Il a pour mission d'éclairer le gouvernement dans la définition et la mise en œuvre de ses orientations stratégiques en matière économique, sociale, environnementale et technologique. Il préfigure, à la demande du Premier ministre, les principales réformes gouvernementales. Il mène par ailleurs, de sa propre initiative, des études et analyses dans le cadre d'un programme de travail annuel. Il s'appuie sur un comité d'orientation qui comprend onze membres, dont deux députés et deux sénateurs et un membre du Conseil économique, social et environnemental. Il travaille en réseau avec les principaux conseils d'expertise et de concertation placés auprès du Premier ministre : le Conseil d'analyse économique, le Conseil d'analyse de la société, le Conseil d'orientation pour l'emploi, le Conseil d'orientation des retraites, le Haut Conseil à l'intégration.

www.strategie.gouv.fr