

Les perspectives à moyen terme de la voiture grand public

L'industrie automobile se trouve confrontée à un double défi : la perspective d'un pétrole cher et le risque de réchauffement climatique. Dans ce contexte, comment se comparent les différentes technologies de propulsion envisageables pour les véhicules individuels ?

par **Philippe HIRTZMAN***

La présente contribution s'appuie sur les travaux d'une mission, conduite de mars à septembre 2008, par Jean Syrota, ancien président de la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) et ancien président de la Commission de l'énergie du Centre d'analyse stratégique (CAS). Cette mission, commandée par le Secrétaire d'Etat chargé de la prospective, de l'évaluation des politiques publiques et du développement de l'économie numérique, a été coordonnée par Philippe Hirtzman, ingénieur général des Mines, et conduite avec l'aide de quatre chargés de mission du Centre d'analyse stratégique et d'un chercheur doctorant de l'École Polytechnique.

LE CONTEXTE ET LES ENJEUX

Un double défi mondial impacte directement l'automobile : simultanément, la perspective d'un pétrole cher et le risque de réchauffement climatique

– **De nouveaux chocs pétroliers sont à craindre dans l'avenir**, étant donnée l'importance de la demande d'hydrocarbures au plan mondial (les besoins énergétiques mondiaux en pétrole ou en gaz naturel ont quasiment doublé depuis 1970), associée à la difficulté croissante de découvrir de nouveaux gisements et à la

fragilité du contexte géopolitique des réserves existantes (76 % des ressources et réserves mondiales en pétrole se situent dans les zones OPEP et CEI, dont 70 % pour la seule Organisation des pays producteurs de pétrole : Arabie saoudite, Émirats Arabes Unis, Irak, Koweït, Iran, Venezuela et Afrique du Nord).

Le transport routier représente en France une consommation de 40 Mtep, sur un total importé de 90 Mtep. Il est pratiquement dépendant des seuls produits pétroliers, et sa consommation est en augmentation. Cette situation est économiquement préoccupante (perspective d'aggravation de l'impact sur le déficit commercial) et représente une fragilité (risques géopolitiques).

L'effet d'un renchérissement brutal du coût des énergies fossiles a pu être observé entre 1974 et 1985, période où sont intervenus deux chocs pétroliers : après chacun d'eux, des progrès rapides ont été constatés tant en ce qui concerne les rendements énergétiques des véhicules que le comportement des automobilistes ; mais une fois le prix du pétrole retombé, les automobilistes ont retrouvé leurs « bonnes » vieilles habitudes, et les progrès techniques, qui se sont poursuivis, ont été contrebalancés par la montée en gamme de modèles plus lourds et plus puissants, conçus pour répondre aux fantasmes et aux rêves des automobilistes (et, par ailleurs, générateurs de marges financières plus élevées pour les entreprises du secteur).

* Philippe Hirtzman, ingénieur général des Mines, est le Président de la section « Sécurité et risques » du Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies.

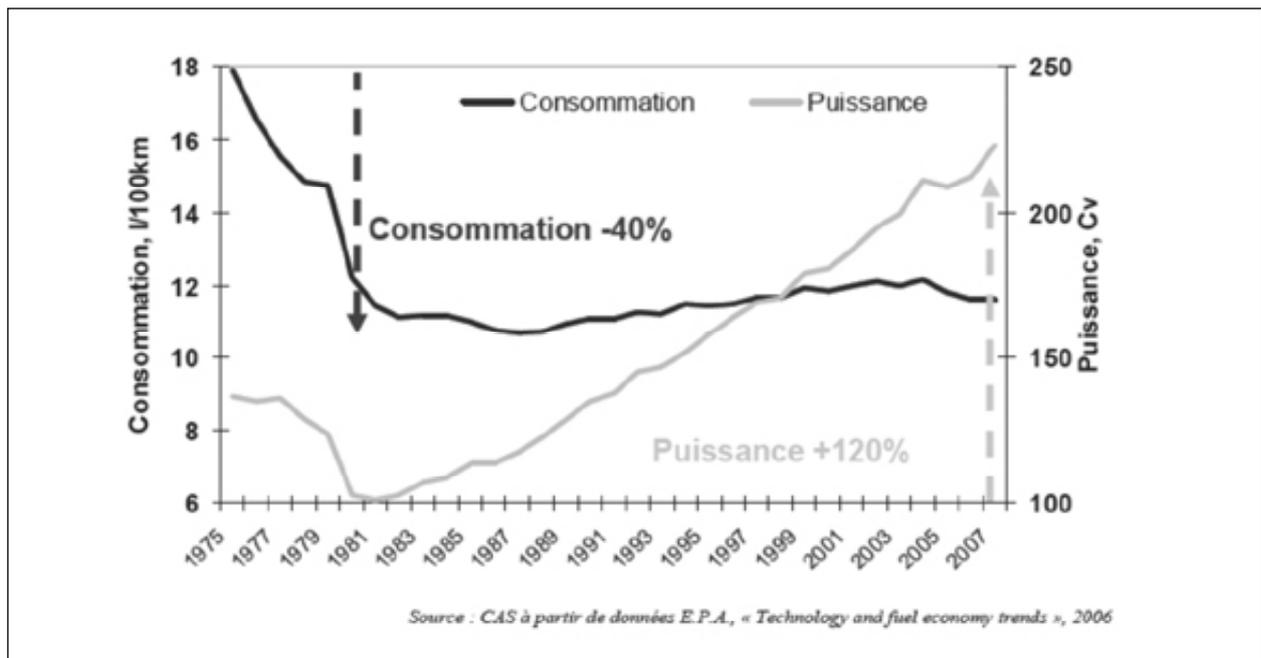


Figure 1 : Evolution de la consommation et de la puissance des automobiles aux Etats-Unis, de 1975 à 2007.

Ce relâchement progressif s'est inscrit dans la durée : pour l'industrie automobile américaine, après les chocs pétroliers de 1974 et de 1979, le développement du marché des 4x4 et le retour en grâce des *pick-up* ont progressivement conduit à un retour à la hausse de la consommation moyenne : ainsi, après une baisse continue de la consommation moyenne des véhicules particuliers, de l'ordre de 40 % entre 1975 et 1983, cette consommation moyenne s'est stabilisée durant dix ans, puis elle a recommencé à croître, lentement mais régulièrement, de 1993 à 2005, alors même que la puissance unitaire moyenne des véhicules particuliers mis sur le marché américain augmentait continûment de 120 % entre 1982 et 2008.

En Europe également, les progrès réels sont quasi inexistantes depuis 20 ans, car les consommateurs ont plutôt arbitrés en faveur de la performance ou de la montée en gamme.

– Le deuxième terme du double défi global est le réchauffement climatique, qui nécessite une action d'une portée inédite en termes, à la fois, de durée (des décennies d'efforts) et de niveau d'engagement.

Les transports produisent 24 % des émissions de CO₂ dans le monde (34 %, pour la France), dont une part très dominante est due aux véhicules légers. Une rupture d'envergure est donc nécessaire au niveau du transport individuel.

La possibilité d'un changement radical de comportement des constructeurs et des automobilistes

Pour peu que les politiques publiques soient déterminées à faire face à ce nouveau contexte, on peut espérer que les progrès s'accéléreront tant en ce qui

concerne les rendements énergétiques des véhicules que les comportements des automobilistes ; il faut surtout espérer qu'une rupture intervienne pour mettre fin à la recherche inconsidérée de performances en matière de vitesse et d'accélération, laquelle alimente encore aujourd'hui les fantasmes et les rêves de beaucoup d'acheteurs de voitures. Mais il faudra une quinzaine d'années pour renouveler le parc automobile.

A l'international : une croissance du parc mondial qui doit être compensée absolument par la production de véhicules moins polluants

Il faut noter que le marché de l'automobile et son développement restent segmentés en fonction des caractéristiques économiques et sociologiques des continents ou sous-continentes. Par exemple, en Inde, des véhicules économiques se développent pour prendre le relais des véhicules bas de gamme initiaux, issus de scooters, alors qu'à l'inverse, la Chine semble vouloir adopter les standards occidentaux.

Même si la crise conduit conjoncturellement à une baisse des ventes de véhicules individuels dans les pays de l'OCDE, le parc des pays émergents devrait continuer à se développer fortement, ce qui pourrait amener le parc mondial à doubler d'ici 2030, pour atteindre alors le chiffre de 1,4 milliard de véhicules individuels. Il est difficile d'influer sur le désir de voiture ou les comportements de ces nouveaux automobilistes mondiaux : c'est donc la réduction de la consommation unitaire de carburant des véhicules et celle de leurs émissions polluantes et de leurs rejets de gaz à effet de serre qui sont décisives.

Le véhicule thermique à carburant liquide

Le véhicule utilisant du carburant liquide à pression atmosphérique et à température ambiante possède quatre grands avantages :

– **Le carburant liquide est une forme d'énergie bien adaptée au stockage à bord des véhicules, car il possède une densité énergétique de 50 à 100 fois plus importante que les sources d'énergie alternatives.** Ce carburant liquide est, actuellement, d'origine pétrolière, pour l'essentiel, mais il peut aussi être produit à partir de la biomasse, du charbon ou du gaz. La densité énergétique du stockage conditionne l'autonomie des véhicules, qui est faible avec les sources d'énergie alternatives.

– **Les infrastructures de distribution des carburants liquides existent**, alors qu'il faudrait investir des milliards d'euros, répartis sur l'ensemble du territoire, pour qu'un utilisateur d'énergie alternative ne coure pas le risque d'une « panne sèche ». Les biocarburants ont le vent en poupe, mais il faudra attendre les carburants de 2^e génération (ceux où toute la plante est transformée) pour espérer avoir un bilan énergétique, écologique et économique global satisfaisant.

– **Le plein d'énergie du véhicule s'effectue de façon très efficace, avec un carburant liquide.**

A titre d'exemple, il faut moins de 5 minutes pour faire un plein de carburant de 50 litres. La puissance de recharge est de 6 MW thermiques ou 1,5 MW utiles, si l'on tient compte du rendement du moteur. Par comparaison, la puissance de rechargement des batteries d'un véhicule électrique à partir d'une prise standard sous 220 Volts est de 3 kW, soit 500 fois moins !

– **Le parc de véhicules à moteur thermique possède encore un potentiel technologique de réduction de sa consommation et de sa pollution de 50 % à un horizon de 20 ans.**

Pour l'obtenir, il faut mettre en œuvre trois catégories de mesures :

- la réduction des performances dynamiques des véhicules permet de générer un gain d'au moins 15 %. Est-il utile de pouvoir rouler à plus de 170 km/h ? Beaucoup de véhicules vendus aujourd'hui le peuvent. Or, un accroissement de la vitesse de pointe de 10 km/h augmente la consommation de 0,4 à 0,7 l/100 km en ville et de 0,2 à 0,3 l/100 km sur route : il est intéressant de noter qu'entre les motorisations proposées par les constructeurs pour un même modèle, les écarts de consommation moyenne atteignent couramment 40 % ;
- les conducteurs pourront bénéficier d'outils intelligents d'aide à la conduite, leur permettant une réduction de leur consommation pouvant aller jusqu'à 20 % ;
- le rendement des moteurs thermiques peut être amélioré de 20 à 40 %. Cette perspective est rendue possi-

ble par la généralisation de techniques déjà largement utilisées (injection directe, turbo-compression...) ou qui commencent à équiper certains modèles, ou encore qui sont en cours de mise au point, par exemple pour le moteur à essence : distribution variable, commande électromagnétique des soupapes, variation du taux de compression. Sont également en jeu des mesures de réduction de la cylindrée (*downsizing*) ou le développement de techniques de micro-hybridation (du type *stop & start*, où la batterie prend le relais à chaque fois que le véhicule s'arrête).

Les autres filières

Les filières alternatives ont fait l'objet de travaux et ont été porteuses d'espoir à différentes reprises, pendant plus d'un siècle. Elles ont le handicap de ne pas disposer des infrastructures de réapprovisionnement des véhicules en énergie. Leur économie est incertaine (il ne faut pas oublier, dans l'équation, que 80 % du prix de l'essence sont le fait de taxes) et leur bilan environnemental complet réel n'est pas toujours favorable :

– **La filière « gaz naturel »** : le gaz naturel souffre des mêmes problèmes géopolitiques que le pétrole ; il nécessite un stockage à haute pression dans les véhicules, ce qui pose des problèmes de sécurité, et il présente globalement peu d'avantages en termes d'environnement. Il se développe surtout dans les pays producteurs, dont les outils de raffinage de pétrole sont insuffisants. Peu de perspectives sont donc à envisager dans un pays comme la France.

– **Les filières « air comprimé » et « hydrogène »** sont mentionnées ici pour mémoire. Leur bilan énergétique n'est pas favorable. L'hydrogène pose, en outre, des problèmes de sécurité insurmontables pour un usage grand public, en raison de la dissémination potentielle de réservoirs sous haute pression (700 bars).

– **La filière « tout électrique »** revient à la mode et présente effectivement certaines perspectives d'avenir, dès lors que l'on est conscient des limites de l'exercice. La propulsion électrique n'engendre pas beaucoup de bruit à basse vitesse et pas de pollution de l'air au niveau de l'usage « local » du véhicule, ce qui représente un avantage sérieux dans les centres-villes encombrés. Elle permet également de réduire la dépendance par rapport au pétrole. Mais l'électricité est produite avec plus ou moins d'énergies fossiles (pétrole, charbon, gaz), donc avec un bilan environnemental global pas nécessairement positif en CO₂, surtout si la comparaison est faite entre des véhicules ayant des performances et une habitabilité comparables. Il est vrai que, de ce point de vue, la France offre un contexte tout à fait favorable, du fait de la forte proportion (plus de 80 %) d'électricité qui y est produite de manière non carbonée.

Des progrès importants restent surtout à réaliser au niveau des batteries. Le rapport performance/coût

devrait continuer à progresser, mais les incertitudes sont nombreuses : coût très élevé (du même ordre de grandeur que celui d'une voiture thermique, la moitié environ du prix du véhicule électrique), sensibilité directe au fonctionnement de la climatisation et des accessoires, fiabilité insuffisante (risques d'électrocution et d'incendie), performances et autonomie réduites, stabilité incertaine de la charge et de la tension délivrée dans le temps, sensibilité au nombre de cycles de charge/décharge, temps de rechargement assez long, de 3 à 6 heures (sauf si sont mises en place des stations d'échange de batteries, qu'il faudrait normaliser, concevoir et financer).

Enfin, s'il est communément admis que la batterie de l'avenir sera probablement à base de lithium (les batteries actuelles, après l'interdiction de l'usage du cadmium, sont essentiellement à base de nickel), la généralisation universelle des techniques envisagées (lithium-ion, lithium-polymère, lithium-phosphate) pose clairement le problème des conditions et du coût d'accès à la ressource. Trois pays se partagent 50 % de la production mondiale actuelle de lithium : la Chine, l'Argentine et l'Australie. Les plus grandes réserves restantes – environ 40 % des réserves totales – se trouvent en Bolivie, ce qui risque de remplacer la dépendance pétrolière par une dépendance envers le lithium.

PERSPECTIVES

Pour tracer une perspective pour l'automobile individuelle à l'horizon 2030, il faut avoir à l'esprit que :

- le parc automobile français est d'un âge moyen de 7 ans, avec une distribution assez homogène entre 0 et 15 ans, donc un renouvellement global qui s'opère assez lentement ;
- l'histoire montre que les innovations se diffusent lentement (plus de 10 ans).

Dans cette perspective, le véhicule thermique, en constante amélioration, bénéficiant de l'existence de toutes les infrastructures qui lui sont nécessaires, a encore un bel avenir devant lui : **une part majoritaire du parc sera donc certainement à l'horizon 2030 toujours composée de véhicules à propulsion par moteur thermique, sur la base d'une consommation et d'un niveau de pollution qui doivent pouvoir être divisés par deux.** Cet objectif peut être atteint grâce à la mise en œuvre d'innovations disponibles ou en développe-

ment, mais aussi grâce à une rupture dans la demande et le comportement des consommateurs.

Le véhicule tout électrique, qui a l'avantage d'être peu bruyant à basse vitesse et de ne pas émettre directement de gaz polluants, souffre de trop de handicaps pour pouvoir prétendre se substituer massivement au véhicule thermique. Il peut trouver des créneaux de développement dans des flottes captives et dans des petits véhicules urbains. En effet, pour ces deux catégories, l'équipement en prises de courant et le temps nécessaire pour la recharge, ainsi que l'autonomie, posent relativement peu de problèmes. Il restera à trouver des acheteurs pour des voitures d'un coût actuellement deux fois plus élevé que celui d'un véhicule thermique.

Le véhicule hybride rechargeable sur le réseau électrique pourrait être le véhicule d'avenir à l'horizon 2030, car il cumule les avantages du thermique et de l'électricité, sans en avoir les inconvénients les plus importants. La circulation en centre-ville nécessite une autonomie, en mode électrique, de l'ordre de 20 km seulement, et donc un volume de batteries relativement limité. Certains modèles sont depuis quelque temps déjà mis sur le marché, avec un début d'hybridation (non rechargeable), qui diminue d'environ 20 % la pollution dans les embouteillages : le dispositif *stop & start*, qui coupe le moteur quand le véhicule est à l'arrêt, et le redémarre quand l'accélérateur est sollicité. Par ailleurs, on assiste actuellement à une montée en régime intéressante de quelques modèles étrangers de voitures compactes totalement hybrides (avec des batteries Nickel-métal hydrure NiMH), mais elles coûtent cher, sont peu diffusées à l'échelle du monde et, surtout, n'ont qu'une autonomie très réduite en mode de propulsion électrique pur (quelques kilomètres). L'hybridation pourrait cependant aller croissant dans le futur : récupération d'énergie de freinage, optimisation du moteur thermique, utilisation du moteur électrique en phase d'accélération et du moteur thermique au-delà. Le véhicule tout électrique sera peut-être l'aboutissement ultime de l'hybridation, au-delà de 2030, quand le prix, les performances et – surtout – la fiabilité des batteries auront suffisamment évolué. **L'évolution du parc automobile a été constante, mais lente, jusqu'à maintenant. Pour diviser par deux la consommation des véhicules thermiques en une dizaine d'années, pour réduire la pollution de l'air et le bruit dans les centres des villes, une incitation forte des pouvoirs publics est indispensable.**