

É d i t o r i a l

Pierre Couveinhes

Cela semble désormais évident : la voiture individuelle va devoir évoluer profondément au cours des années à venir, face à la double perspective d'un épuisement progressif des ressources pétrolières et d'un changement climatique redouté. A cet égard, la crise économique que nous traversons a joué, en quelque sorte, un rôle de révélateur, suscitant une prise de conscience chez les utilisateurs d'automobiles et mettant les constructeurs au pied du mur.

Mais à quoi le véhicule individuel de demain ressemblera-t-il, au juste ? Une chose semble certaine : déjà très présente, l'électricité verra son rôle continuer de s'accroître et les véhicules « thermiques » seront amenés, progressivement, à s'« hybrider » avec notamment la généralisation des alerno-démarrateurs (systèmes « stop & go ») et celle de la récupération de l'énergie de freinage. Soulignons, à cet égard, que l'électrification de la plupart des organes mécaniques et leur couplage à divers types de capteurs et de calculateurs vont permettre de réaliser des progrès décisifs en matière de sécurité active : afin de prévenir les accidents, ces dispositifs alerteront le conducteur en cas de danger, voire prendront directement en main le véhicule...

La voiture de demain sera-t-elle donc une voiture tout électrique ? Cela n'est pas évident pour tous les types d'usages, tout au moins dans un proche avenir. En effet, pour la même énergie emmagasinée, les batteries d'accumulateurs actuellement disponibles pèsent vingt fois plus que les hydrocarbures liquides. Cela limite l'autonomie des voitures tout électrique à environ 150 km. Leur généralisation nécessite donc la mise en place d'un réseau suffisamment dense d'infrastructures de recharge et/ou de remplacement des batteries, ce qui prendra du temps. Par ailleurs, du point de vue environnemental, il convient de prendre en compte la manière dont a été produite l'électricité avec laquelle on recharge les batteries. Certes, en France, la production d'électricité s'accompagne aujourd'hui d'émissions relativement faibles de CO₂ dans l'atmosphère, mais il n'en va pas de même pour la plupart des autres pays, où l'électricité est produite, pour l'essentiel, à partir de combustibles fossiles (fuel, gaz et, surtout, charbon). L'intérêt environnemental du véhicule tout électrique peut donc varier dans de fortes proportions.

En fait, le plus probable est que la voiture individuelle « à tout faire » que nous connaissons aujourd'hui disparaîtra, en même temps que le pétrole abondant et bon marché. Il n'y aura sans doute plus, dans l'avenir, un seul type de voiture individuelle, mais plusieurs, présentant des caractéristiques très différenciées, adaptées aux différents usages. Comme il n'est ni souhaitable – ni même imaginable, pour des raisons financières évidentes – que chacun

d'entre nous possède plusieurs de ces véhicules « spécialisés », des services de location (voire de colocation ou d'auto-partage) seront sans doute appelés à se généraliser.

La voiture tout électrique semble la solution idoine pour les déplacements individuels et les livraisons à l'intérieur des grandes villes, où la grande majorité des trajets sont effectués sur de courtes distances et où la réduction de la pollution atmosphérique constitue un enjeu important. Vraisemblablement, son développement se réalisera largement dans le cadre de modes collectifs d'utilisation, comme le laisse augurer le succès des systèmes de location de vélos que mettent aujourd'hui en place un nombre croissant de grandes agglomérations.

En matière de trajets sur de longues distances, pour lesquels l'autonomie énergétique du véhicule est un facteur décisif, la propulsion thermique n'a certainement pas encore dit son dernier mot et reste susceptible de progrès considérables : les véhicules fonctionnant avec des hydrocarbures liquides (que l'on peut produire à partir de gaz naturel, de charbon ou de biomasse) conserveront durablement une large part de ce marché, tout en s'hybridant progressivement.

Mais peut-être une rupture technologique interviendra-t-elle, qui donnera aux véhicules individuels une physionomie totalement différente de celle que nous leur connaissons aujourd'hui ? A l'instar, par exemple, de ces systèmes de roues intégrant chacune son moteur et sa suspension électriques... A cet égard, la Lohner-Porsche modèle 1901 (dont une gravure illustre ce numéro), avec son moteur thermique couplé à un générateur électrique alimentant des moteurs électriques logés dans les moyeux des roues, ne serait-elle pas une préfiguration réaliste d'un type possible de voiture individuelle de l'avenir ?

**Rédaction**

120, rue de Bercy - Télédéc 797
75572 Paris Cedex 12
Tél. : 01 53 18 52 68
Fax : 01 53 18 52 72
<http://www.annales.org>

Pierre Couveinhes, rédacteur en chef

Gérard Comby, secrétaire général de la série
« Réalités Industrielles »

Martine Huet, assistante de la rédaction
avec le concours de **M^{me} Josianne Vannier**

Marcel Charbonnier, lecteur

Comité de rédaction de la série
« Réalités industrielles » :

Michel Matheu, président,
Pierre Amouyel,
Grégoire Postel-Vinay,
Claude Trink,
Pierre Couveinhes

Maquette conçue par
Tribord Amure

Iconographe
Christine de Coninck - CLAM !

Fabrication : **AGPA Editions**
4, rue Camélinat
42000 Saint-Étienne
Tél. : 04 77 43 26 70
Fax : 04 77 41 85 04
e-mail : agpaedit@yahoo.com

Abonnements et ventes

Editions ESKA
12, rue du Quatre-Septembre
75002 Paris
Tél. : 01 42 86 55 73
Fax : 01 42 60 45 35
<http://www.eska.fr>

Directeur de la publication :

Serge Kebabtschieff
Editions ESKA SA
au capital de 40 000 €
Immatriculée au RC Paris
325 600 751 000 26

Un bulletin d'abonnement est encarté
dans ce numéro entre les pages 48 et 51.

Vente au numéro par correspondance
et disponible dans les librairies suivantes :
Presses Universitaires de France - PARIS ;
Guillaume - ROUEN ; Petit - LIMOGES ;
Marque-page - LE CREUSOT ;
Privat, Rive-gauche - PERPIGNAN ;
Transparence Ginestet - ALBI ;
Forum - RENNES ;
Mollat, Italique - BORDEAUX.

Publicité

J.-C. Michalon
directeur de la publicité
Espace Conseil et Communication
2, rue Pierre de Ronsard
78200 Mantes-la-Jolie
Tél. : 01 30 33 93 57
Fax : 01 30 33 93 58

Table des annonceurs

Annales des Mines : 2^e - 3^e - 4^e de couverture et pages 105,
106, 113 et 114.

Illustration de couverture :
Automobile avec équipement électronique.
Conception sur ordinateur.
Photo © Pasięka/SCIENCE PHOTO LIBRARY-COSMOS

S o m m a i r e

LA VOITURE INDIVIDUELLE DE L'AVENIR**1 Éditorial**

Pierre Couveinhes

5 Avant-propos : L'automobile à l'horizon 2030

Pierre-Franck Chevet

Les enjeux énergétiques**8 Énergie et mobilité durable**

Olivier Appert

13 L'électricité : l'énergie de l'avenir pour les véhicules individuels

Igor Czerny

19 Les perspectives du GNV dans le monde, en Europe et en France

Jean-Marc Nicolle

25 Le développement des biocarburants

Alain Jeanroy

Les évolutions technologiques**31 Les perspectives à moyen terme de la voiture grand public**

Philippe Hlirtzman

35 La propulsion thermique n'a pas dit son dernier mot : Le point de vue d'un équipementier

Guillaume Devauchelle

41 La sécurité ne risque-t-elle pas d'être la grande oubliée du débat ?

Guy Maugis

51 Le pneumatique dans un environnement « technologie véhicule évolutif » : impacts et perspectives

Jean-Marie Mus

58 La technologie hybride Toyota

Michel Gardel

Les stratégies des acteurs

67 La voiture électrique, nouvel axe des politiques industrielles

Grégoire Postel-Vinay

75 Dans dix ans, une automobile sur trois sera une automobile électrique

Thierry Koskas et Patrick Pélata

83 BMW : En route pour moins d'émissions de polluants, et davantage de plaisir !

Christophe Koenig

89 L'engagement de l'État dans la recherche et l'innovation

Jean-Louis Léonard

95 Le pôle Mov'eoTEC

Guy Bourgeois

107 Résumés étrangers

Le dossier est coordonné par Philippe Hirtzman

Avant-propos

L'automobile à l'horizon 2030

par Pierre-Franck CHEVET*

LA VOITURE
INDIVIDUELLE

En dépit de la crise économique, qui la frappe durement, l'industrie automobile doit engager l'évolution la plus importante de son histoire pour être à même de répondre au faisceau de contraintes inédit que constituent la raréfaction des ressources pétrolières, le réchauffement climatique et la pollution atmosphérique dans laquelle l'automobile porte une part de responsabilité importante, notamment en milieu urbain. Les transports sont à l'origine de 26 % des émissions totales de gaz à effet de serre de la France, soit 138 Mteq CO₂ (millions de tonnes équivalent gaz carbonique) en 2007, avec une forte croissance (+22 %) entre 1990 et 2001, suivie d'une stabilisation depuis lors. Mais à lui seul, le transport routier est responsable de 95 % de ces émissions, dont 54 % sont le fait exclusif des véhicules particuliers.

Au secteur des transports, le Grenelle de l'Environnement a fixé l'objectif de ramener ses émissions de gaz à effet de serre, à l'horizon 2020, au niveau qui était le leur en 1990. Cela peut paraître un objectif relativement peu ambitieux, en regard de l'objectif général, qui est de diviser par quatre nos émissions de CO₂ à l'horizon 2050, mais cela illustre, surtout, notre dépendance vis-à-vis du pétrole et la place qu'occupent les transports dans notre mode de vie. Alors que la plupart des analystes nous promettent un *peak oil* à brève échéance et que nous connaissons d'ores et déjà une très grande volatilité des prix du pétrole, cela nous pose aussi un véritable problème de politique énergétique.

Par ailleurs, la qualité de l'air en milieu urbain est très dépendante de l'intensité du trafic automobile. Des solutions techniques existent pour les véhicules neufs, et les normes Euro concourent à leur déploiement, mais l'impact économique de leur mise en vigueur risque de se traduire par un renchérissement substantiel des modèles d'entrée de gamme. Par ailleurs se pose la question du renouvellement du parc automobile, qui permettrait d'éliminer les véhicules anciens, les plus polluants.

En outre, on est très vite confronté à la nécessité de trouver des compromis pour concilier entre eux tous ces objectifs : les technologies diesel sont plus sobres en émissions de carbone, mais elles produisent davantage de particules fines, très nocives ; les technologies de traitement des gaz d'échappement réduisent certes les émissions de gaz à effet de serre, mais elles entraînent une augmentation de la consommation de carburant ; les biocarburants permettent effectivement de répondre aux contraintes énergétiques et du « moins de carbone », mais ils peuvent avoir d'autres impacts indésirables...

Ces défis sont d'envergure planétaire : le nombre de véhicules en circulation sur notre planète devrait passer de 650 millions aujourd'hui à près de 1,4 milliard en 2030, l'accroissement étant essentiellement dû aux pays émergents.

Pour répondre à ces défis, des efforts doivent être faits à deux niveaux :

- l'organisation de l'espace, l'organisation des transports et le développement de modes de déplacement alternatifs. Le Grenelle de l'Environnement prévoit de moderniser les infrastructures ou d'en créer de nouvelles, afin de favoriser l'utilisation du transport ferré, fluvial ou maritime de marchandises, de développer le chemin de fer pour le transport des voyageurs, ainsi que les transports en commun en site propre...
- l'action sur le véhicule lui-même, ou sur ses modes d'utilisation (auto-partage, éco-conduite...), pour le rendre (toutes choses étant égales, par ailleurs) plus sobre et davantage respectueux de l'environnement. C'est sur ce deuxième axe que se focalise notamment ce numéro des Annales des Mines.

* Directeur général de l'énergie et du climat au Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer (MEEDM), en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat.

Les acteurs de l'industrie automobile, soutenus par les pouvoirs publics, orientent leurs recherches dans trois directions :

- la diversification des sources d'énergie ;
- l'optimisation des moteurs thermiques, pour les rendre toujours moins gourmands en énergie et moins polluants ;
- le développement progressif de différents formats de véhicules, répondant à des usages et à des besoins de mobilité différents.

LA DIVERSIFICATION DES SOURCES D'ÉNERGIE

Le carburant liquide à pression atmosphérique et à température ambiante continuera à être utilisé de manière majoritaire dans les véhicules, durant les prochaines années, en raison de ses nombreux avantages : poids et encombrement réduits dans les véhicules, autonomie d'usage, existence d'infrastructures de distribution. Si ce carburant restera, pendant plusieurs années encore, principalement d'origine pétrolière, il sera aussi, de plus en plus, issu de la biomasse (avec des agro-carburants, dont les performances auront été améliorées) ou encore du charbon et du gaz (nouveaux carburants liquides de synthèse).

Le gaz naturel, qui pourra être aussi utilisé pour produire des combustibles liquides, est déjà largement employé sous forme comprimée dans des pays comme l'Argentine, le Brésil, le Pakistan ou l'Italie, ces quatre pays totalisant plus de 3 millions de véhicules en service roulant au gaz naturel. Sa combustion émet en moyenne 24 % de CO₂ de moins que le supercarburant classique, très peu d'oxydes d'azote et aucune particule. Son usage, sous cette forme, continuera par conséquent à progresser, notamment dans les pays disposant d'importantes ressources en gaz.

Pour certains constructeurs automobiles, l'hydrogène est le carburant de l'avenir. Le développement de véhicules utilisant l'hydrogène (comme carburant, ou associé à une pile à combustible) se heurte, cependant, au coût des matériaux et des technologies à mettre en œuvre, ainsi qu'aux problèmes de sécurité inhérents aux caractéristiques de ce gaz. Par ailleurs, le « bilan carbone » global de l'utilisation d'hydrogène doit être étudié attentivement.

L'électricité devrait également être très présente dans les véhicules de demain, qui seront soit hybrides, soit tout électrique. Ces derniers ne pourront cependant accéder véritablement au statut de véhicules grand public que dans les zones où se développeront des infrastructures de recharge (ou d'échange) de batteries, qui permettront de pallier le problème de leur autonomie, qui risque de rester faible pendant encore de nombreuses années. Par ailleurs, le développement de ces véhicules n'aura un impact environnemental réellement positif que si la production de l'électricité utilisée n'est pas elle-même à l'origine d'importantes émissions de gaz à effet de serre.

L'OPTIMISATION DES MOTEURS THERMIQUES

Au-delà des efforts engagés pour pouvoir substituer progressivement au pétrole d'autres sources d'énergie, de nombreux progrès restent encore à accomplir pour permettre aux véhicules thermiques (qui continueront pendant de nombreuses années encore à représenter une part importante du parc automobile de la planète) de consommer moins de carburant et d'émettre moins de rejets polluants dans l'atmosphère. L'ensemble des acteurs de la filière travaillent à l'optimisation de techniques déjà largement utilisées, comme l'injection directe ou la turbo-compression, ainsi qu'à la mise au point de nouvelles techniques visant à améliorer les performances des moteurs thermiques classiques. Parmi ces acteurs figurent, bien sûr, les constructeurs et les équipementiers automobiles. Mais les travaux allant dans ce sens mettent également à contribution de nombreux laboratoires, tels ceux des universités, de l'INRETS (1), du CNRS, ainsi que de l'IFP, ces différents partenaires étant associés dans de multiples programmes de Recherche & Développement, tels ceux promus dans le cadre du PREDIT (2) ou par les pôles de compétitivité qui œuvrent, en France, au développement des véhicules du futur.

S'agissant des moteurs thermiques, deux grands axes de recherche sont privilégiés : l'optimisation du rendement (en veillant aux émissions de polluants) et le post-traitement des gaz d'échappement (en veillant, cette fois-ci, au rendement énergétique du moteur). De manière plus précise, de multiples technologies sont explorées : optimisation de l'injection, réduction des frottements, détermination des températures optimales de combustion, variation du taux de compression en fonction des conditions de sollicitation du moteur, réduction de la cylindrée des moteurs...

Au final, la combinaison des différentes solutions à l'étude permettent d'escompter des gains de consommation de carburant qui pourraient varier entre 30 % et 50 %, selon les modèles de véhicules.

En complément de ces travaux de recherche portant sur les motorisations, il convient également de citer ceux qui sont conduits pour limiter les besoins en énergie des véhicules proprement dits : amélioration de leur aérodynamisme, allègement de leur poids ou encore réduction de la résistance au roulement de leurs pneumatiques.

DE NOUVEAUX MOYENS DE TRANSPORT ADAPTÉS À DES BESOINS DE MOBILITÉ DIFFÉRENTS

Au-delà des efforts entrepris pour améliorer les performances énergétiques et environnementales des véhi-

(1) Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité.

(2) Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres.

cules, pouvoirs publics et sociétés privées travaillent de concert au développement de nouveaux modes et moyens de transport, qui soient à même de répondre aux besoins de nos concitoyens en matière de mobilité. Parmi ces moyens, il convient bien évidemment de citer ceux qui sont actuellement mis au point afin d'encourager le recours aux transports collectifs, notamment dans toutes les grandes agglomérations de la planète, ainsi qu'aux modes de transport alternatifs (covoiturage, bicyclette...).

D'autres moyens répondant aux besoins spécifiques de mobilité individuelle peinent à se développer. C'est le cas de l'auto-partage, qui consiste à ce qu'une société, une collectivité, une association, voire un individu mette un ou plusieurs véhicules à la disposition d'un ensemble de personnes. Ainsi, plutôt que de disposer d'une voiture personnelle (qui reste, pour l'essentiel de son temps, au parking), les adeptes de l'auto-partage disposent d'un véhicule uniquement pour la durée durant laquelle ils en ont besoin. Les chiffres montrent qu'un véhicule en auto-partage remplace, en moyenne, entre 9 et 15 véhicules en propriété exclusive. L'auto-partage est aujourd'hui pratiqué en Allemagne, aux Pays-Bas, ainsi qu'en Suisse, et il en est en train de se développer également aux Etats-Unis et au Canada. Une extension de l'auto-partage à la plupart des grandes agglomérations (grâce à la mise à disposition de petits véhicules légers, dont la vitesse maximale serait limitée et qui seraient équipés de moteurs raisonnablement dimensionnés) contribuerait à répondre aux besoins de mobilité des individus, tout en réduisant de manière notable l'impact énergétique et environnemental des automobiles individuelles. L'auto-partage pourrait ainsi devenir un vecteur important du développement des véhicules électriques.

L'éco-conduite doit également se développer : il s'agit d'apprendre à se servir d'un véhicule qui soit adapté à ses besoins et correctement entretenu, en adoptant un style de conduite apaisé. Aujourd'hui, cela relève d'une sensibilisation des automobilistes ou de la formation

des futurs conducteurs. Demain, on peut espérer qu'existeront des technologies d'assistance et des automatismes installés sur les véhicules qui aideront à optimiser la conduite.

L'amélioration de l'offre des services de location de véhicules pourra sans doute contribuer, également, à faire évoluer la composition du parc automobile mondial, en renforçant la part prise par de petits modèles, moins gourmands en énergie et répondant à l'essentiel des besoins de mobilité, tout en réduisant la part des modèles de tailles plus importantes, qui répondent à des besoins plus ponctuels (tels que la nécessité de transporter plusieurs passagers ou encore la réalisation de trajets sur de longues distances).

L'automobile est aujourd'hui à la croisée des chemins. Les déterminants de long terme (énergie, gaz à effet de serre, pollution atmosphérique) nous obligent à repenser la place de la fonction transport dans notre société et dans notre économie. La crise économique à laquelle nous sommes confrontés peut, à cet égard, servir de déclencheur.

Le Gouvernement stimule cet élan, notamment au moyen du bonus malus et par la constitution d'un groupe de travail sur les infrastructures de charge des batteries des véhicules électriques, qui doit repenser le modèle économique de la mobilité individuelle. Il finance des projets *via* le fond démonstrateur de l'ADEME. Par ailleurs, des expérimentations voient le jour au sein de certaines collectivités locales motivées.

Ces démarches, engagées non seulement en France, mais aussi à l'étranger, vont à n'en pas douter s'avérer payantes et permettre à de nouvelles technologies et à de nouvelles filières automobiles de se développer.

Mais il serait illusoire d'imaginer une sorte de Graal de la mobilité, de solution unique, qui satisferait, à elle seule, à tous nos besoins en la matière : « la » solution émanera, plus vraisemblablement, d'un mélange harmonieux entre de multiples technologies et développements, qui dépendra d'ailleurs, dans une large mesure, de nos propres comportements individuels !

Énergie et mobilité durable

Les besoins de mobilité actuels conduisent les individus à se tourner vers des transports à la fois rapides et individuels. Ainsi, l'automobile assure, de nos jours, la majorité des déplacements dans le monde. Les enjeux de la mobilité sont, aujourd'hui, étroitement liés à ceux de l'énergie...

par **Olivier APPERT***

Nous examinerons, tout d'abord, les caractéristiques de la mobilité et les déterminants de cette demande. Face à une dépendance quasi exclusive de la mobilité motorisée par rapport aux produits pétroliers, nous examinerons, ensuite, les carburants alternatifs d'aujourd'hui et de demain. Enfin, en conclusion, les bouleversements intervenus récemment dans les domaines de l'environnement et de l'énergie nous amèneront à nous interroger sur l'émergence possible d'un nouveau paradigme de la mobilité.

LA MOBILITÉ DES PERSONNES : ÉVOLUTIONS ET ENJEUX

La mobilité des personnes correspond au volume global des déplacements des individus. A cette notion sont directement associées les caractéristiques de ces déplacements. La mobilité représente un « besoin » de déplacement, le type de transport choisi correspondant à un « service ».

En fonction du type de mobilité (travail/loisir, courte distance/longue distance), mais aussi d'autres facteurs, tels que la démographie, le revenu national, l'urbanisation ou la densité de population, le coût du transport (incluant l'achat et la maintenance du transport utilisé et le coût du carburant), ou encore les infrastructures (kilomètres de route ou de rails, couloirs de bus, métro, etc.), les modes de transport utilisés seront différents. On peut alors opérer une distinction entre mobilité motorisée et mobilité non motorisée. La seconde est souvent oubliée, car elle est peu recensée par les statistiques relatives aux déplacements. Mais elle est, en réalité, très importante, puisqu'elle représente le premier mode de déplacement dans le monde. On peut sché-

matiser les différences dans la mobilité des personnes de la façon suivante (figure 1).

La mobilité « d'hier » et celle « d'aujourd'hui » ne sont pas les mêmes, en raison de l'évolution des modes de déplacement, ainsi que des distances parcourues par les individus, qui sont de plus en plus grandes. Aux modes non motorisés se substituent des modes motorisés, plus rapides, avec une préférence pour les transports individuels (telle l'automobile). L'utilisation de ces modes de transport (voitures, deux-roues, bus) engendre un très important besoin en énergie et, notamment, une forte consommation de carburants fossiles : les transports dépendent aujourd'hui du pétrole à plus de 95 %.

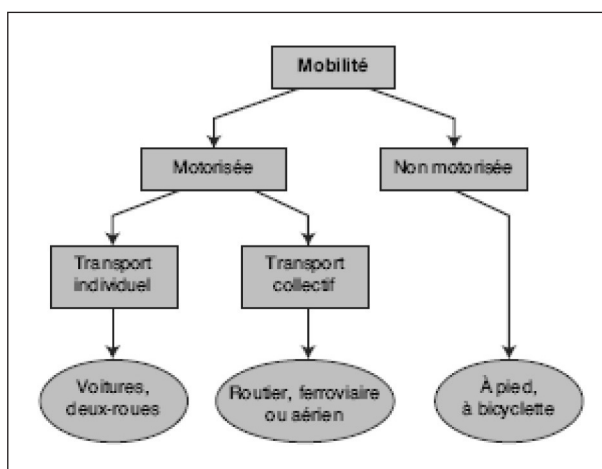


Figure 1 : Les différents types de mobilité.

Il est très difficile de représenter tous les types de mobilité, à cause du manque de statistiques (notamment sur les modes de transport non motorisés). On peut tout de

* Président de l'Institut français du pétrole (IFP).

même représenter la répartition des différents types de mobilité dans le monde de la façon suivante (voir figure 2).

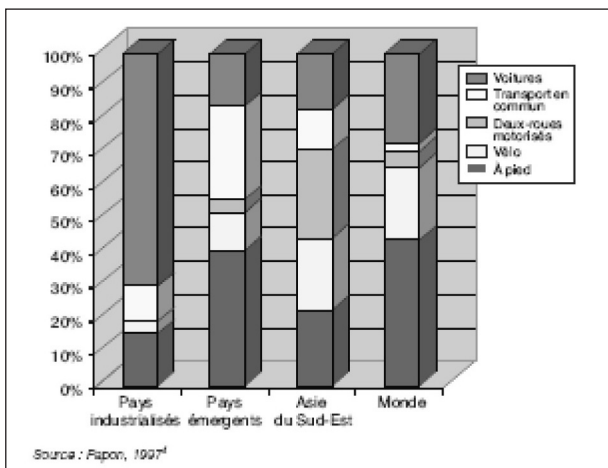


Figure 2 : Les types de mobilité dans le monde (en pourcentages de déplacements, par jour et par personne).

La figure 2 montre que le mode de déplacement le plus utilisé dans le monde pour de courtes distances est la marche à pied, qui correspond à 36 % des déplacements. En seconde position, on trouve la voiture (22 %), suivie de près par les transports en commun (20 %). Mais l'utilisation de ces différents modes dépend beaucoup de la distance à parcourir. Si le mode de déplacement « à pied » est dominant sur de courtes distances, le mode de déplacement « en voiture » est préféré, quant à lui, sur les trajets « longue distance ». En effet, le véhicule particulier présente un grand nombre d'avantages sur d'autres modes de transport, comme la vitesse et la flexibilité.

La mobilité des pays développés est très bien connue, grâce à la profusion et à la qualité des statistiques officielles. Par contre, celle des pays émergents l'est beaucoup moins. Il est important de distinguer ces deux types de mobilité, du fait des caractéristiques inhérentes à ces deux grands groupes de pays.

Ainsi, les pays développés sont caractérisés par :

- des niveaux de revenu élevés, en moyenne ;
- une urbanisation forte ;
- une mobilité motorisée importante ;
- une population stable, en moyenne, mais vieillissante ;
- une dépendance très importante vis-à-vis de l'automobile.

Les pays émergents se caractérisent, au contraire, par :

- des revenus bas, en moyenne ;
- un taux d'urbanisation en très forte augmentation, avec l'émergence de mégapoles ;
- des déplacements qui se font encore, pour l'essentiel, à pied ;
- une population en forte croissance et jeune ;
- une forte augmentation du nombre des véhicules particuliers.

La figure 2 montre que la voiture est clairement le mode dominant dans les pays industrialisés (où elle

représente 70 % des déplacements), tandis que, dans les régions et les pays émergents, les modes de déplacement à pied et en transport en commun sont les plus importants. L'Asie du Sud-est présente quelques particularités : on y observe, notamment, l'importance des deux-roues motorisés (mobylettes, scooters). En Inde, 80 % du parc motorisé est composé, aujourd'hui, de deux-roues. En Afrique, ce sont manifestement les déplacements à pied qui dominent.

LA MOBILITÉ MOTORISÉE

Si les déplacements « à pied » dominent dans le monde, la voiture arrive à la seconde place des modes de déplacement les plus utilisés. Si l'on ne prend en considération que les seuls déplacements sur de longues distances (déplacements à plus de 100 kilomètres du domicile), l'automobile devient, en revanche, le mode de déplacement principal.

La grande innovation que fut l'automobile, au début du 20^e siècle, est rapidement devenue un produit de masse, aux États-Unis. Par contre, en Europe, il aura fallu attendre les années 1960 et l'entrée dans une société de consommation de masse, pour que le véhicule particulier ne soit plus un bien de luxe, accessible aux seuls ménages aisés. Ainsi, les familles de l'après-Deuxième guerre mondiale se sont équipées en masse : l'on assiste alors à l'apogée de l'automobile dans les pays industrialisés. Mais après les années 1960, la croissance du parc automobile retrouve rapidement un rythme en phase avec la croissance économique. Aujourd'hui, le taux de croissance du parc automobile est inférieur à celui de la croissance économique, comme le montre la figure 3, qui prend pour exemple l'Europe.

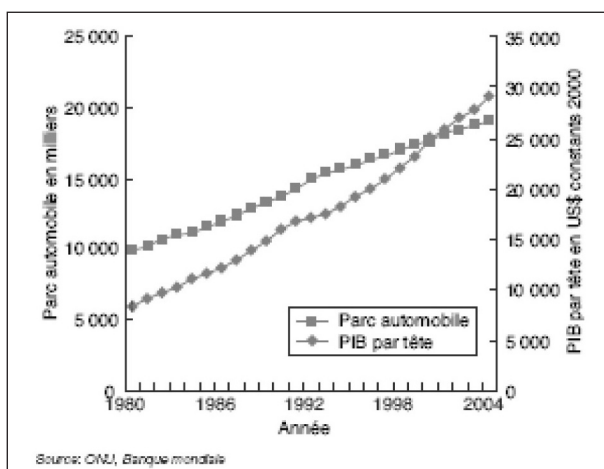


Figure 3 : Evolutions du parc automobile et du PIB/habitant en Europe.

À partir des années 1990, c'est au tour des pays émergents de s'équiper. Ainsi, l'Asie ou l'Amérique du Sud voient leur parc de véhicules particuliers croître fortement au cours de cette période, ce qui dope la crois-

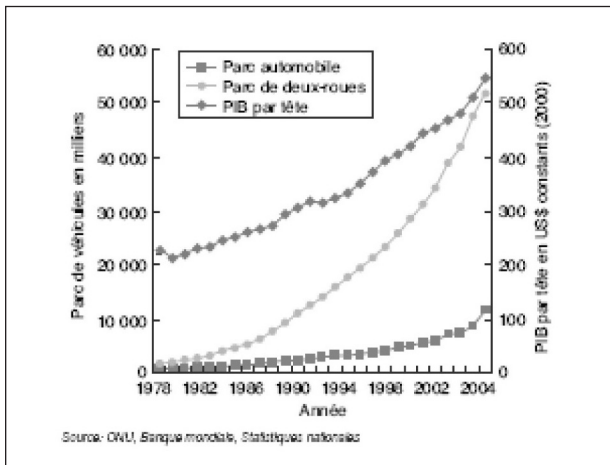


Figure 4 : Evolutions du parc des véhicules particuliers (automobiles, deux roues) et du PIB/habitant en Inde.

sance du parc mondial. Si, en Amérique latine, par exemple, c'est bien l'automobile qui prend l'ascendant sur les autres types de véhicules particuliers, en Asie, ce sont les deux-roues qui composent, aujourd'hui, la majorité du parc de véhicules. La figure 4 prend l'exemple de l'Inde, où, depuis les années 1990, le développement du parc de deux-roues est plus rapide que la croissance économique. Le parc automobile indien présente, jusqu'à maintenant, un rythme de progression voisin de cette dernière, avec toutefois une augmentation plus forte sur la période récente.

Les figures 5 à 7 présentent des cartes du monde, sur lesquelles les pays occupent une « superficie » proportionnelle à leur taux de motorisation automobile (nombre de voitures divisé par la population). Ces cartes permettent d'illustrer l'évolution des parcs automobiles nationaux (les données sur les deux-roues sont plus difficiles à trouver) entre les années 1960 et 2004, avec des projections à l'horizon 2030.

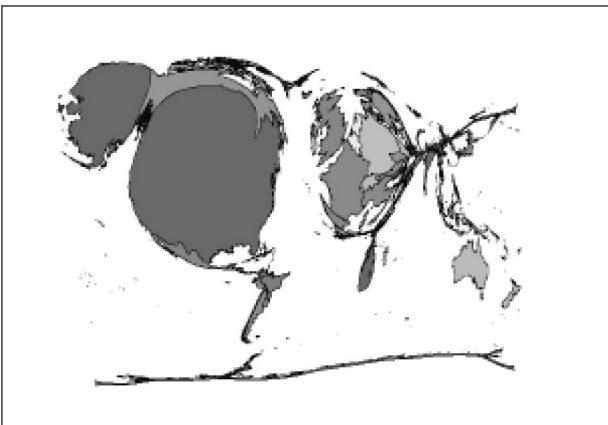


Figure 5 : Répartition du parc automobile mondial, par pays, en 1960 (environ 86 millions de véhicules, selon les sources de l'ONU).

On remarque sur la figure 5 qu'en 1960, seul le parc automobile des États-Unis se détachait du reste du monde. Il comptait alors 61,4 millions de voitures, soit 63 % du total mondial.

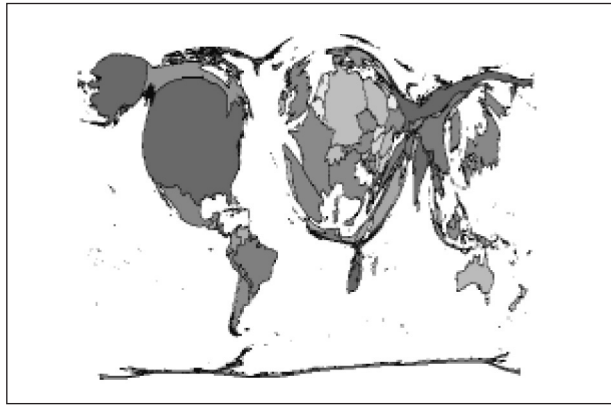


Figure 6 : Répartition du parc automobile mondial, par pays, en 2004 (autour de 620 millions de véhicules, selon les sources de l'ONU).

En 2004 (voir la figure 6), les déformations des États-Unis et de l'Europe semblent à-peu-près équivalentes : la flotte de véhicules de l'Europe (Europe des 25, plus la Norvège, la Russie et la Roumanie) dépasse juste celle des États-Unis (248,9 millions de voitures, contre 231,4 millions). Les autres zones semblent encore être dotées d'un parc automobile marginal.

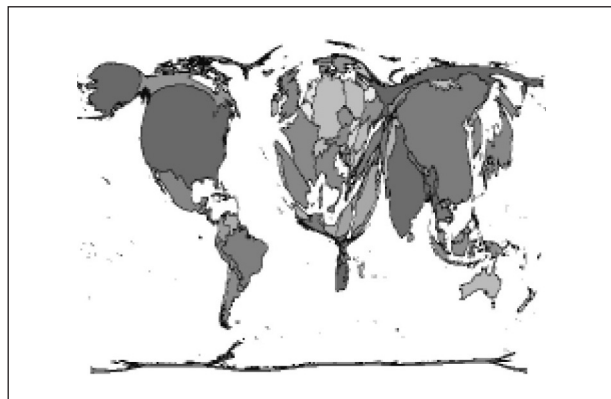


Figure 7 : Projection du parc automobile mondial, par pays, en 2030 (environ 1,3 milliard de véhicules – simulation IFP).

Les projections à l'horizon 2030 (voir la figure 7) montrent la place prépondérante que pourrait prendre l'Asie (principalement la Chine et l'Inde) en matière de parc automobile. Selon un scénario *Business As Usual*, l'Inde et la Chine tendraient, à terme, à avoir un parc du même ordre que celui de l'Europe aujourd'hui, soit environ 250 millions de voitures. Ainsi, si le nombre de véhicules dans les pays industrialisés atteint la saturation (environ 80 % des ménages étant motorisés), le parc d'automobiles est en pleine croissance dans les pays émergents, principalement en Asie.

LES ÉNERGIES POUR LE TRANSPORT D'AUJOURD'HUI ET DE DEMAIN

Le transport est un secteur extrêmement énergétivore. Dans le monde, ce secteur consommait, en 2005,

l'équivalent de 2 141 Mtep. En France, les transports représentent même le deuxième secteur consommateur d'énergie, avec 31 % de la consommation énergétique totale.

Les carburants conventionnels issus du pétrole assurent, actuellement, l'immense majorité des besoins en énergie nécessaires à la mobilité des personnes et des biens.

L'essence et le gazole couvrent 98 % de l'énergie utilisée dans le transport routier à l'échelle mondiale, et 96 % en Europe, où les biocarburants ne représentent qu'une part de 1,5 %, et le gaz naturel à peine plus de 1 % (voir la figure 8).

La consommation énergétique du secteur des transports augmente à un rythme annuel proche de 2 %. Les carburants routiers traditionnels ont déjà fait l'objet de nombreuses améliorations (techniques : niveau des indices d'octane et de cétane ; environnementales : moindre teneur en plomb, soufre, etc.), pour répondre à des spécifications plus sévères ; d'autres améliorations sont encore nécessaires pour répondre aux futures spécifications déjà programmées. Ainsi, il est plus que vraisemblable que de nouvelles normes seront mises en œuvre d'ici à 2020 pour répondre aux futurs objectifs de qualité de l'air que s'est fixés l'Union européenne, et/ou aux éventuelles exigences des moteurs, en raison de l'adoption de nouveaux modes de combustion.

Aujourd'hui, le secteur des transports est donc étroitement lié au pétrole, mais il y a potentiellement de nombreuses alternatives. Les sources d'énergie exploitables pour les transports recouvrent les ressources fossiles, la biomasse, les énergies renouvelables et l'énergie nucléaire (*via* la production d'électricité). À partir de ces ressources, plusieurs types de carburants peuvent être obtenus, puis utilisés par les différents types de véhicules. Ceux-ci peuvent être classés en quatre grandes catégories (voir la figure 9), parmi lesquelles figurent les véhicules équipés de moteurs à combustion interne, les plus répandus à l'heure actuelle, ou les véhicules hybrides, actuellement en cours de mise sur le marché.

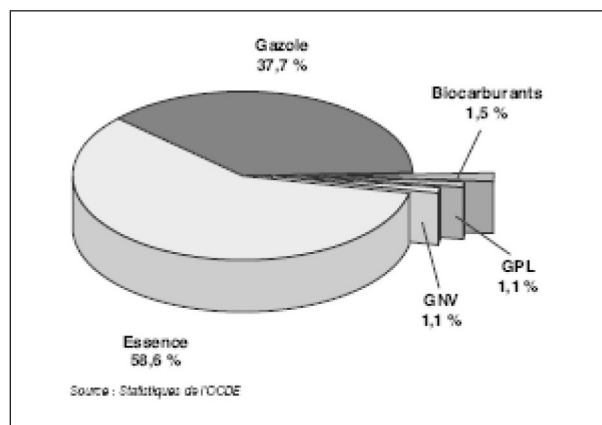


Figure 8 : Répartition de la consommation d'énergie dans le transport routier européen en 2007, par type de carburant.

Face à ces nombreuses solutions possibles, comment faire un choix ? Comment évaluer ces carburants et en appréhender les forces et les faiblesses, sur les plans économique et environnemental ou, encore, en matière de disponibilité de la ressource ?

D'ores et déjà, diverses énergies alternatives sont disponibles. Le gaz de pétrole liquéfié (GPL) a été le premier vrai carburant alternatif. C'est un mélange de butane et de propane issu du raffinage du pétrole (40 % de la ressource mondiale) et du traitement du gaz naturel (pour le solde).

Le gaz naturel véhicule (GNV) a fait l'objet d'un intérêt important lié au développement du marché du gaz naturel, dont la disponibilité apparaît plus durable que celle du pétrole.

Les biocarburants connaissent un taux de croissance important au niveau mondial. Il en existe, aujourd'hui, deux grands types : l'éthanol et les esters méthyliques d'huile végétale (EMHV), voire animale (le biodiesel). L'éthanol, qui peut s'utiliser dans des moteurs de type « essence », est un produit issu de plantes sucrières comme la canne à sucre et la betterave sucrière, ou de plantes amylacées, comme le blé ou le maïs. Rappelons

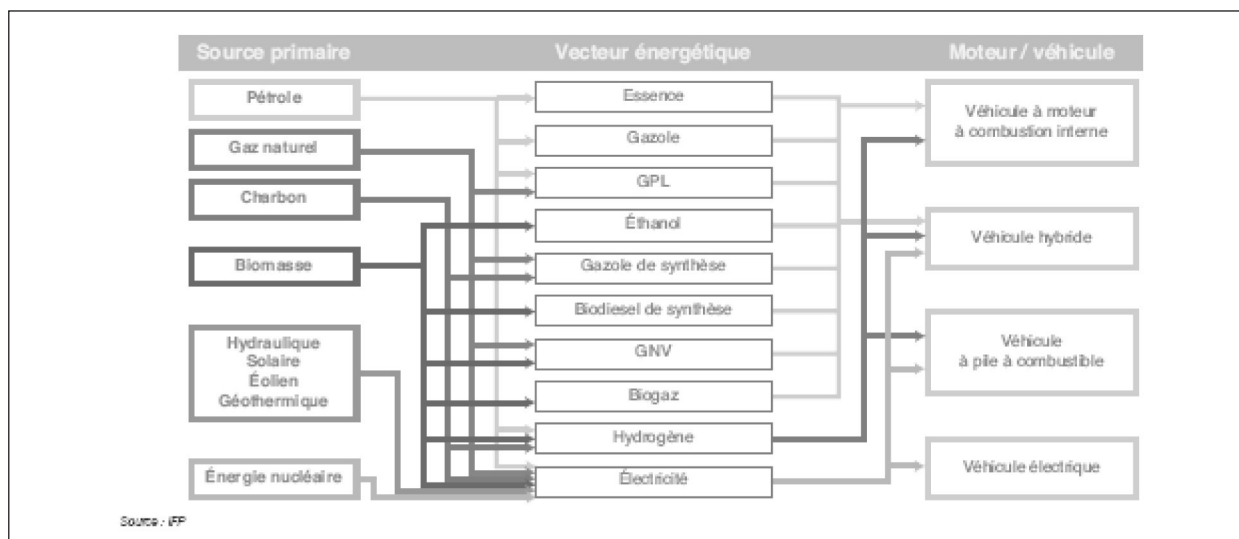


Figure 9 : Les filières énergétiques de l'automobile.

que ces deux carburants, en particulier l'éthanol, ont déjà été utilisés par le passé.

Le cas de l'électricité, qui est un vecteur d'énergie et non une énergie primaire, est quelque peu différent de celui des autres énergies évoquées précédemment. L'électricité est, en effet, déjà présente dans nos véhicules : elle ne fait que gagner une place de plus en plus importante, via un processus d'« hybridation » croissante.

L'étape suivante semble être le véhicule hybride *plug-in*, c'est-à-dire connectable au réseau électrique afin d'en recharger les batteries, augmentant d'autant le rôle alloué au moteur électrique.

Enfin, il faut également compter avec les véhicules entièrement électriques, c'est-à-dire équipés de batteries et de moteurs électriques capables de mouvoir le véhicule avec des performances acceptables sur des distances de l'ordre de 100 à 200 km, sans émission de polluants par le véhicule lui-même.

Par ailleurs, la production de carburants liquides peut être envisagée, à moyen terme, non plus uniquement à partir de pétrole, mais aussi à partir d'autres ressources fossiles (gaz naturel, charbon) ou de la biomasse.

La production des carburants de synthèse se déroule en deux étapes, qui sont communes à toutes les sources envisageables. Dans un premier temps, la matière première est convertie en gaz de synthèse (un mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone), puis en produits liquides par le procédé Fischer-Tropsch, pour obtenir du gazole et du kérosène. On parle donc de filières XtL (*Something to Liquids*) – c'est-à-dire de filières permettant de passer d'une matière première gazeuse ou solide, ou encore d'un milieu en fermentation, à un carburant liquide. Les carburants ainsi produits (en particulier le diesel) sont de très bonne qualité.

Les avantages et coûts environnementaux et économiques de chacune de ces filières dépendent en grande partie du type de source d'énergie considéré.

Les biocarburants de deuxième génération font l'objet d'un grand intérêt au niveau mondial. C'est le cas de la filière BtL, qui permet d'obtenir du carburant diesel par gazéification de la biomasse lignocellulosique. Les programmes de recherche se sont également largement développés autour de la conversion de la biomasse lignocellulosique en éthanol, par voie biochimique. Il s'agirait alors, grâce à la fermentation des sucres contenus dans la lignocellulose, de produire de l'éthanol substituable à l'essence traditionnelle.

À long terme, la biomasse marine (algues) pourrait constituer une autre ressource mobilisable pour la production de nombreux biocarburants. La voie privilégiée, à l'heure actuelle, consiste en la production de biodiesel à partir d'huiles algales.

Sur le long terme, l'hydrogène peut être envisagé comme un carburant utilisé soit directement, soit en mélange avec du gaz naturel (jusqu'à 20 %) dans un moteur à combustion interne. L'utilisation d'hydrogène

ne pur, via une pile à combustible alimentant un moteur électrique peut être envisagée comme une alternative au stockage direct d'électricité dans des batteries. En conclusion, la dépendance pétrolière dans le secteur du transport est appelée à perdurer. Les carburants alternatifs les plus utilisés au niveau mondial sont les biocarburants, le GPL et le GNV. Les biocarburants offrent un net avantage en termes de contenu en CO₂. À moyen terme, on devrait assister à la montée en puissance des carburants de synthèse produits à partir du gaz naturel (GtL), du charbon (CtL) et de la biomasse (BtL et bioéthanol par voie biochimique), pour lesquels il existe des projets pilotes ou déjà industriels. Leur rentabilité comparée à celle des carburants fossiles dépend, toutefois, du prix du pétrole brut.

L'électricité va voir son poids s'accroître, quel que soit le niveau d'électrification du véhicule. Enfin, sur le plus long terme, l'hydrogène pourrait être envisagé comme un carburant de substitution, si certains obstacles sont levés, notamment sur les plans technique et économique.

Les bouleversements récents sur les plans environnemental et énergétique amènent à s'interroger sur un nouveau paradigme de la voiture individuelle, rendant obsolète l'extrapolation des tendances passées en matière de mobilité. Si les contraintes de pollution locales pesaient déjà fortement sur l'automobile depuis au moins trois décennies, il s'y ajoute, aujourd'hui, la pression des émissions de gaz à effet de serre. Le changement climatique est un phénomène qu'intègrent aujourd'hui tant les citoyens que les politiques. La flambée récente des prix du pétrole a changé le comportement des consommateurs et des Pouvoirs Publics. On peut cependant s'interroger sur le caractère durable de ces changements, dès lors que la pression des prix du pétrole se ferait moins forte. Enfin, la crise économique a un impact majeur sur l'industrie automobile, qui va être amenée à faire évoluer son offre de façon importante.

L'émergence d'un nouveau paradigme de la mobilité dépendra de trois facteurs principaux :

- le prix du pétrole : maintien aux cours actuels, ou poursuite de la hausse, avec un baril atteignant les 200 \$;
 - les réglementations environnementales : évolueront-elles progressivement ou se durciront-elles brutalement, avec, par exemple, une taxation massive et générale de l'entrée des véhicules privés dans les grandes villes ?
 - l'attente des consommateurs : seront-ils indifférents aux évolutions législatives et à l'environnement, ou remettront-ils en cause leurs modes de consommation ?
- La combinaison de ces facteurs peut conduire à des scénarios très différenciés. C'est là un défi d'autant plus redoutable pour les constructeurs automobiles que leur marché est mondial, alors que les réponses des Pouvoirs Publics varieront, vraisemblablement, d'une région à l'autre (Europe, Amérique du Nord, pays émergents...).

L'électricité : l'énergie de l'avenir pour les véhicules individuels

LES ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

Les trente premières années de l'ère automobile furent marquées par une intense compétition entre le moteur électrique, la machine à vapeur et le moteur à explosion. Après avoir presque disparu, face à la concurrence des véhicules utilisant des produits pétroliers, le véhicule électrique a fait un retour raté dans les années 1990. Il revient, aujourd'hui, avec des atouts nouveaux, et fait l'objet d'études et d'expérimentations approfondies, visant à en valider les solutions techniques et le modèle économique...

par Igor CZERNY*

« Nous avons franchi une étape importante dans le développement de l'électricité, notamment dans les transports, comme source d'énergie compétitive et propre, qui respecte les enjeux de la planète et les besoins de mobilité individuelle. La contribution à la réduction des gaz à effet de serre est au cœur des engagements et des choix d'investissements du Groupe EDF, qui est aujourd'hui parmi les énergéticiens les moins émetteurs de CO₂ ». (Pierre Gadonneix, Président Directeur Général d'EDF).

La France, tout comme EDF, a de bonnes raisons pour participer au développement des véhicules électriques et hybrides rechargeables : en effet, nous possédons l'expérience, nous maîtrisons les technologies idoines, et nous pouvons appuyer nos efforts sur des constructeurs, nationaux et internationaux, désormais pleinement engagés.

Par ailleurs, plus l'électricité est elle-même produite à partir d'énergies non carbonées (nucléaire et renouvelables), plus elle constitue une alternative intéressante au moteur thermique, en tant que vecteur de réduction des émissions de gaz à effet de serre dues au transport individuel : cela confère à la France une légitimité indéniable à jouer un rôle de premier plan dans le dévelop-

pement du véhicule électrique et du véhicule hybride rechargeables.

Le véhicule électrique et le véhicule hybride rechargeable sont devenus aujourd'hui des enjeux énergétiques, sociétaux, industriels et, donc, politiques.

Tout autant que la crise de l'industrie automobile, l'évolution des technologies, celle des mentalités et la volonté politique et industrielle permettent d'affirmer que « la voiture du XXI^e siècle sera électrique ou ne sera pas » ou, à tout le moins, que « l'électricité est l'avenir de l'automobile ».

Tous les problèmes ne sont pas réglés pour autant, toutes les questions n'ont pas encore trouvé de réponse probante, mais le mouvement vers le véhicule électrique apparaît inéluctable. La question posée n'est plus de savoir si l'électricité participera au mix énergétique de l'automobile, mais bien : quand et comment ? Il s'agit donc de prendre notre part à cette évolution et d'en maîtriser les différentes phases, au mieux des intérêts de la collectivité nationale, c'est-à-dire du public et de l'Entreprise.

* Directeur du Transport et des Véhicules Électriques, Electricité de France.



© ULLSTEIN BILD/ROGER-VIOLETT

Le constructeur automobile Ferdinand Porsche, dans sa jeunesse, devant un dispositif électrique construit par lui dans la maison de ses parents. Photo, 1^{er} avril 1894.

LES RACINES DU FUTUR

L'histoire de l'automobile est jalonnée de rendez-vous avec l'électricité. Les trente premières années de l'ère automobile furent marquées par une intense compétition entre trois modes de propulsion : la machine à vapeur, le moteur à explosion et le moteur électrique. Savez-vous quelle est la première « automobile » à avoir franchi le seuil symbolique des 100 km/h ? Ce fut la « *Jamais Contente* », une voiture « électrique » en forme de torpille sur roues, construite par la Compagnie Générale Belge des Transports Automobiles Jenatzy (record établi le 1^{er} mai 1899, à Achères, dans l'actuel département des Yvelines) !

Lors de cette même année 1899, il y avait douze fabricants de véhicules électriques aux États-Unis, et 28 % des 4 192 automobiles immatriculées dans ce pays l'année suivante étaient propulsées par un moteur électrique (1).

(1) *Electric Vehicles in the early years of the automobile*, 2004, article de Carl Sulzberger pour l'*IEEE Power Engineering Society*.

(2) *Un cas d'amnésie stratégique : l'éternelle émergence de la voiture électrique*, article de Frédéric Fréry (IX^e Conférence Internationale de Management Stratégique, Montpellier, 24, 25 et 26 mai 2000).

En 1900, alors âgé de 24 ans, Ferdinand Porsche présente à Paris la première version de la Lohner-Porsche, propulsée par des moteurs électriques logés dans les moyeux des roues, pour le compte des ateliers Lohner & Co, carrossiers de la Cour royale et impériale de Vienne. En 1901, cet ingénieur visionnaire modifie légèrement son projet, avant de le présenter au Salon de l'Auto de Paris : il y ajoute un moteur thermique couplé à un générateur électrique, ce qui fait de la Lohner-Porsche le premier « véhicule hybride » de l'histoire !

En 1912, alors que débute la production en série de la Ford T, 34 000 véhicules électriques sont en circulation aux États-Unis. A New-York, la compagnie *American Express* utilise une flotte de 50 camions électriques Baker. A l'époque, ces véhicules, extrêmement fiables, sont utilisés par 200 entreprises aux États-Unis (2).

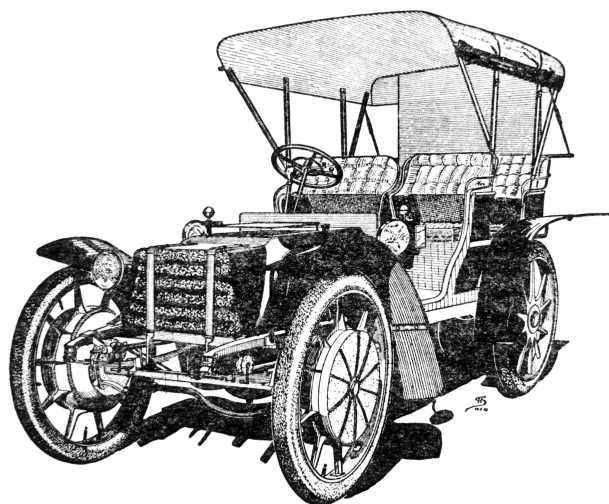
Pourtant, quoique fiables, les technologies de propulsion électrique pâissent, dès l'origine, de deux handicaps, qui restent d'actualité :

- des coûts de production (et donc de vente) non compétitifs ;
 - la capacité limitée et le poids, rédhibitoire, des batteries.
- Or, les performances des moteurs atmosphériques (les moteurs « à explosion ») sont, quant à elles, croissantes : cela a pour effet de creuser un écart considérable entre les deux modes de motorisation.

LES ANNÉES 1990 : DE FOLLES ILLUSIONS, ET DE DURES RÉALITÉS

Avec les années 1990, l'électricité renoue avec le moyen de transport emblématique du XX^e siècle : l'automobile individuelle.

La hausse du prix des hydrocarbures, la prise de conscience des dépendances qu'elle induit et l'émergence d'une conscience environnementale sont conco-



© SCIENCE PHOTO LIBRARY-COSMOS

La Lohner-Porsche de 1901, première voiture hybride de l'histoire. Gravure d'époque.

mitantes de progrès techniques et technologiques, qui permettent au véhicule électrique de connaître une « seconde jeunesse ».

Pourtant, ces améliorations techniques ne transcendent pas les handicaps (réels, ou perçus) des technologies de propulsion électriques.

Les batteries restent lourdes et chères, et elles n'offrent qu'une autonomie jugée insuffisante (sans doute à tort) par les propriétaires de véhicules individuels. Par ailleurs, leur usure pose aussi problème : comme c'est le cas pour n'importe quelle pile électrique, leur capacité s'épuise avec le temps, et surtout en fonction du nombre de recharges successives. Résultat : il faut en changer, et cela entraîne un coût supplémentaire.

Le développement des infrastructures de recharge est à la hauteur du piètre succès commercial de ces véhicules : en France, on ne compte, à ce jour, que 200 bornes de recharge (dont une centaine pour la seule ville de Paris).

Le temps du véhicule électrique individuel n'était sans doute pas venu ?...

Effectivement : la technologie n'était pas au point ou, à tout le moins, elle n'avait pas effectué le bond en avant nécessaire à une remise en cause du modèle automobile classique. Par ailleurs, le contexte économique et politique n'était pas propice. Enfin, les mentalités et la perception de l'automobile n'avaient pas suffisamment évolué, pour permettre au véhicule individuel électrique de pénétrer les marchés grand public...

En conséquence, le développement de cette seconde génération de véhicules électriques resta cantonné à des parcs captifs (principalement ceux des administrations ou des services publics). C'est ainsi qu'EDF devint l'heureux propriétaire d'une flotte de 1 500 véhicules électriques, ce qui fit de l'énergéticien français le premier exploitant au monde de ce type de véhicules.

Néanmoins, un certain nombre d'acteurs, au premier rang desquels figure EDF, acquièrent alors une précieuse expérience, et donc un *leadership* incontestable (et d'ailleurs non contesté), en matière d'exploitation de véhicules électriques, de déploiement d'infrastructures pilotes de charge, de gestion et de maintenance de parcs de batteries, etc. En parallèle, les investissements de recherche et développement dans les technologies et les infrastructures critiques étaient poursuivis, notamment dans le domaine des batteries et de leur charge rapide, faisant ainsi d'EDF un pôle de compétence et d'expérience incontournable, au niveau européen.

En dépit de l'échec commercial du véhicule électrique individuel de deuxième génération, certaines réalités finissent par s'installer. EDF, quant à elle, n'a jamais cessé d'investir, de maintenir une veille technologique et concurrentielle, de conduire des expérimentations de produits ou de modèles d'affaires, ni de participer à la sensibilisation des collectivités locales et du grand public à l'avenir prometteur du véhicule électrique.

(3) Dominique Bourg, professeur à l'Université de Lausanne, cité par le quotidien helvétique « Le Temps », 2 mars 2009.

CE QUI EST SOUHAITABLE, ET CE QUI EST POSSIBLE

Le changement climatique est une réalité aujourd'hui incontestée, faisant de la réduction des émissions des gaz à effet de serre un enjeu politique et diplomatique de dimension planétaire.

La contribution de l'automobile à la pollution et les conséquences de cette dernière en terme de santé publique font l'objet d'une prise de conscience sans précédent.

Les prix du pétrole connaissent des amplitudes de variation considérables. L'horizon auquel les réserves vont s'épuiser (ou n'être exploitables que dans des conditions économiques extrêmement difficiles) s'est rapproché : il est désormais devenu « visible ». Ce qui, jusqu'à présent, était considéré comme une alternative possible est en passe de devenir l'unique recours.

L'industrie automobile connaît une crise sans précédent, bien entendu d'ordre économique, mais aussi, sans doute, de nature sociétale et culturelle.

L'écologie urbaine et périurbaine est désormais un enjeu politique majeur, et les transports individuels sont un élément essentiel des stratégies de développement durable. D'ailleurs, on parle désormais de « mobilité durable ».

Les composants des véhicules électriques individuels ont fait des progrès importants en matière d'allègement. Un saut technologique est intervenu, avec le développement des batteries Lithium-Ion, dont la densité énergétique (rapport énergie délivrable/poids) a été grandement améliorée, et qui ne connaissent plus cet « effet-mémoire », qui caractérisait les générations antérieures d'accumulateurs (ceux-ci se rechargeant de plus en plus incomplètement, au fil des recharges successives). On assiste, par ailleurs, au développement (ou plutôt, à la renaissance) des véhicules hybrides, que Ferdinand Porsche avait portés sur les fonds baptismaux, nous l'avons vu, au début du XX^e siècle.

Le contexte actuel n'a donc jamais été aussi favorable à ce que l'électricité trouve enfin sa place dans le *mix* énergétique du transport individuel, alors qu'elle est déjà depuis longtemps (trains), voire depuis l'origine (tramways, trolleybus, métros), le « carburant » principal du transport collectif.

Par ailleurs, les mentalités évoluent, tandis que les modes de mobilité sont en mutation. « La voiture carburant [encore] aux valeurs du XIX^e siècle » (3)... Le désir de possession et de supériorité, la vitesse, la puissance, la consommation effrénée de pétrole sont des socio-types aujourd'hui largement mis en cause. Accusée de mille maux, l'automobile, dans son acception traditionnelle, est devenue aujourd'hui moins désirable. L'on passe ainsi, peu à peu, d'une envie de posséder un objet (une voiture) à un désir de mobilité, à une aspiration de partage.

L'autonomie, jugée insuffisante, des véhicules électriques (ceux de la flotte EDF, au milieu des années

1990, avaient pourtant une autonomie, honorable, de 90 à 100 km) a connu des améliorations conséquentes. De plus, avec l'évolution des mentalités, la perception que l'utilisateur en a est en train de changer.

Ainsi, les constructeurs automobiles américains, que l'on a longtemps soupçonnés d'être irresponsables en matière d'environnement et de feindre de croire éternelles les réserves de pétrole, reconnaissent aujourd'hui que l'autonomie des véhicules électriques de nouvelle génération est suffisante pour faire face aux besoins de mobilité de l'immense majorité des utilisateurs d'outre-Atlantique. En effet, quatre-vingts pour cent des Américains parcourent en voiture moins de 65 km par jour (4) (et 98 %, moins de 160 km (5)).

Un siècle plus tard, l'électricité tiendrait-elle sa revanche sur le pétrole ? Elle apparaît aujourd'hui comme l'une des voies privilégiées de sortie de crise pour l'industrie automobile, tant en termes d'image que de création de valeur. Aujourd'hui, l'électricité ferait presque figure de providence de l'automobile et, grâce à elle, « la voiture, symbole de la croissance et de la prospérité d'hier, [peut devenir] le vecteur de la croissance de demain (6) ». Toutes les conditions seraient-elles donc enfin réunies pour que la voiture électrique entre dans la phase industrielle ? Le réchauffement climatique, la crise économique et les évolutions technologiques semblent bien avoir, cette fois-ci, brisé le cercle vicieux de l'absence d'offre adaptée et de demande du grand public.

Depuis Nicolas Sarkozy jusqu'à Barack Obama, les chefs d'Etat ne s'y sont pas trompés. Le Président français a, ainsi, dévoilé une ambitieuse politique visant à appuyer le développement de véhicules « décarbonés », au premier rang desquels les véhicules électriques et hybrides rechargeables. Le Président des Etats-Unis conditionne, quant à lui, l'octroi d'aides publiques au secteur automobile américain en détresse à la mise au point « à marche forcée » d'une filière industrielle et d'une offre de véhicules non-polluants. Ainsi, le 19 mars 2009, à l'*Edison Electric Vehicle Tech Center* de Pomona, en Californie, il a annoncé l'adoption d'un plan visant à mettre sur le marché un million de voitures hybrides (rechargeables sur le secteur) d'ici à 2015. Pour ce faire, des aides, à hauteur de 2,4 milliards de dollars, seront allouées aux acteurs concernés.

L'avenir du véhicule électrique ou hybride rechargeable passera par la Chine. En développant le nucléaire et en 'décarbonant' sa production d'électricité, la Chine deviendra un acteur mondial majeur du développement de ces véhicules.

Lors d'un discours prononcé le 9 octobre 2008 au Mondial de l'Automobile de Paris, le Président de la République a, pour sa part, lancé une initiative de grande envergure ayant pour objectif de donner de la visibilité aux acheteurs et aux constructeurs : « Au cours des quatre prochaines années, 400 millions d'euros de financement public seront débloqués pour accélérer les efforts de R&D sur les véhicules décarbonés. En outre, pour soutenir la demande et favoriser la production en

série, le bonus écologique de 5 000 €, déjà applicable pour tout véhicule particulier émettant moins de 60 g de CO₂/km, sera étendu aux véhicules utilitaires légers et (il sera) maintenu jusqu'en 2012. Ce dispositif ne sera réexaminé qu'une fois atteint le seuil de 100 000 véhicules décarbonés » (7).

Les constructeurs ne sont pas en reste. Tous les « grands » ont annoncé la sortie prochaine (dès 2010-2011) de véhicules grand public tout électrique ou hybrides rechargeables.

Certains vont même jusqu'à prévoir qu'en 2020, c'est la moitié des véhicules vendus aux Etats-Unis qui seront équipés d'une motorisation électrique (8). Le cabinet de conseil anglo-saxon A.T. Kearney prévoit un taux de pénétration des véhicules électriques de 10 % en 2020, dans un scénario fondé sur un prix de 100 \$ pour le baril de pétrole, ce taux passant à 25 % en cas de doublement du prix du pétrole (baril à 200 \$) (9).

Les développements technologiques associés vont eux aussi bon train. Ainsi, le cabinet McKinsey estime que les investissements des sociétés de capital-risque dans les entreprises développant des batteries ou des équipements auxiliaires ont décuplé entre 2003 et 2007, passant de 153 millions de dollars à 1,15 milliard (10). Sanyo, l'un des acteurs principaux du développement et de la production de batteries Lithium-Ion, indique un objectif de production de 10 millions de cellules d'ici à 2015, soit de quoi alimenter 1,7 million de véhicules (11).

« POUR CE QUI EST DE L'AVENIR, IL NE S'AGIT PAS DE LE PRÉVOIR, MAIS DE LE RENDRE POSSIBLE » (12)

Pourtant, il faut se garder des illusions qui ont accompagné la fausse résurgence du véhicule électrique dans les années 1990. Tous les problèmes ne sont pas réglés, qu'ils soient techniques, industriels, liés aux infrastruc-

(4) Frank Klegon, Directeur en charge des nouveaux produits de Chrysler, Communiqué de presse Chrysler, 28 Septembre 2008.

(5) Mark Perry, Directeur du planning stratégique et des nouveaux produits chez Nissan Americas, cité par *Green Car Advisor*.

(6) Déclaration de M. Nicolas Sarkozy, Président de la République, sur les enjeux de l'industrie automobile française, notamment environnementaux, au Salon mondial de l'Automobile, à Paris, le 9 octobre 2008.

(7) *ibidem*.

(8) Frank Klegon, Directeur en charge des nouveaux produits de Chrysler, cité par *Automotive News Europe* : « Europe to get Chrysler electric car after 2010 », 29 Septembre 2008.

(9) Note du Crédit Suisse, Septembre 2008.

(10) *Financial Times* : « Battery of developers in race to fuel electric cars », 3 Octobre 2008.

(11) *ibidem*.

(12) Antoine de Saint-Exupéry.

tures de charge ou au coût des véhicules individuels utilisant l'électricité pour tout ou partie de leur propulsion.

Un phénomène de « survente » avait caractérisé le discours sur le véhicule électrique, dans les années 1990. Or, en matière commerciale – surtout dans un domaine aussi chargé de symboles que l'automobile – les promesses non tenues coûtent cher !

Tout d'abord, l'électricité, en tant qu'énergie embarquée, peut se présenter sous divers aspects, concurrents ou complémentaires : le tout électrique et l'hybride rechargeable (voire la génération à bord, par le biais d'un générateur atmosphérique dédié). Par ailleurs, la technologie des batteries Lithium-ion, aux confins de la physique et de la chimie, reste, selon certains experts, difficile à manier, tant en termes de sécurité que de transition industrielle entre la présérie et la production de masse. Le modèle économique du véhicule individuel à propulsion électrique de demain n'a pas encore été validé. Le coût, à l'achat, des véhicules de ce type reste notablement supérieur (de l'ordre de 40 %) à celui des véhicules à moteur atmosphérique, et ce surcoût ne pourra être compensé, dans un premier temps, qu'au moyen d'incitations fiscales ou de l'octroi d'aides financières. La gestion et la maintenance des batteries devront peut-être avoir vu émerger un modèle d'affaires spécifique (leasing, plutôt qu'achat), avant que de pouvoir prétendre concurrencer les carburants traditionnels. Le modèle économique et les modalités de déploiement des infrastructures de charge des batteries des véhicules sont en cours de définition. Ils devront tenir compte de la durée de vie des batteries, ainsi que de celle des véhicules, et intégrer les problèmes juridiques particuliers que soulève la dérégulation du secteur électrique (distribution et commercialisation).

Nous entrons donc dans une phase, sans doute de deux ou trois ans, qui devrait permettre, par le biais d'expérimentations *in vivo* et *in situ*, de valider les hypothèses, de comparer les modèles économiques et les solutions techniques et de tester en vraie grandeur les modèles et les solutions techniques et économiques proposées par les constructeurs et les parties prenantes, qu'il s'agisse des collectivités locales, des distributeurs d'électricité, des gestionnaires d'espaces publics, etc. Autrement dit, nous allons distinguer le possible du souhaitable, afin de le mettre en œuvre.

D'ores et déjà, les collectivités locales, les grandes entreprises (en particulier celles appartenant au secteur public ou parapublic) sont en mesure de jouer un rôle moteur. Elles exploitent d'importantes flottes captives permettant de conduire des expérimentations grandeur nature, suivies d'achats sur étagère, dans l'attente que la baisse des coûts (et donc, des prix) liée aux quantités produites permette de faire entrer le véhicule électrique individuel dans l'arène du marché grand public.

Les infrastructures de charge devront être déployées dans des conditions économiques acceptables pour toutes les parties, afin de permettre un développement harmonieux du parc automobile électrique et de satis-

faire les besoins en mobilité des utilisateurs. La *stratégie nationale de déploiement des infrastructures de recharge pour les voitures électriques et hybrides* a été récemment annoncée par la Secrétaire d'Etat à l'Ecologie, Chantal Jouanno, et par le Secrétaire d'Etat chargé de l'Industrie et de la Consommation, Luc Chatel. Des groupes de travail réunissant industriels de l'automobile, collectivités locales, spécialistes de l'énergie et grandes entreprises, sont en train de définir les actions à mettre en œuvre.

Le projet-phare de cette stratégie nationale est l'instauration d'un partenariat Etat/grandes entreprises, qui permettra la commercialisation de 100 000 véhicules décarbonés en cinq ans. Cela devrait permettre d'engager les constructeurs dans une phase d'industrialisation rentable, et de stimuler une demande encore trop timide.

EDF, forte de ses cinquante ans d'expérience et d'implication dans le transport et les véhicules électriques, est pleinement intégrée à ces différents exercices de préparation de l'avenir. Sa position de centre de compétence et de réservoir d'expériences – unique en Europe, voire au monde – en fait un partenaire incontournable pour les différents acteurs de la filière des véhicules électriques ou hybrides rechargeables, qu'il s'agisse des constructeurs automobiles, des fabricants de batteries ou de bornes de charge, des collectivités locales ou d'exploitants d'importantes flottes de véhicules.

Cette année, au mois de décembre, EDF et Toyota (premier constructeur automobile mondial) mettront 100 véhicules hybrides, rechargeables par le biais d'une prise électrique, à la disposition d'entreprises et de partenaires institutionnels de la région de Strasbourg.

Le 9 octobre 2008, EDF et Renault ont annoncé la signature d'un protocole d'accord visant à créer, en France, un système à grande échelle de transport individuel à zéro émission.

Un accord similaire a été conclu entre EDF et PSA pour favoriser le développement et la commercialisation de véhicules électriques et hybrides rechargeables. S'appuyant sur une expérience de plusieurs décennies, EDF apporte à ses différents partenaires industriels une expertise de premier plan en matière de systèmes de charge des véhicules (charge normale et charge rapide) et de leur standardisation (afin de permettre le développement de bornes omni-véhicules), de protocoles de communication entre les véhicules et le réseau, durant la charge de la batterie (notamment par courant porteur en ligne, une technologie pour laquelle EDF a développé des solutions innovantes et matures) et leur standardisation (pour permettre de faire jouer la concurrence entre fournisseurs d'électricité). Par ailleurs, l'expérience d'EDF, en tant que gestionnaire de flotte de véhicules électriques (l'entreprise exploite aujourd'hui encore la première flotte mondiale de ce type) et de batteries, sera d'une grande utilité pour ces différents partenariats, au même titre que notre longue histoire de relations harmonieuses avec les collectivités locales, en tant que conseiller ou fournisseur d'énergie.

EDF sera un acteur majeur de la révolution du véhicule individuel. D'abord, parce que rien de ce qui est électrique n'est étranger à l'activité du premier énergéticien européen, ensuite, parce que l'entreprise dispose d'un capital d'expérience et de savoir-faire, qu'il convient de mettre à la disposition d'une œuvre d'intérêt public et, enfin, parce que les automobilistes vont devenir des clients d'EDF ! Le développement du véhicule électrique ou hybride rechargeable implique la mise en place de systèmes de gestion intel-

ligents de la facturation et de la gestion des pointes de consommation d'électricité, c'est-à-dire une évolution sensible dans la manière dont on distribue l'électricité dans notre pays. Acteur incontournable et fortement impliqué dans la filière, EDF prendra sa part et jouera son rôle pour que l'électricité, le « carburant bleu », prenne sa juste place dans l'avenir du véhicule individuel, que les évolutions technologiques, économiques et sociétales nous permettent d'ores et déjà d'entre-

Les perspectives du GNV dans le monde, en Europe et en France

LES ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

En raison de sa disponibilité et de ses avantages pour l'environnement, le Gaz Naturel Véhicules (GNV) est apparu très tôt, dans de nombreux pays, comme une réponse logique aux besoins de transport dans le respect d'un développement durable. Le GNV apporte dès maintenant une véritable alternative aux produits pétroliers, tout en permettant de continuer à utiliser les technologies « moteur » classiques...

par **Jean-Marc NICOLLE***

Contrairement à certaines idées reçues, le recours au GNV ne présente aucun risque supplémentaire en matière de sécurité par rapport aux carburants classiques (gazole et essence), ni lors de sa distribution, ni lors de son utilisation par le véhicule. Par ailleurs, les contraintes spécifiques du réservoir GNV embarqué sont désormais traitées de manière élégante par les constructeurs, qui intègrent ce nouvel équipement à l'architecture de leurs nouvelles plateformes véhicule.

Le GNV s'est ainsi implanté de façon significative sur plusieurs marchés, en Europe et dans le monde. En France, les différents acteurs de la filière, regroupés au sein de l'AFGNV et soutenus par les pouvoirs publics, mettent actuellement en place un programme d'actions visant à faire décoller et à enraciner un usage plus large du GNV, qui est encore très insuffisamment utilisé dans notre pays.

Déjà reconnu par les responsables de flottes d'entreprises comme une énergie alternative attractive permettant de préserver la qualité de l'air et de lutter contre le changement climatique, le GNV sera indubitablement pour les véhicules une solution à la fois indispensable et attrayante, dans un avenir déterminé bien plus qu'aujourd'hui par les considérations environnementales et la rareté de l'énergie.

LE GNV DANS LE MONDE

Une démarche mondiale

Initialement, le développement de l'emploi du GNV dans le transport routier a résulté d'une volonté de diversification énergétique.

En effet, les réserves de gaz sont plus importantes que les réserves de pétrole, et elles sont mieux réparties sur la planète. Plusieurs pays ont engagé des programmes ambitieux dans le domaine du gaz naturel carburant et ce, depuis de nombreuses années. Il s'agit principalement des pays du Mercosur (Brésil, Argentine, Venezuela, Uruguay et Paraguay), du Pakistan, de l'Iran, de la Chine et, en Europe, de l'Italie.

Historiquement, l'Argentine est le premier pays à avoir eu une telle politique volontariste de développement du GNV, en s'appuyant sur ses importantes réserves de gaz et en adoptant une législation favorable, ce pays étant

* Président de l'Association Française du Gaz Naturel pour Véhicules (AFGNV).

Le GNV dans le monde

10 millions de véhicules



Carte 1 : Le GNV dans le monde.

confronté au besoin de réduire, dans ses grandes villes, les graves nuisances environnementales dues à l'automobile.

Les développements du GNV au Brésil sont plus récents : ils sont concomitants à l'essor de la production nationale et à celui des infrastructures de distribution, dans les années 90.

L'Argentine et le Brésil sont désormais devancés par le Pakistan, qui dispose d'un parc de 2 millions de véhicules utilisant le GNV. Il faut noter également que le GNV connaît, aujourd'hui, un développement rapide, en Chine.

L'Iran, qui dispose de réserves de pétrole et de gaz considérables, mais qui ne possède aucune raffinerie, a

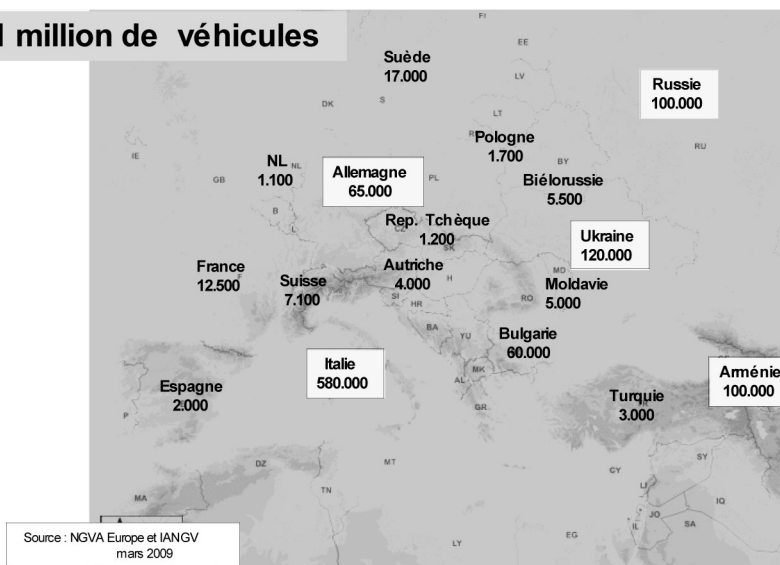
mis en place une politique très dirigiste d'incitation à l'utilisation du gaz naturel, qui est plus difficile à exporter que le pétrole et qui ne nécessite pas de transformation pour pouvoir être utilisé en tant que carburant.

Une diversification énergétique voulue par l'Europe

La diversification énergétique est également voulue par l'Union européenne. La Commission, dans son Livre vert sur la sécurité d'approvisionnement énergétique (communication de la Commission au Parlement du 7 novembre 2001), a proposé, comme objectif pour le

Le GNV en Europe

1,1 million de véhicules



Carte 2 : Le GNV en Europe.

transport routier, un remplacement de 20 % des carburants classiques par des carburants de substitution, dont la moitié serait représentée par le GNV. La plupart des pays de l'Union européenne, à commencer par nos voisins italiens et allemands, ainsi que la Suisse, travaillent à cette ambition, avec la mise en place de réseaux de distribution du GNV dans leurs stations-services.

L'Italie, qui a été le premier pays à utiliser le GNV de façon significative, représente le premier marché européen pour ce type de carburant, avec 580 000 véhicules équipés. Le marché allemand a commencé à décoller, avec un projet (lancé en 2003) de création de 1 000 stations-services distribuant du GNV, qui se concrétise en 2009 par plus de 800 stations déjà en mesure de proposer ce carburant.

En France, des résultats limités (mais encourageants), sur plusieurs marchés

La filière du GNV a enregistré en France des résultats encourageants sur plusieurs marchés de collectivités recourant à une distribution privative ; il s'agit, en premier lieu, des véhicules de transports urbains ou autres

véhicules de collectivités (comme les camions bennes pour la collecte des ordures ménagères).

La moitié des villes françaises de plus de 200 000 habitants possèdent des bus fonctionnant au GNV, tout du moins pour une part importante de leurs flottes (plus de 2 100 bus au GNV étaient ainsi en circulation, à la fin 2008). Des flottes de bennes à ordures ménagères au GNV sont en service dans plusieurs villes de province, et Paris montre l'exemple, avec près de 500 de ces bennes en exploitation.

L'utilisation du GNV s'élargit aujourd'hui au transport de marchandises, à certaines flottes d'entreprises privées ou publiques, mais il ne s'étendra à la plupart de ces flottes (et, a fortiori, aux particuliers) que dans la mesure où la France, à l'instar de l'Italie et de l'Allemagne, se sera au préalable dotée d'un réseau de distribution du GNV en stations-service.

Deux exemples illustrent les développements en cours :

- l'utilisation du GNV par Monoprix, pour l'acheminement de l'approvisionnement de ses magasins parisiens. Ce groupe de distribution et Fret SNCF ont, en effet, entamé une expérience d'acheminement des marchandises à partir d'entrepôts situés en grande banlieue, combinant la voie ferrée et, pour les derniers kilomètres, une flotte d'une vingtaine de camions (16t et 26t) roulant au GNV.



© D.R.

Camion de transport de marchandises roulant au GNV.



© D.R.

Borne GNV de la station Carrefour de Toulouse Purpan.

- la première station GNV grand public, au magasin Carrefour de Toulouse Purpan, ayant servi avec succès d'expérience pilote, un maillage de stations-services au niveau de toute une région est en préparation (en région Rhône-Alpes).

POSITIONNEMENT DU GNV PARMIS LES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES PRÉSERVANT L'ENVIRONNEMENT

Réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES)

Grâce aux caractéristiques physico-chimiques du gaz naturel, les véhicules GNV émettent 24 % de gaz à effet de serre de moins que les modèles équivalents utilisant de l'essence : ils se situent, aujourd'hui, de ce point de vue, au niveau des véhicules « diesel ».

Le GNV dispose d'une importante marge de progression en matière de diminution des consommations et des émissions de gaz à effet de serre (cf. le rapport *Le Gaz Naturel Véhicules : quel potentiel ?* réalisé par l'Institut Français du Pétrole, dans le cadre du groupe

de travail Energie Environnement de l'AFGNV, avec la participation de la Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières (DGEMP) et de l'ADEME). La recherche de nouveaux progrès s'appuiera, en priorité, sur les importantes évolutions en cours dans la technique des motorisations « essence » : sophistication des lois de levée de soupapes, turbo-compression, injection directe, *downsizing*. Le véhicule GNV pourra également profiter des avancées en matière de gestion de l'énergie, au moyen de l'hybridation, et en matière de réduction des résistances à l'air et au roulement.

Grâce aux évolutions techniques à notre portée, le GNV sans hybridation pourra être, à l'horizon 2015, aussi efficace que l'hybride diesel et ce, à un moindre coût. Le GNV hybride apportera, quant à lui, les meilleures performances intrinsèques en motorisation thermique (en dehors du recours à l'hydrogène, encore fort peu réaliste).

Limitation de la pollution locale

Le gaz naturel, composé essentiellement de méthane, se distingue par ses qualités environnementales. Sa molécule très simple (CH_4), son indice d'octane élevé (120-

130), son haut pouvoir calorifique, ses émissions limitées de polluants (tant réglementés que non réglementés), ainsi que le faible niveau sonore de sa combustion constituent de grands atouts pour un futur, où l'on sera particulièrement attentif à l'environnement.

Par rapport aux autres carburants liquides, le GNV produit moins de CO₂, trois fois moins de NO_x et beaucoup moins d'hydrocarbures non méthaniques. Il ne dégage ni fumées, ni particules, ni composants nocifs pour la santé (voire cancérigènes, comme le benzène ou le plomb).

En 2015, les normes d'émissions Euro 6 vont entraîner, pour les motorisations « diesel », l'ajout de systèmes anti-NO_x intrusifs sur les véhicules, avec un surcoût substantiel et un risque de surconsommation ; ces normes vont contribuer, indirectement, à augmenter encore l'attrait relatif du GNV.

Arrivée sur le marché des premiers véhicules tirant vraiment profit du GNV

L'offre des constructeurs européens est d'ores et déjà importante dans le domaine des autobus et dans celui des véhicules urbains, et elle commence à être significative en ce qui concerne les véhicules légers (utilitaires et voitures particulières) avec, par exemple, la Citroën C3 GNV.

Plusieurs constructeurs sont en train de développer et de lancer des véhicules optimisés GNV, comme par exemple la VW Passat 1.4 TSI Ecofuel, qui émet 119 g CO₂/km en utilisation GNV, voire 107 g CO₂/km avec un mélange constitué de 90 % de gaz naturel et de 10 % de biométhane.

Le GNV étant le carburant qui permet d'exploiter de la manière la plus efficace les progrès technologiques réalisés en matière de motorisation thermique, nombre de constructeurs utiliseront cette voie comme un levier d'action complémentaire susceptible de leur permettre d'atteindre les objectifs particulièrement sévères de diminution des émissions de gaz à effet de serre, qui leur sont imposés par la réglementation.

Une diffusion plus large du GNV résultera aussi de l'importance des progrès réalisés en matière d'amélioration de l'intégration aux véhicules des réservoirs de stockage du gaz, afin d'en réduire les contraintes de volume, tout en augmentant l'autonomie des véhicules.

Il faut aussi prendre en compte le fait que l'insuffisance durable du réseau de distribution GNV entraîne, outre la nécessité d'une offre de véhicules bimodes, une difficulté potentielle en matière d'usage. Le développement du GNV passera donc, dans une première étape, par la conversion à ce mode de propulsion de flottes et d'utilisateurs particulièrement sensibles aux atouts environnementaux ; il ne s'agit donc pas ici, d'emblée, d'une alternative au « véhicule de masse » pour le moyen terme.

Enfin, pour élargir son marché et se construire une image forte, la filière du GNV doit mieux communiquer et répondre aux questions que se pose le public en matière de sécurité. Combien d'utilisateurs potentiels connaissent-ils, en effet, les avantages en matière de sécurité que représentent les caractéristiques du GNV, qui est plus léger que l'air, et dont la température d'inflammabilité est particulièrement élevée (540°C) ?

LES POTENTIALITÉS DU BIOMÉTHANE CARBURANT

Un atout fondamental pour la filière sera, à terme, l'emploi du biométhane. Il s'agit d'un biogaz, qui a été épuré pour devenir similaire au gaz naturel (de par son pouvoir calorifique et sa composition). Il peut être valorisé en tant que biocarburant gazeux ; l'on parle alors de biométhane carburant. Celui-ci s'utilise exactement comme le gaz naturel : il nécessite, pour alimenter un véhicule, d'être comprimé à la pression de 200 bars. Plusieurs voies de production du biométhane sont possibles :

- à court terme, il s'agit d'utiliser des déchets (ou des effluents) d'origine organique – cette filière est déjà bien développée dans de nombreux pays d'Europe ;
- à moyen terme, la production de biométhane pourra être éventuellement réalisée à partir de cultures énergétiques (sorgho-biomasse, par exemple) ;
- enfin, à plus long terme, la gazéification de la biomasse issue de ressources ligno-cellulosiques est également envisageable.

Le biométhane ayant une qualité similaire à celle du gaz naturel, l'incorporation de biométhane dans le GNV, quelle qu'en soit la proportion, peut être réalisée sans qu'il soit nécessaire de modifier les véhicules fonctionnant au gaz naturel, ni les infrastructures de distribution du carburant. Ces deux carburants sont tout à fait complémentaires, le biométhane apportant, de surcroît, une part de « renouvelabilité » au GNV.

Les investissements dédiés au GNV (technologie moteur, accroissement du nombre de stations-services en distributeur) participent donc ainsi au développement progressif du biométhane carburant.

Les résultats de l'étude *Etat des lieux et potentiel du biométhane carburant* (mars 2009), réalisée par GDF SUEZ, l'IFP et l'ADEME, sous l'égide du groupe de travail Energie Environnement de l'AFGNV, mettent en avant l'intérêt réel du biométhane en tant que carburant automobile. En France, le potentiel des ressources pour la production de biogaz brut issu des seules filières mobilisant des déchets, pour lesquelles les technologies sont disponibles aujourd'hui, s'élève au minimum à 7 Mtep/an, sans tenir compte des contraintes de rentabilité des installations ou de la dispersion de la ressource. L'estimation des capacités de production maximales à partir du parc existant et des projets d'installations aboutit, quant à elle, à un poten-

tiel de 1,9 Mtep de biométhane carburant par an à l'horizon 2015/2020. Ce potentiel, même s'il ne prend pas en compte les concurrences possibles entre usages du biogaz produit (chaleur, électricité, carburant), est significatif, puisqu'il est déjà supérieur à la quantité de biocarburants liquides incorporés dans les carburants routiers aujourd'hui en France (1,85 Mtep, en 2007). L'utilisation des déchets pour la production de biométhane carburant apparaît donc pertinente. Les filières de production du biogaz à partir de cultures énergétiques dédiées, et, à plus long terme, le recours à la gazéification, suivie d'une méthanisation, permettant de mobiliser les ressources ligno-cellulosiques, contribueront sans doute à augmenter cette capacité de production de biométhane carburant.

Le niveau de réduction des émissions des GES dépend naturellement des filières considérées, suivant le type de ressources converties et les modalités de leur conversion. Les gains sont de l'ordre de 80 % pour une utilisation du biométhane carburant issu de la méthanisation de déchets organiques municipaux en substitution à l'essence conventionnelle, et de 60 % dans le cas du biométhane produit à partir de cultures énergétiques. L'introduction de biométhane carburant pourrait donc permettre une réduction significative des émissions de GES.

UNE FILIÈRE PRÊTE POUR ACCÉLÉRER SON DÉVELOPPEMENT, ET ORGANISÉE À CETTE FIN

Le protocole signé en 2005 par les membres fondateurs de l'AFGNV (Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, Gaz de France, Carrefour, Total, PSA Peugeot Citroën, Renault et Renault Trucks) fixe un cadre aux actions visant à assurer le succès du GNV, et des objectifs à son développement :

- Amplifier les succès déjà acquis de la filière GNV. Les objectifs pour 2010 sont 3 000 autobus, 1 200 véhicules de propreté et l'extension de l'utilisation du GNV au transport de marchandises en milieu urbain ;
- Donner au gaz naturel le statut de carburant alternatif attractif pour tous les véhicules légers, en construisant un réseau de distribution et en proposant des véhicules équivalents à ceux utilisant les carburants traditionnels.

Le succès du protocole dépend de la pleine réalisation des actions en cours, conduites en une démarche commune par les constructeurs, les énergéticiens et les pouvoirs publics. A court terme, il faut mettre en place en France (tout en veillant à maintenir la compétitivité économique de la filière) le réseau de distribution par stations-service, qui doit, à côté d'une offre véhicules attrayante existant déjà en Europe, conduire, dans un proche avenir, à un usage élargi du GNV par les flottes (privées ou publiques) de véhicules lourds et par les utilisateurs individuels de véhicules légers.

Les travaux réalisés dans le cadre de l'AFGNV, à travers ses commissions et ses groupes de travail et, directement, par tous ses membres, témoignent d'une volonté commune de construire le développement futur de la filière sur des bases solides.

CONCLUSION

Les stratégies, dans les domaines de l'énergie et de la construction automobile, se déterminent sur le moyen et le long terme. Durablement, plusieurs réponses, différentes et complémentaires, coexisteront en matière d'offre de véhicules permettant de répondre aux défis et aux progrès nécessaires qu'imposent la lutte contre l'effet de serre, la raréfaction des ressources et le développement durable.

Les réserves importantes de gaz et la ressource complémentaire constituée par le biogaz, en plus de leurs atouts environnementaux, constituent une alternative énergétique dont la technologie est dès aujourd'hui opérationnelle, la sécurité maîtrisée et la réglementation, précisée en détail.

L'utilisation accrue du GNV fera donc indubitablement partie des solutions, dont le monde a besoin, à court et moyen terme, ainsi qu'à l'horizon prévisible des vingt à trente prochaines années. Cela impose, bien sûr, encore des développements – moteur optimisé, meilleure intégration des réservoirs et constitution de réseaux de stations suffisants pour la distribution du GNV. Les industriels doivent pouvoir s'appuyer sur les engagements et la pérennité des politiques publiques énergétiques et fiscales pour mener à bien ces développements.

Les atouts énergétiques et environnementaux de la filière de diversification GNV / biométhane carburant la positionnent déjà favorablement par rapport aux autres carburants. Les évolutions techniques programmées devraient permettre, à l'horizon 2015, de situer le GNV sans hybridation au niveau de l'hybride diesel et ce, pour un coût moindre. L'adjonction au GNV de systèmes d'hybridation pourrait apporter les meilleurs résultats en matière de diminution des gaz à effet de serre, juste derrière ceux des véhicules électriques, avec des technologies plus facilement accessibles en termes tant de coûts que de délais de mise au point.

De nombreux pays dans le monde disposent, d'ores et déjà, d'un véritable marché du GNV. La France, quant à elle, doit maintenant véritablement accélérer, en ce qui concerne cette filière, à l'instar de l'Allemagne. Les compétences et les moyens déployés en France illustrent, de façon générale, aux yeux des autres pays développés et des pays émergents, l'exemplarité de notre pays en matière de développement durable. Dans le cas du GNV, ils faciliteront aussi les ventes des industriels français sur de nombreux marchés (Argentine, Brésil, Iran, Chine, Inde...), où il est désormais incontournable d'être en mesure de proposer des véhicules GNV.

Le développement des biocarburants

En matière d'utilisation d'énergies renouvelables dans les transports, deux événements majeurs sont intervenus à un an d'intervalle : il s'agit, en premier lieu, de la promulgation (en décembre 2007) par le Président Bush de la loi relative à l'indépendance et à la sécurité énergétique et, en second lieu, de l'accord politique entre le Parlement et le Conseil européen sur le paquet énergie/climat, avec, en particulier, l'adoption de la directive relative à la promotion des sources d'énergies renouvelables...

par **Alain JEANROY***

Dans le premier cas, avec le *Renewable Fuel Standard II*, les Etats-Unis ont fixé des quantités de produits d'origine renouvelable à incorporer dans les carburants, d'ici à 2015, tandis que l'Union européenne s'est fixée une part minimale contraignante de 10 % d'énergies d'origine renouvelable à horizon 2020.

Cette orientation illustre parfaitement le fait que les puissances occidentales ont pris toute la mesure de la nécessité d'apporter une réponse immédiate et massive, tant au problème du réchauffement climatique (par la réduction des émissions de CO₂ issues du secteur des transports) qu'à la nécessité de diversifier leur approvisionnement énergétique.

Dès 2004, la France s'est engagée dans une politique de développement des biocarburants, afin de répondre à l'ensemble de ces problématiques. Cet engagement a permis, d'une part, de donner de la visibilité aux opérateurs et, d'autre part, d'investir massivement dans le développement de ces filières et de bâtir un outil industriel à la hauteur des enjeux.

RAPPEL DU DISPOSITIF FRANÇAIS EN MATIÈRE DE BIOCARBURANTS

La politique française en matière de biocarburants a été construite sur deux piliers :

- des objectifs d'incorporation de biocarburants dans les carburants livrés à la consommation, avec un aspect contraignant en matière d'atteinte des objectifs, au travers de la Taxe Globale sur les Activités Polluantes (TGAP) ;
- l'octroi par l'Etat d'agréments fiscaux aux producteurs de biocarburants, sur la base d'appels d'offre permettant de bénéficier, à concurrence d'un volume déterminé, d'une exonération fiscale partielle de la Taxe Intérieure de Consommation (TIC).

OBJECTIFS EN MATIÈRE D'INCORPORATION ET TGAP

Les objectifs nationaux ont été initialement calés sur ceux fixés par la directive 2003/30 à travers, d'une part, le Plan Climat 2004 et, d'autre part, la loi d'orientation sur l'énergie promulguée le 13 juillet 2005, à savoir un objectif de 5,75 % de biocarburants dans les carburants (mesurés en contenu énergétique) à l'horizon 2010.

En septembre 2005, le Premier ministre a annoncé sa volonté d'accélérer le développement des biocarburants en fixant les objectifs d'incorporation suivants (en teneur énergétique) :

- 5,75 % du total des carburants en 2008 ;

* Directeur général de la CGB et coordinateur agricole de la filière éthanol.

Encadré 1**Biocarburants et Grenelle de l'Environnement**

Le Comité opérationnel n° 10 [du Grenelle de l'Environnement], dont les travaux portaient sur les énergies renouvelables, a pris acte des premiers résultats de l'étude méthodologique ADEME/IFP/MEDAD/MAP/ONIGC et de la synthèse du comité de pilotage, qui « confirment que, sur cette nouvelle base méthodologique et en l'état actuel des connaissances, les gains énergétiques et [en matière] de GES des biocarburants produits en Europe resteront significatifs, et en tout état de cause supérieurs au seuil d'éligibilité environnemental proposé dans le projet de directive européenne EnR (35 %). Le plan biocarburant conserve donc une justification sur le plan de l'énergie et de la réduction des gaz à effet de serre ».

Sur cette base, le Comité opérationnel a insisté sur la nécessité de réaliser rapidement les bilans actualisés des biocarburants produits en France, en suivant les recommandations de cette étude. L'ADEME et l'IFP ont ainsi lancé, en septembre 2008, une mise à jour des bilans chiffrés, sur la base de ce nouvel outil méthodologique et de données actualisées tant au plan agricole qu'industriel. Les résultats en sont attendus en juillet 2009, au plus tard.

Globalement, le Comité opérationnel « confirme que l'objectif d'incorporation de 7 % (PCI) [de biocarburants] dans l'essence et dans le gazole est atteignable avec les biocarburants actuellement produits en France et en Europe, dans le respect de conditions de durabilité, en prenant en considération les capacités de production européennes et nationales, la réglementation nationale et les évolutions prévisibles de la réglementation européenne à court et moyen termes (modification prochaine de la directive 98/70 et autorisation de l'E 10, évolutions prévisibles à l'horizon 2015) ». Le rapport indique, toutefois, que « la date à laquelle cet objectif est atteignable et son opportunité ne font pas consensus, certains participants estimant que l'objectif de 7 % (PCI) doit être repoussé à 2015, d'autres souhaitant qu'il soit maintenu pour 2010. »

Enfin, ce Comité opérationnel a considéré « qu'un objectif de 10 % d'incorporation de biocarburants dans les carburants doit être évalué pour chaque filière, en fonction des critères de durabilité des biocarburants, de la disponibilité des biocarburants de deuxième génération et des évolutions réglementaires européennes. »

- 7 % du total des carburants en 2010 ;
- 10 % du total des carburants en 2015.

L'objectif d'une incorporation à hauteur de 7 % PCI (pouvoir calorifique inférieur) de biocarburants en 2010 a été confirmé à l'occasion du Grenelle de l'Environnement (voir encadré 1) et par le Président de la République, en octobre 2008, lors du Mondial de l'automobile, à Paris.

C'est la loi de finances 2005, qui a instauré une taxe incitant les distributeurs de carburants à incorporer des biocarburants : la Taxe Globale sur les Activités Polluantes (TGAP), dont ils doivent s'acquitter. Ils peuvent, cependant, en être partiellement ou totalement exemptés, en fonction du taux d'incorporation effective de biocarburants (mesuré en teneur énergétique) atteint par les carburants qu'ils distribuent.

La TGAP est calculée et exigible de façon distincte pour l'essence et le gazole, afin d'interdire toute compensation entre ces deux types de carburants.

Initialement calé sur les objectifs d'incorporation de la directive européenne, le barème de la TGAP a été adapté par la loi de finances 2006 aux nouveaux objec-

tifs nationaux d'incorporation rappelés ci-après (et reconduits à l'identique depuis lors). Le taux de cette taxe est progressif, selon le calendrier suivant (cf. tableau 1).

L'assiette de cette taxe est la quantité de carburant distribuée, valorisée au prix hors taxe augmenté de la TIC. Le mécanisme de la TGAP établit, de fait, des objectifs contraignants d'incorporation au plan national, et cela a permis une très forte accélération du développement des biocarburants depuis 2005, année de son entrée en vigueur.

En accompagnement de cette « feuille de route » pour les biocarburants, un important plan de développement a été mis en place par le Gouvernement.

AGRÉMENTS ET EXONÉRATION FISCALE

Le développement des biocarburants a été décidé par le Président de la République et mis en œuvre dès septembre 2004. Avant cette date, la production d'étha-

Année	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Taux	1,2 %	1,75 %	3,5 %	5,75 %	6,25 %	7 %

Tableau 1.

nol bénéficiant d'une exonération de la Taxe Intérieure sur la Consommation (TIC) était la suivante :

- éthanol incorporé dans l'éthyl-tertio-butyl-éther (ETBE) : 99 000 tonnes (1 250 000 hl) ;
- éthanol incorporé directement dans l'essence : 12 000 tonnes (150 000 hl) ;
- biodiesel : 386 500 tonnes (4 377 000 hl).

LA MISE EN ŒUVRE DU PLAN BIOCARBURANTS S'EST TRADUITE PAR L'OCTROI, SUCCESSIVEMENT, DE PRÈS D'UN MILLION DE TONNES D'AGRÉMENTS SUPPLÉMENTAIRES POUR LE BIOÉTHANOL ET DE PRÈS DE 3,2 MILLIONS DE TONNES D'AGRÉMENTS SUPPLÉMENTAIRES POUR LE BIODIESEL, SUR LA PÉRIODE 2005-2009

En février 2005, le Gouvernement a lancé un premier appel d'offre portant sur 316 000 tonnes de bioéthanol et 599 000 tonnes de biodiesel.

En septembre 2005, un deuxième appel d'offre a été lancé. Afin de répondre à l'objectif d'incorporation de 5,75 % dès 2008, le Gouvernement a accordé des agréments supplémentaires, à hauteur de 465 000 tonnes

pour le bioéthanol et de 1 485 000 tonnes pour le biodiesel.

Enfin, une troisième étape est intervenue en juillet 2006, avec le lancement d'un appel d'offre supplémentaire portant sur 200 000 tonnes de bioéthanol et 1 124 000 tonnes de biodiesel.

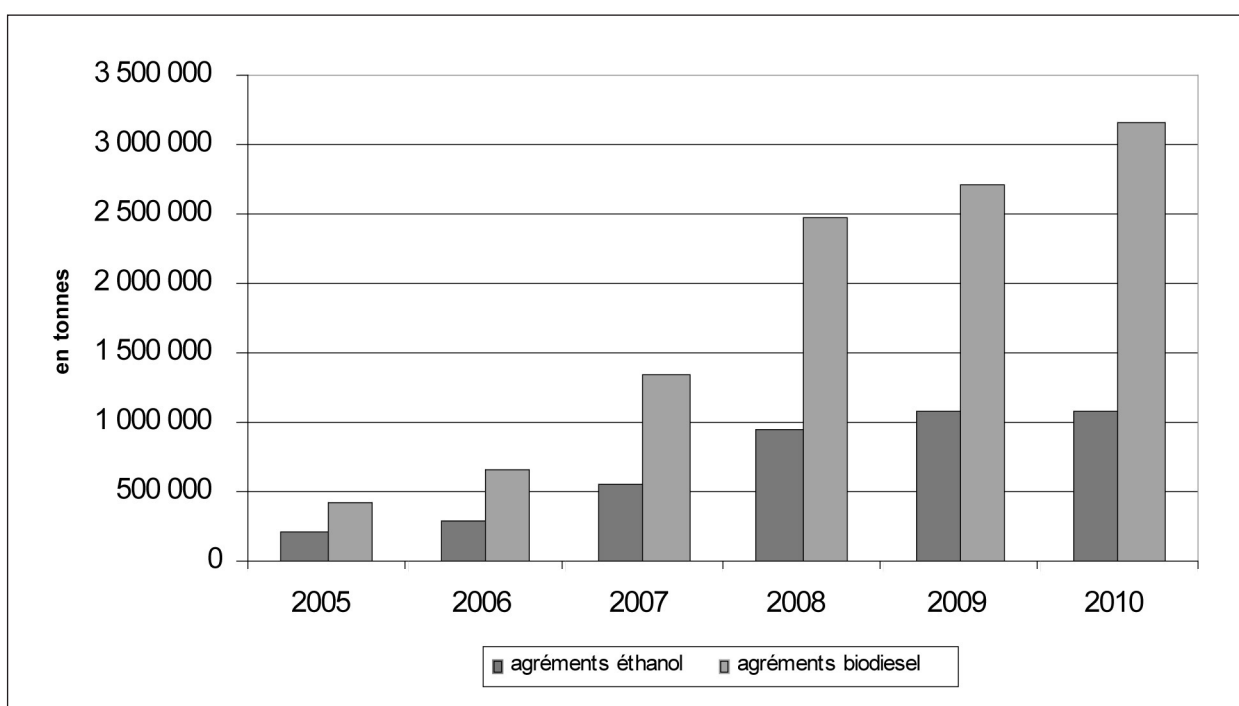
Ainsi, entre 2004 et 2010, le périmètre de la production pouvant bénéficier d'une exonération fiscale passera de 105 000 à près de 1,1 million de tonnes d'éthanol et de 386 500 à près de 3,2 millions de tonnes de biodiesel, représentant un quasi-décuplement des capacités de production de chaque filière.

Le graphique 1 illustre l'évolution du périmètre des agréments fiscaux actuellement en vigueur.

S'agissant de la filière éthanol, les nouveaux agréments ont bénéficié dans une très large mesure aux distilleries, permettant, d'une part, de saturer les unités existantes et, d'autre part, de lancer la construction de cinq usines de grande capacité, représentant un investissement d'un milliard d'euros.

En ce qui concerne la filière biodiesel, les nouveaux agréments ont bénéficié, pour l'essentiel, à une vingtaine de nouvelles unités de production basées principalement en France, pour un investissement total s'établissant également à un milliard d'euros.

Les agréments sont accordés pour une période de 6 années consécutives, et peuvent être renouvelés une fois. En revanche, le niveau d'exonération fiscale dont



Graphique 1.

	Ethanol	ETBE	Biodiesel
1992 et 1993	-	Exonération totale (environ 59 €/hl)	Exonération totale (environ 42 €/hl)
1994 à 2002	-	50,23 €/hl	35 €/hl
2003 à 2005	37 €/hl	38 €/hl	33 €/hl
2006 et 2007	33 €/hl	33 €/hl	25 €/hl
2008	27 €/hl	27 €/hl	22 €/hl
2009	21 €/hl	21 €/hl	15 €/hl

Tableau 2.

bénéficient les volumes de production agréés est établi annuellement par la loi de finances.

ÉVOLUTION DE LA DÉFISCALISATION

Le dispositif d'exonération partielle de la taxe intérieure sur la consommation (TIC) répond à plusieurs objectifs.

A l'heure actuelle, avec les fluctuations récentes du prix du pétrole, la nécessité d'un tel dispositif doit régulièrement être réévaluée. Par ailleurs, il est indispensable de prendre également en compte l'évolution du prix des matières premières agricoles. Les montants d'exonération ont évolué de la façon suivante, ces dernières années (cf. tableau 2).

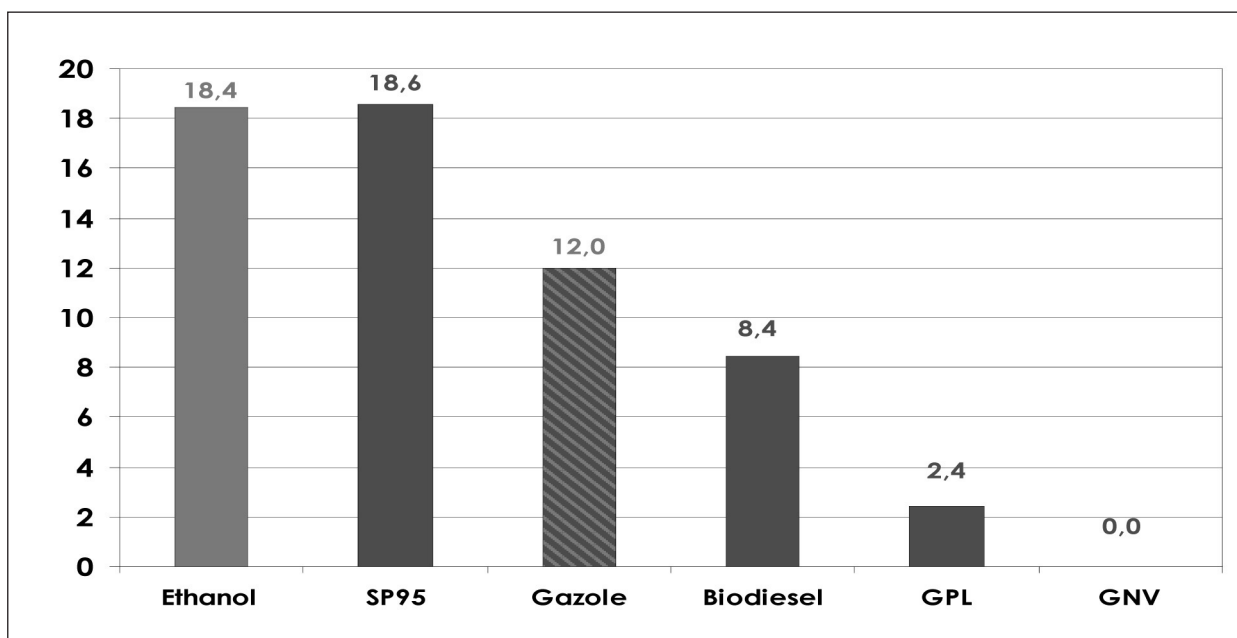
Les lois de finances 2008 et 2009 ont successivement entériné une baisse significative de la défiscalisation accordée tant à l'éthanol qu'au biodiesel (baisses respectives de 33 % et 40 %, entre 2007 et 2009).

La forte augmentation de la production de biocarburants s'est ainsi accompagnée d'une réduction

régulière et significative des mesures unitaires de soutien fiscal, dont ces énergies renouvelables bénéficient.

De ce point de vue, il est judicieux de comparer le niveau de taxation s'appliquant aux différents carburants en France en 2009. Pour ce faire, il convient d'exprimer le montant de la taxe à contenu énergétique identique. C'est ce qu'illustre le graphique 2. Il en ressort que l'éthanol, carburant d'origine renouvelable dont les émissions nettes de gaz à effet de serre sont inférieures de 60 % à celle du supercarburant SP95, est autant taxé que celui-ci, et bien plus que le gazole, le GPL ou le GNV, lorsqu'il est utilisé en mélange banalisé (E5 ou E10).

L'exonération fiscale partielle doit également être appréciée à la lumière des externalités et des effets induits positifs permis par le développement et l'usage à grande échelle de ces carburants renouvelables : réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre, augmentation de l'indépendance énergétique, création d'emplois et de richesses, amélioration de la qualité de l'air, etc. L'ensemble de ces bénéfices justifie pleinement une fiscalité préférentielle : en 2009, l'activité écono-



Graphique 2 : Comparaison des taxations (en €/mégajoule) appliquées aux carburants en 2009 .

mique de ces filières apportera près de 900 millions d'euros de contributions financières à l'Etat.

Pour l'ensemble de ces raisons, plusieurs orientations envisagées par la Commission européenne en matière de taxation des carburants, dans le cadre de la révision de la directive sur la taxation des énergies (2003/96/CE), vont dans le bon sens : la Commission entendrait en effet proposer, d'une part, de taxer les carburants proportionnellement à leur contenu énergétique et, d'autre part, d'introduire dans cette taxation une composante CO₂, dont les biocarburants seraient exonérés.

PRODUCTION ET CONSOMMATION DES BIOCARBURANTS : SITUATION ACTUELLE ET PERSPECTIVES

L'éthanol en 2008

En 2008, la production française d'éthanol s'est élevée à environ 10 millions d'hectolitres (plus de 800 000 tonnes) issus, pour les 2/3, de betteraves, et pour 1/3, de céréales. Cette production (de dix fois supérieure à la production moyenne française entre 1994 et 2004) place la France au premier rang des producteurs européens, avec près de 40 % de la production totale de l'Union, ce qui permet déjà à la France de fournir d'autres Etats membres.

Au cours de l'année 2008, plus de 8,6 millions d'hectolitres d'éthanol ont été consommés en France. Ce volume représente 5,55 % en PCI (pouvoir calorifique inférieur) du total des supercarburants (SP95, SP98 et E85) livrés à la consommation sur la même période.

Le biodiesel en 2008

La production française de biodiesel s'est élevée, en 2008, à 1,8 million de tonnes. Cette production place la France au second rang européen, derrière l'Allemagne, et au troisième rang mondial.

Durant la même année, 2,1 millions de tonnes (soit 23,8 millions d'hectolitres) ont été incorporés au gazole en France, ce qui a représenté 5,75 % (en PCI) des volumes de gazole livrés à la consommation.

PERSPECTIVES

L'atteinte de l'objectif d'incorporer 7 % PCI de biocarburants, en 2010, nécessitera de produire environ 10 millions d'hectolitres d'éthanol, et près de 30 millions

d'hectolitres de biodiesel. Ces volumes sont tout à fait compatibles avec les outils industriels développés ces dernières années. Grâce à sa politique volontariste, la France s'est dotée d'un outil industriel moderne et performant, lui permettant de jouer un rôle de tout premier plan sur la scène européenne des biocarburants.

Le développement des capacités de production s'est également accompagné d'une augmentation significative des surfaces dédiées à la production des matières premières nécessaires à la fabrication d'éthanol. Sur la base de la demande domestique en éthanol attendue ces prochaines années, les surfaces concernées devraient évoluer de la manière suivante :

- betteraves éthanol : de 12 000 ha en 2004 à 60 000 ha en 2010 (soit 16 % des surfaces betteravières actuelles) ;
- blé éthanol : de 14 000 ha en 2004 à 180 000 ha en 2010 (soit 4 % des surfaces cultivées en blé tendre actuelles) ;
- maïs éthanol : de 0 ha en 2004 à 50 000 ha en 2010 (soit 3 % des surfaces occupées actuellement par du maïs) ;
- graines oléagineuses biodiesel : 2 000 000 ha en 2010 (soit 80 % des surfaces oléagineuses prévues à cette date).

L'atteinte de l'objectif d'incorporer 7 % de biocarburants en 2010 passe également par le développement à grande échelle de nouveaux carburants comportant une part accrue de produits d'origine végétale :

- le B7, pour la filière gazole, autorisé par l'adoption, en décembre 2008, de la directive relative à la qualité des carburants ;
- l'E10, pour la filière essence, également autorisé par la directive susmentionnée, et dont la commercialisation est effective sur le territoire français depuis le 1^{er} avril 2009 ;
- l'E85, qui a démarré en janvier 2007 et dont le développement a été freiné, notamment par l'application injustifiée d'un malus aux véhicules *flex-fuel*, avec la mise en place de l'éco-pastille en 2008. Depuis le début de 2009, ces véhicules sont exonérés de malus par l'application d'un abattement de 40 % aux émissions de CO₂ en sortie de pot d'échappement mesurées à partir du SP95. Le bilan environnemental très favorable du superéthanol E85 ayant été confirmé par l'Institut Français du Pétrole (IFP), ce carburant doit continuer à être promu et développé (voir encadré 2).

CONCLUSION

Les orientations prises par la France ces dernières années en matière de biocarburants, constituent une véritable politique cohérente de développement durable. Elle a, en effet, permis d'en concilier les trois volets : le volet environnemental (avec une réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre de l'ordre de 60 % pour chaque litre de carburant fossile substitué),

Encadré 2***Superéthanol : de bons résultats, en termes d'émissions polluantes, d'après une étude ADEME/IFP(*)***

Depuis le mois de juin 2006, une flotte captive de véhicules flex-fuel a été mise en place par le Conseil général de la Marne. La Mairie de Paris a pris une initiative similaire en 2007.

Ces deux flottes ont servi de support à une étude, menée par l'IFP pour le compte de l'ADEME, relative à l'utilisation de ces véhicules (agrément conducteurs, mesures de la consommation, des émissions de CO₂ et des émissions polluantes réglementées et non réglementées, etc.).

Les résultats sont positifs, à tous points de vue : les émissions polluantes (CO, Nox, HC, Benzène, 1-3 Butadiène) sont notablement réduites lorsque les véhicules fonctionnent avec des mélanges E50 ou E80, par rapport à l'essence standard.

Enfin, la surconsommation atteint 25 % avec de l'E80 par rapport à l'essence, ce qui est inférieur à l'écart des pouvoirs calorifiques inférieurs entre ces carburants.

() Suivi d'une flotte de véhicules Ford Focus fonctionnant à l'éthanol – IFP pour l'ADEME – Octobre 2008*

le volet économique et le volet social (avec la création d'une industrie fortement génératrice d'emplois et de richesses, en particulier en milieu rural, et le renforcement de l'indépendance énergétique de notre pays).

Les choix stratégiques français s'avèrent donc payants ; ils permettront de préparer dans les meilleures conditions l'échéance de 2020, date à laquelle la part des énergies renouvelables dans les transports devra atteindre au minimum 10 %. Dans ce contexte, le marché européen des biocarburants représentera un potentiel très important, que les filières françaises seront à même d'exploiter, sur leur marché domestique, bien entendu, mais aussi en approvisionnant nos partenaires européens.

Par ailleurs, le développement de filières domestiques fortes est de nature à favoriser la recherche et l'innovation technologique dans le domaine des biocarburants de seconde génération, dans lequel le monde agro-industriel investit déjà massivement (c'est le cas du projet Futurol, axé notamment sur la mise au point de procédés de production d'éthanol de 2^e génération à partir de différentes sources de biomasse ligno-cellulosique). Enfin, ces filières et ceux qui les animent, nouveaux acteurs du secteur de l'énergie, sont des partenaires privilégiés pour des projets de recherche innovants sur les moteurs et les carburants de demain (*downsizing* des moteurs à essence, mélange d'éthanol et de biodiesel intégré au gazole, véhicule hybride *flexfuel* / électrique).

Les perspectives à moyen terme de la voiture grand public

LES ÉVOLUTIONS
TECHNOLOGIQUES

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.

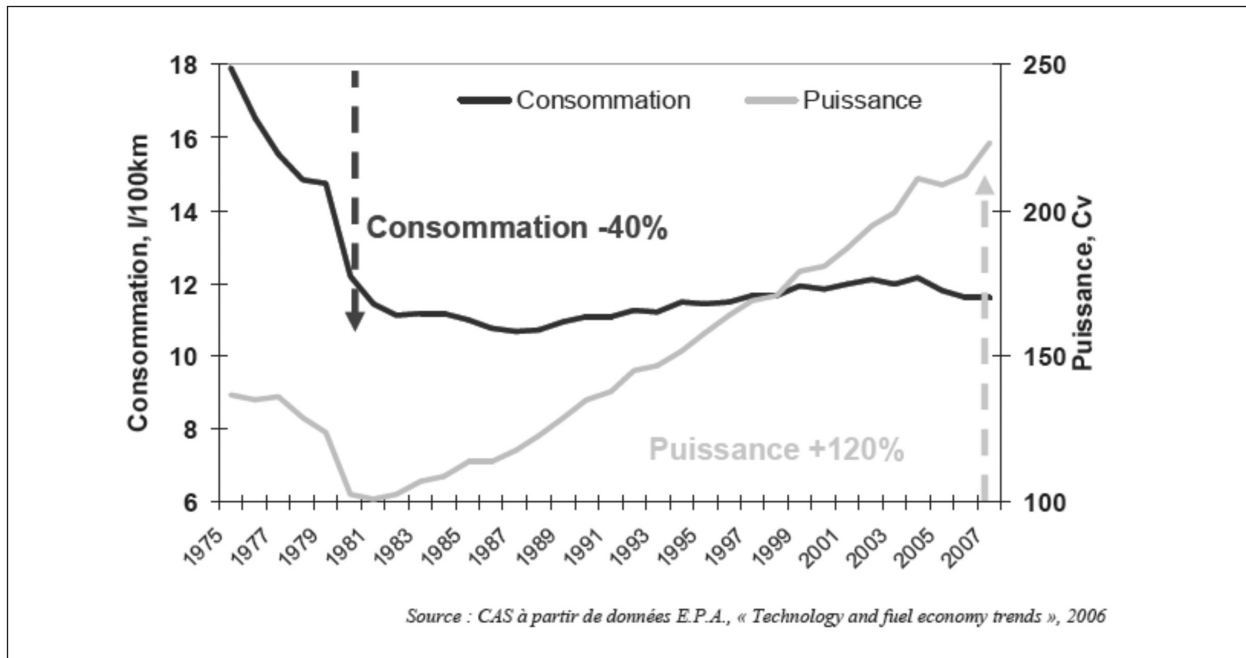


Figure 1 : Evolution de la consommation et de la puissance des automobiles aux Etats-Unis, de 1975 à 2007.

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 inexistant depuis 20 ans, car les consommateurs ont plutôt arbitré 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-continent. 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.

LES TECHNOLOGIES DE PROPULSION EN COMPÉTITION

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 pos-

sible 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.

La propulsion thermique n'a pas dit son dernier mot : Le point de vue d'un équipementier

LES ÉVOLUTIONS
TECHNOLOGIQUES

A l'heure où un certain « désamour » pour l'automobile fait souvent les gros titres des journaux, il peut paraître un rien désuet de continuer à évoquer les progrès que l'on est fondé à attendre, en matière de véhicules à propulsion thermique. Pourtant, ni les embouteillages, ni les radars, ni les taxes, ni les diverses campagnes anti-automobiles n'ont réussi à tuer l'émotion : le débat reste vif, autour de la voiture, qui est, à l'évidence, tout ce que l'on voudra, sauf un produit banal.

par **Guillaume DEVAUCHELLE***

Il s'agit, bien sûr, d'un débat politique, au niveau de la Communauté européenne (qui a la haute main sur la réglementation en matière d'émissions de CO₂), du Président de la République (qui a marqué les esprits en créant un nouveau vocable : « décarboné »), voire de conseils de quartiers (qui s'expriment volontiers sur le plan de circulation « zone 30 » instaurant une limitation de vitesse à 30 km/h ou sur l'installation d'un nouveau rond-point, juste en face de chez vous). Nul doute que les décisions prises à chaque niveau, tant en termes de réglementation que de fiscalité, auront un impact sur l'évolution des motorisations.

Mais ce débat mobilise aussi les experts : les géo-politologues, les démographes, les sociologues sont à l'affût des conséquences de l'urbanisation croissante, de la globalisation, de l'évolution des usages. Les géologues et les économistes s'interrogent, de leur côté, sur le *peak oil* et sur le cours du baril de pétrole. Les « marketeurs » sondent les chiffres et les cœurs, afin de définir les tendances à venir du marché automobile. Les chercheurs et les ingénieurs ne sont pas en reste : ils planchent sur les

technologies du futur, améliorant les produits actuels ou explorant des voies « nouvelles ». C'est là que la Fée Electricité effectue son grand retour, cent dix ans après le record battu par la « Jamais Contente ».

Enfin, Monsieur et Madame Tout-le-monde, forts de leur expérience personnelle, ont leurs idées bien arrêtées. Pourtant, la notion de progrès automobile diffère sensiblement, selon que l'on habite sur la Butte Montmartre ou que l'on circule, à quatre sur un vélomoteur, dans les rues de Bombay... Signalons, en outre, que des valeurs affirmées haut et fort s'effacent au moment de signer le bon de commande...

L'équipementier – qui n'a, somme toute, qu'une dizaine de clients à travers le monde – paraît bien chanceux de ne pas avoir à affronter une telle complexité. Les relations *business to business* (B2B), entre professionnels, sont, de prime abord, beaucoup plus sécurisantes.

Deux technologies se partagent aujourd'hui l'essentiel du marché : l'injection directe « diesel » et l'injection

* Directeur « Recherche et développement » du groupe VALEO.

multipoints « essence » (laquelle est, elle aussi, en train d'évoluer vers l'injection directe). Les autres motorisations sont quantitativement marginales, même si elles sont très présentes dans les médias...

Les progrès à attendre apparaissent simples à formuler : le moteur « diesel », particulièrement sobre en carburant, est cher (son coût est environ deux fois plus élevé qu'un moteur à essence, soit, pour donner un ordre d'idée, autour de 3 000 €), et il est difficile à dépolluer (émissions de particules et d'oxydes d'azote (NOx)). Le moteur « essence », quant à lui, doit essentiellement améliorer sa consommation.

Ce marché s'avère particulièrement stable, ses spécificités régionales, au niveau mondial, perdurant pendant des décennies :

- La cylindrée moyenne des moteurs vendus actuellement varie du simple (1,8 l), en Europe, au double (3,7 l), en Amérique du Nord ! (Que l'on sache, les lois de la mécanique sont pourtant les mêmes pour tout le monde !)
- l'importance du « diesel », en Europe (où il équipe un véhicule sur deux), nous fait souvent oublier que les motorisations « essence » occupent les trois quarts du marché mondial ;
- le même constat vaut, par ailleurs, pour les modes de transmission.

Nous avons là toutes les caractéristiques d'un marché de masse (800 millions de véhicules en état de marche) et mature.

Mais cette stabilité n'est qu'apparente : citons la feuille de route de l'EUCAR (*European Council for Automotive RSD*), qui fait la synthèse de ce que prévoient les experts européens ès automobile : le marché sera réparti entre huit technologies majeures en 2030, au lieu de deux aujourd'hui, comme indiqué précédemment. Mon interprétation est que nous sommes, en fait, arrivés à un point d'inflexion, qu'il n'y a pas de consensus et que nul ne peut départager de manière définitive les voies technologiques en compétition : nous voici revenus à la glorieuse incertitude du temps des pionniers ! Il suffit de franchir les portes du bureau d'études d'un constructeur automobile pour comprendre, que ce qui est vrai ici, ne l'est pas ailleurs, voire que plusieurs voies peuvent coexister au sein d'une même maison.

L'équipementier est donc conduit à faire ses propres choix. Les démonstrations implacables – et même incontestables, à moyen terme – « du puits à la roue », sur « l'empreinte carbone » ou sur « l'urbanisation des mégapoles », ne sont pas d'une grande aide, quand il s'agit de prendre une décision opérationnelle d'investissement. La durée de développement des technologies s'accommode assez mal des fluctuations conjoncturelles. L'évolution d'un seul facteur (comme le cours du pétrole, ou la date d'entrée en vigueur d'une nouvelle réglementation) peut déjà modifier radicalement le marché potentiel d'un équipement visant à réduire la consommation de carburant. Et les paramètres à prendre en compte sont multiples, instables et souvent interdépendants (critères d'usage et d'économie par exemple).

FACE À UNE TELLE COMPLEXITÉ : QUELLE ATTITUDE ADOPTER ?

Rassurez-vous, nous ne développerons pas ici de méthodes sophistiquées de résolution de problème ; nous voulons simplement partager avec vous six réflexions faisant appel au simple bon sens...

Les arbres ne grimpent pas au ciel !

Depuis l'après-guerre, les progrès réalisés en matière de motorisation ont permis, simultanément, d'améliorer les performances dynamiques des véhicules (accélération, vitesse de pointe), de compenser l'augmentation de leur poids (liée à l'accroissement de la sécurité et du confort), et cela, tout en diminuant drastiquement les émissions polluantes, et en contenant la consommation de carburant, ce qui peut se résumer par trois chiffres :

- + 120 % de puissance ;
- + 40 % d'accélération ;
- – 40 % de consommation en 30 ans.

A contrario, a été constaté un doublement du prix moyen d'un véhicule sur les vingt dernières années, alors que, dans le même temps, le revenu moyen des ménages n'augmentait que de 50 %.

Cette logique du « toujours plus » a atteint ses limites : pourquoi une telle puissance des moteurs, dans un contexte urbain saturé, ou sur des autoroutes où la vitesse est limitée ? L'utilité de certaines fonctions nouvelles est controversée, et les équipements de sécurité eux-mêmes semblent avoir atteint une asymptote. La polyvalence actuelle des véhicules, qui sont utilisés pour l'essentiel en ville, mais qui sont dimensionnés pour être capables de conduire toute la famille en vacances, ne fait plus recette. Les priorités changent, la recherche de la performance cède le pas à la nécessité, toujours plus pressante, de réduire les émissions de CO₂, et donc la consommation de carburant, afin de lutter contre le réchauffement climatique. Mais quelle valeur retenir : 30, 60 ou 100g CO₂/km ? Et à quel horizon ? Le marché accepterait-il durablement une régression des performances des véhicules ? Aucun précédent historique n'en atteste...

A cet égard, de même que le vélo électrique chinois me paraît être beaucoup plus un « super-vélo » qu'une « sous-moto » écologique, la voiture « Nano » du constructeur indien Tata doit être évaluée à l'aune du progrès réel qu'elle apporte, par rapport aux motos indiennes.

Une rupture technologique mènerait à un paradigme nouveau, qui ne constituerait pas nécessairement une régression. J'y vois une des raisons essentielles de l'engouement actuel pour le véhicule électrique. Mais les millions d'heures d'études et les années de retour d'expérience nécessaires ont placé la barre très haut, pour les solutions alternatives.

Un athlète sous-employé : le moteur thermique

Les progrès réalisés dans la propulsion thermique ont abouti à des moteurs surpuissants par rapport à leur utilisation réelle.

Pour offrir, pendant quelques courts instants, une accélération (couple) et une vitesse maximale (puissance) élevées, le moteur fonctionne très en-deçà de ses plages optimales, la très grande majorité du temps. Pour rouler en ville, ou pour rouler à 130 km/h sur autoroute, quelques dizaines de KW suffisent : il est inutile d'être plus précis et d'entrer dans les polémiques relatives aux cycles dits « représentatifs », compte tenu de la diversité réelle des usages.

Nombreuses sont les possibilités technologiques, qui permettent de tendre vers un meilleur compromis :

- réduire la cylindrée du moteur (*downsizing*) et l'équiper d'un turbo ou d'un compresseur, afin de conserver la performance ;
- déconnecter certains cylindres ;
- recycler les gaz d'échappement ;
- modifier dynamiquement les paramètres d'injection, (etc.)

Tout cela procède du même esprit.

Toutefois, l'énergie produite par le véhicule en décélération est perdue, pour l'essentiel. Parmi les différentes voies possibles (pneumatique, mécanique, électrique...) de récupération de cette énergie cinétique, la voie électrique est techniquement la plus avancée.

Les motorisations hybrides présentent le double intérêt d'offrir cette fonction de récupération d'énergie, tout en ramenant le moteur thermique à des conditions de fonctionnement plus favorables : selon les conditions d'utilisation du véhicule, l'apport d'un couple de traction supplémentaire (ou, au contraire, l'opposition d'un couple électrique, pour recharger les batteries) permet de maintenir le moteur thermique à l'intérieur de sa plage de rendement optimum.

10 €/kg, tout compris

Quelles que soient les voies considérées, il faut ajouter des équipements supplémentaires, et/ou sophistication davantage encore les équipements existants : bonne nouvelle, pour les équipementiers !

Il convient néanmoins de garder en mémoire un chiffre, quand bien même il serait simplifié à l'extrême : un véhicule de grande diffusion, pesant environ une tonne, se vend approximativement 10 000 €, soit 10 € le kilo ! Inutile de chercher un tel ratio chez son tailleur ou au rayon multimédia... Pour les équipementiers, cela se traduit par un prix de vente moyen de l'ordre de 5 à 6 €/kg. Pourtant, le tissu des sièges résiste à plus de dix ans d'usage intensif ; l'électronique embarquée n'a rien à envier, en termes de performances ou de fiabilité, aux autres secteurs de l'industrie. Il en va de même pour les aciers, le vitrage, les enjoliveurs et ... la motorisation.

L'argument du « coût de possession », qui consiste à comparer l'investissement initial avec des économies de consommation à venir, reste assez théorique, pour le grand public. Ainsi, à performances comparables, un moteur « diesel » se vend plusieurs milliers d'euros plus cher que son homologue « essence », même s'il est très difficile d'amortir la différence de prix sur la consommation de carburant. L'image de marque se bâtit dans la durée. Le prix de vente global du véhicule évoluera peu, quel qu'en soit le contenu technique. Pour chaque équipement nouveau, il faudra trouver les économies correspondantes. La conception à coût objectif est un *must*, en matière d'équipement automobile. La tendance est donc à l'intégration, grâce à des pièces multifonctions et à la mécatronique (la fusion de la mécanique et de l'électronique, dans un même organe). Une fonction nouvelle ajoutée à un véhicule, si elle induit à l'origine l'adjonction de pièces supplémentaires, doit tôt ou tard s'intégrer dans un ensemble plus vaste. Laissant derrière lui l'ère du système, l'équipementier doit composer, aujourd'hui, avec les systèmes de systèmes. Les fonctions liées à la motorisation se coupleront inéluctablement aux fonctions « châssis ».

Pas de compromis sur la qualité

« Plus complexe » ne doit pas signifier « moins fiable ». Une panne de moteur, ou même un simple dysfonctionnement, se vit comme une expérience traumatisante. La recherche de la performance ne peut pas se faire au détriment de la qualité (au plein sens du terme : fiabilité, disponibilité, etc.). Le critère de la nouveauté n'est en aucun cas une excuse, bien au contraire, et cela vaut pour toute la filière (sans oublier l'après-vente). Le cas du GPL montre que quelques accidents peuvent tuer la diffusion d'une technologie ou, au minimum, la ralentir sérieusement. On tolère une couverture de réseau incomplète, pour un téléphone portable, mais pas un moteur qui tousse...

Pour l'équipementier, la qualité se mesure en quelques « ppm » (parties par million) et les « retours garantie » en millions d'euros. Un moteur vingt-quatre soupapes n'est pas moins fiable qu'un moteur douze soupapes, ce qui veut dire que la fiabilité intrinsèque du composant est extrême. Ce résultat est acquis, bien sûr, grâce à des procédures de conception, de modélisation et de validation très rigoureuses, mais aussi, il faut bien le reconnaître, grâce au retour d'expérience.

Une nouvelle technologie introduit toujours un risque, intrinsèquement, de par son interaction avec l'environnement, et aussi, bien évidemment, en raison de l'absence d'historique. Le caractère intrusif d'une innovation est d'ailleurs rarement correctement évalué, car une telle évaluation se limite aux aspects techniques, en négligeant, le plus souvent, les impacts organisationnels et les changements de *process* indispensables.

LA « FÉE ÉLECTRICITÉ » : UN INFATIGABLE MOTEUR DE L'ÉVOLUTION

Les médias présentent souvent le véhicule électrique comme une solution entièrement nouvelle, par opposition au véhicule thermique. La vraie rupture est moins dans la technologie, que dans un usage combinant simplicité de conduite, absence de bruit et de pollutions locales, mais aussi apparition de nouvelles contraintes d'autonomie, de temps de recharge ou de nouvelles infrastructures.

En effet, l'électrification concerne déjà la quasi-totalité des organes des véhicules. A y regarder de plus près, le groupe motopropulseur (plus exactement, la fonction « traction ») est parmi les derniers éléments à s'électrifier, dans l'univers automobile. L'électrification des fonctions est une tendance lourde et continue, qui gagne progressivement. Le véhicule entièrement électrique s'inscrit comme un point extrême de ce *continuum* technologique.

Prenons l'exemple de la direction : d'abord manuelle, elle est actionnée mécaniquement par la seule force des bras du conducteur. Puis elle devient assistée hydrauliquement : quel confort ! Mais c'est au prix d'une pompe, qui fonctionne en permanence et consomme inutilement de l'énergie. Viennent alors les directions électro-hydrauliques (dont la pompe ne fonctionne qu'en cas de besoin), puis, très vite, les directions à motorisation purement électrique. Tôt au tard, les directions seront « *by wire* » (c'est-à-dire à commande purement électrique, sans aucun lien mécanique), comme le sont, aujourd'hui, les commandes de vol des avions. Les fonctions offertes alors peuvent être beaucoup plus évoluées, grâce au couplage entre systèmes évoqué précédemment : dans le cas considéré de la direction, il peut s'agir du contrôle de trajectoire, en situation d'urgence ou lors de certaines manœuvres. Il ne s'agit pas d'une substitution pure et simple d'une source d'énergie par une autre, mais bien d'une évolution fonctionnelle forte. Ainsi, dans le domaine de la motorisation, il est impossible, aujourd'hui, de répondre aux normes anti-pollution en vigueur, en l'absence d'un contrôle électronique sophistiqué.

Cette évolution ne concerne pas seulement les accessoires du moteur (comme le ventilateur), elle concerne aussi les fonctions essentielles : la commande d'accélérateur électrique, *by wire*, a déjà remplacé le bon vieux câble en acier, sur votre voiture. Elle se veut discrète, car les mentalités progressent moins vite que la technologie. La commande électronique des moteurs, révolution des années 1990, bien que maintenant universellement répandue, n'a toujours pas bonne presse. Le grand public a oublié les progrès induits, considérables sur bien des plans (performance, disponibilité, maintenance, etc.), alors que les problèmes de qualité des débuts ont laissé des traces encore bien présentes.

Le véhicule électrique jouit, quant à lui, d'une réputation de simplicité et de solidité : peu importe que sa

simplicité apparente soit sous-tendue par une électronique complexe. Reste un beau challenge pour les batteries : l'énergie massique, stockée sous forme liquide, est au minimum 50 fois plus dense qu'avec les meilleures batteries, et, de plus, elle se recharge cinquante fois plus vite.

LES MOTORISATIONS HYBRIDES (OU LA THÉORIE DE L'ÉVOLUTION)

Par définition, les hybrides se présentent comme des mélanges des caractéristiques des véhicules thermiques et électriques.

Les architectures possibles ne manquent pas :

- « micro-hybride » : le moteur thermique se coupe, lors de l'immobilisation du véhicule ;
- « hybridation douce » : pas de traction purement électrique ; le moteur électrique offre un appoint de couple, et il récupère l'énergie de décélération du véhicule, pour recharger les batteries ;
- « hybride » : le roulage peut être, dans certaines conditions, purement électrique, mais toute l'énergie provient du moteur thermique ;
- « hybride rechargeable » : l'énergie vient préférentiellement du réseau électrique, l'énergie fossile étant utilisée pour étendre l'autonomie du véhicule, en cas de besoin...

Pour chaque architecture, plusieurs solutions techniques sont en compétition :

- plusieurs implantations de la machine électrique sont envisageables (sur le pont arrière, entre le moteur et la boîte de vitesses, sur la face avant, dans les roues...) ;
- différentes structures électrotechniques des machines et commandes associées sont possibles ;
- les tensions électriques envisagées peuvent aller de 12 Volts jusqu'à 1 200 Volts...

Les différentes options offrent un choix presque infini, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients. Je ne résiste pas au plaisir de citer ce que dit l'encyclopédie *online* Wikipédia à propos de l'hybridation, dans le domaine des sciences du vivant :

« [...] l'hybridation entraîne une combinaison de multiples mutations, qui, si elles sont bénéfiques et stables, peuvent, en une cinquantaine de générations, faire naître une nouvelle espèce. »

Gageons que l'Automobile fera le tri en moins de cinquante générations, et que très peu des architectures d'hybrides actuellement proposées auront une descendance pérenne. Choisir l'une ou l'autre de ces architectures est donc affaire de conviction. Au lieu de les opposer, il est sans doute plus utile d'en rechercher les dénominateurs communs.

Derrière leurs différences, les véhicules thermiques, hybrides ou électriques s'appuient, en effet, sur les mêmes technologies de base (ou « briques technologiques »). Un équipementier automobile, qui est avant tout un fournisseur de technologies (*techno-provider*),



© Didier Maillac/REA

Voiture équipée d'un système micro-hybride : le moteur thermique se coupe, lors de l'immobilisation du véhicule.

se doit impérativement de les maîtriser, et d'être assez agile pour les appliquer aux différentes architectures possibles.

Au-delà des technologies, un cœur de métier exigeant

On remarquera, tout d'abord, qu'en ce qui concerne les motorisations thermiques, les différences entre « diesel » et « essence » (avec une régulation s'effectuant, respectivement, sur le carburant et sur l'injection d'air) ont tendance à s'amoindrir, les technologies permettant de piloter simultanément les deux paramètres tout en s'affranchissant progressivement des contraintes de base. Ainsi, le recyclage des gaz d'échappement permet, par exemple, de diminuer la quantité d'oxygène admis, pour un même volume de gaz aspiré.

Toutes les solutions évoquées précédemment font appel à :

- l'électronique de puissance (de quelques kW à quelques dizaines de kW) ;
- l'intégration mécatronique (éléments électroniques indissociables de la mécanique) ;
- des actionneurs divers (vannes, pompes, petits moteurs) pour les asservissements ;
- la nécessité de fonctionner dans un volume réduit et dans un environnement très chaud, ce qui crée des contraintes très sévères ;

- la maîtrise du système, de sa sûreté de fonctionnement, de sa modélisation
- des logiciels (beaucoup !) ;
- l'électrotechnique de pointe (injustement méprisée, il y a peu encore).

Tout cela n'est pas propre à l'automobile, me direz-vous. Comparons, sur un même schéma (voir la figure 1), les exigences des domaines automobile, aéronautique, ferroviaire et de l'électronique portable grand public. Retenons six critères :

- le prix à la pièce (de quelques centimes à quelques milliers d'euros) ;
- le volume de production (de quelques pièces à quelques millions) ;
- la puissance électrique (de moins d'un Watt à quelques kW) ;
- le volume disponible (du m³ au mm³) ;
- la température de fonctionnement (de la température ambiante jusqu'à 185°C) ;
- la sûreté de fonctionnement (selon les normes allant de SIL1 à SIL4).

Si l'Automobile n'est pas le secteur le plus exigeant pour chaque paramètre, un coup d'œil sur le diagramme de la figure 1 permet de se rendre compte que l'étendue des contraintes est, quant à elle, unique.

Le développement de solutions répondant à ce niveau de performances, de manière parfaitement répétable et à coût objectif, représente un réel défi scientifique et technique, car il exige de maîtriser simultanément des disciplines aujourd'hui largement distinctes (simula-

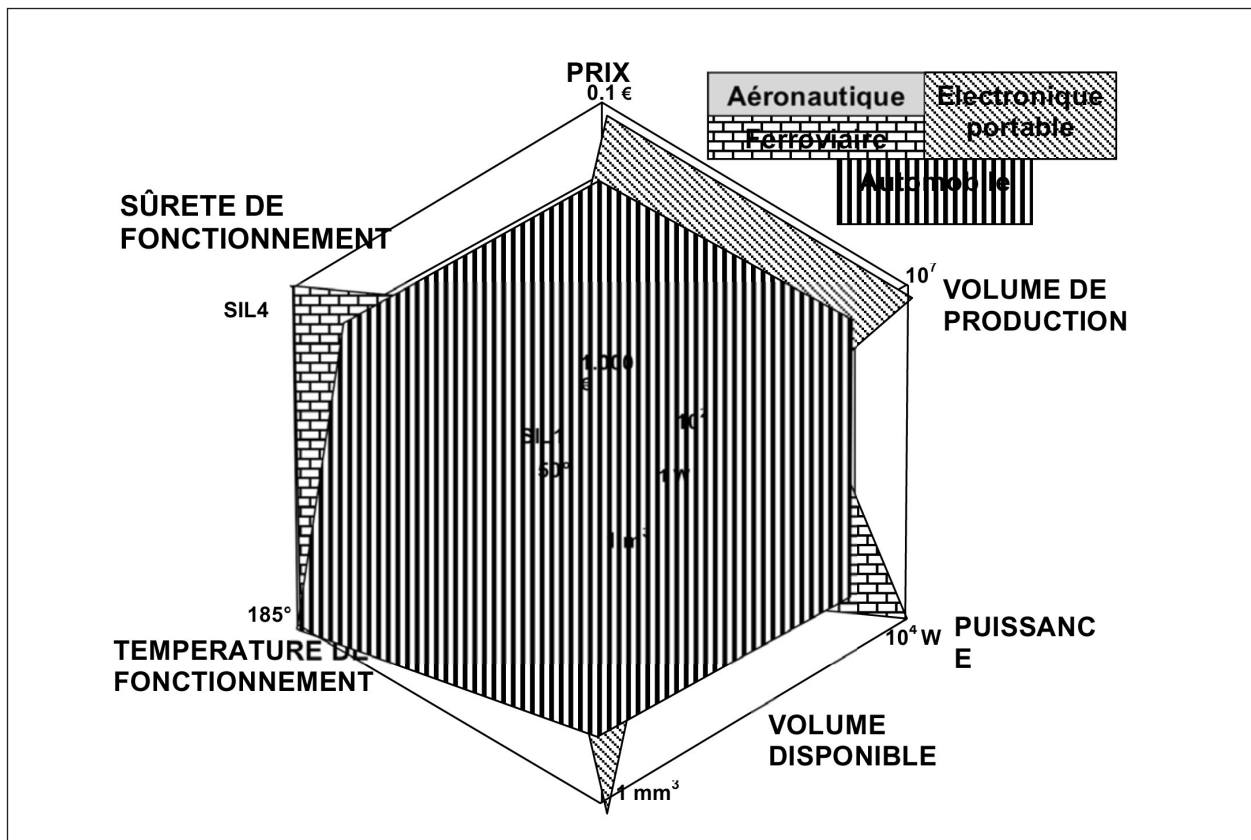


Figure 1 : Analyse multifactorielle (coût, volume de production, puissance, température de fonctionnement, volume disponible et fiabilité,) de quatre grands secteurs industriels : aéronautique, chemin de fer, automobile et électronique portable grand public.

tions « multi-physiques », intégration de l'électronique et de la mécanique, ingénierie système...).

CONCLUSION

Notre bel athlète, le moteur thermique, épaulé par la Fée Electricité, a devant lui une marge de progrès considérable, que l'on peut estimer être d'un facteur 2.

Les équipementiers sont en première ligne de la compétition.

Dans cette course de fond, l'objectif d'un facteur 4 (consistant à émettre 4 fois moins de CO₂ par km parcouru) ne pourra être atteint qu'en associant technologie et usage.

La voiture décarbonée de demain fera travailler, ensemble, mécaniciens, électriciens et spécialistes en sciences humaines : le débat ne fait que commencer...

La sécurité ne risque-t-elle pas d'être la grande oubliée du débat ?

LES ÉVOLUTIONS
TECHNOLOGIQUES

Dans le débat sur le véhicule du futur, les émissions de CO₂ occupent aujourd'hui, et de loin, la première place. Sans vouloir nier l'importance du réchauffement climatique, ni l'impact de la pollution urbaine sur la santé, l'on reste toujours surpris de l'indifférence collective avec laquelle nous acceptons les dizaines de morts « ordinaires » sur nos routes, week-end après week-end (sans parler des débats passionnés au sujet des limitations de vitesse...)

par **Guy MAUGIS***

La priorité qui a été mise sur la sécurité au cours des quinze dernières années, a permis de diviser par deux le nombre de tués et de blessés sur les routes, et cela en dépit du doublement du trafic (1) constaté sur la même période. Les progrès fantastiques réalisés dans l'électronique automobile, tant en matière d'augmentation des capacités et des vitesses de calcul que de réduction des coûts, ont rendu possible des améliorations considérables à très court terme, pour des coûts limités. Il est fort probable que les années à venir verront se diffuser massivement ces techniques, tout comme nous avons pu voir ces dernières années se généraliser l'ABS ou les airbags (pour ne citer que deux des systèmes de sécurité les plus connus).

LES PROGRÈS RÉALISÉS AU COURS DES TRENTE DERNIÈRES ANNÉES

Le renforcement des contrôles techniques des véhicules a eu un effet positif indéniable sur la réduction du nombre des accidents. Toutefois, celle-ci est attribuable aussi, pour une large part, à l'amélioration – considérable – de la qualité des véhicules.

Les progrès effectués, d'une part, en matière de calcul des structures et de modélisation et, d'autre part, dans

les matériaux, ont permis de sécuriser considérablement la « cellule » (l'habitacle) des automobiles. Celle-ci, désormais extrêmement rigide, est entourée de zones déformables, qui jouent un rôle d'amortisseurs en cas de choc. Les perfectionnements dans la conception des sièges, du tableau de bord et de la colonne de direction, ont permis de faire en sorte que le conducteur et ses passagers soient maintenus dans un volume aussi protecteur et protégé que possible. Le développement des capteurs d'accélération et des calculateurs a également permis de réduire considérablement le coût des airbags, qui sont devenus peu à peu un équipement standard (dont on a multiplié le nombre dans les véhicules de haut de gamme, où il n'est plus rare d'en trouver désormais jusqu'à une dizaine).

Mais cette tendance, observée lors des trente dernières années, a eu une conséquence fâcheuse : l'augmentation du poids des véhicules et, par là même, celle de leur consommation de carburant, et donc, de leurs émissions de CO₂. Nous avons donc opté, collectivement – à juste titre, je le pense – pour une priorité de court terme : celle de ressortir indemne d'un véhicule acci-

* Président de Robert BOSCH (France).

(1) http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=98&ref_id=CMP-TEF06217

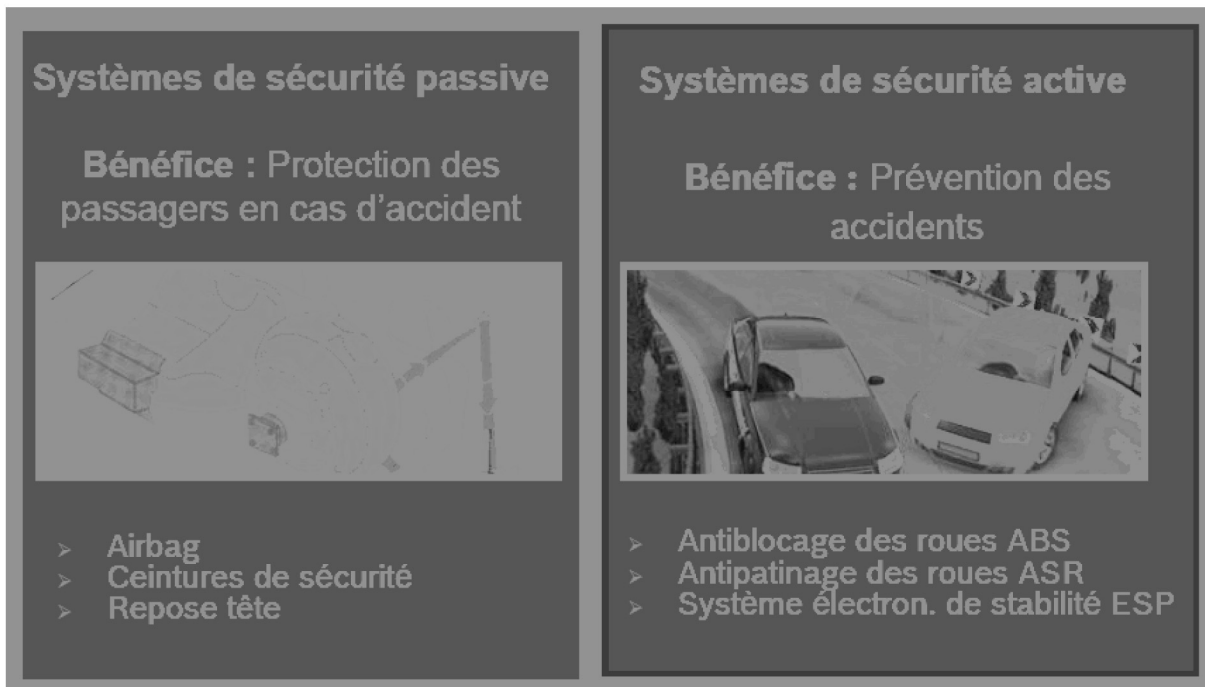


Illustration 1 : Systèmes de sécurité passive – Systèmes de sécurité active.

denté, le long terme – la préservation de la planète et celle des ressources naturelles – passant au second plan. Cependant, même si les préoccupations environnementales occupent aujourd'hui le devant de la scène, il est hors de question d'accepter le moindre compromis ou d'effectuer un quelconque retour en arrière en matière de sécurité. Depuis 1997, les résultats aux crash-tests de l'Euro NCAP (*European New Car Assessment Program*) (2) se sont affirmés comme un critère incontournable, lors du choix des véhicules par leurs acquéreurs. Les constructeurs ont rivalisé d'inventivité pour en obtenir les 5 étoiles, devenues désormais quasi indispensables pour pouvoir vendre un véhicule en Europe.

Il semble, par contre, que l'on commence à atteindre les limites de ce type de protection, dite « passive », qui consiste à assurer une protection maximale aux passagers, lors d'un accident. Les recherches visent désormais à obtenir le même niveau de performance, tout en allégeant les véhicules.

Les progrès décisifs, au cours des années futures, sont attendus des systèmes de sécurité, dits actifs, c'est-à-dire ceux destinés à prévenir les accidents, en empêchant (autant que faire se peut) qu'ils ne surviennent. Il faut d'ailleurs noter que, depuis cette année, le test Euro NCAP a été enrichi d'une quatrième rubrique : *Safety Assist* (en plus des trois rubriques existantes : *Adult Occupant Protection*, *Child Occupant Protection* et *Pedestrian Protection* – voir : l'illustration 1 : Systèmes de sécurité passive – Systèmes de sécurité active).

L'ABS ET L'ESP® (*ELECTRONIC STABILITY PROGRAM*), PREMIERS SYSTÈMES DE SÉCURITÉ ACTIVE

L'ABS est apparu pour la première fois, en 1978, sur une Mercedes Classe S. Inventé et développé par Bosch, ce système faisait appel, pour la première fois, à l'électronique pour assurer la sécurité d'une automobile. Le principe en est simple : des capteurs, placés dans chaque roue du véhicule, en mesurent la vitesse de rotation, en permanence. Si, lors d'un freinage d'urgence, une des roues vient à se bloquer, le système relâche la pression de freinage pendant une fraction de seconde, de manière à libérer la roue bloquée, et lui permettre ainsi de recouvrer son adhérence. Le système permet ainsi de conserver la manœuvrabilité du véhicule lors d'un freinage d'urgence, d'éviter des obstacles éventuels et d'effectuer le freinage sur la plus courte distance possible compte tenu de l'adhérence de la chaussée. Il a cependant fallu relever des défis techniques considérables, avant de parvenir à garantir la fiabilité totale du système : quatorze années de recherche et de mises au point ont ainsi été nécessaires ! L'ABS s'est, peu à peu, imposé comme un élément indispensable pour garantir la sécurité des passagers. En 2003, soit vingt-cinq ans après son lancement, le cent millionième ABS était livré aux constructeurs ! En 2005, l'application d'un accord volontaire, signé entre constructeurs automobiles, en a fait un standard : l'ABS équipe désormais tous les véhicules construits en Europe. Il a fait l'objet d'améliorations avec l'arrivée du système ASR (anti patinage des roues) en 1986, puis du système électronique de stabilité ESP® (*Electronic Stability Program*) en 1995 (deux autres innovations majeures, réalisées

(2) <http://www.euroncap.com/home.aspx>

par le groupe Bosch). Concomitamment, le système ABS s'est allégé, passant de plus de six kilos à moins d'un kilo et demi.

Avec l'ESP®, le véhicule est désormais doté d'un capteur d'angle au volant et d'un capteur de « lacet ». En permanence, le calculateur compare la direction prise réellement par le véhicule et l'intention de son conducteur. Si la trajectoire dévie de celle qui est souhaitée, le système va freiner une des quatre roues, pour remettre le véhicule sur la trajectoire voulue. Les dérapages sont ainsi évités (bien entendu, dans les limites de l'adhérence intrinsèque du véhicule). Ce système se montre particulièrement efficace dans les manœuvres d'évitement d'obstacles (telles celles qu'évalue le test dit « de l'Elan ») ou lors de l'arrivée un peu trop rapide dans un virage resserré ou verglacé.

L'ESP®, appelé également ESC (*Electronic Stability Control*), représente un pas décisif dans l'amélioration de la sécurité routière. Ses résultats exceptionnels en termes de réduction des accidents routiers, ont été attestés par de nombreuses études. Ils ont amené les pouvoirs publics (aux Etats-Unis d'abord, en Europe ensuite) à le rendre obligatoire à partir de 2012. La NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*), l'organisme américain responsable de la sécurité routière, a chiffré les bénéfices liés à la généralisation de l'ESP® aux Etats-Unis à 10 000 vies sauvées et à 250 000 accidents évités chaque année, et déclaré qu'il s'agissait du dispositif de sécurité qui apportait le plus de bénéfices depuis la ceinture de sécurité (voir : l'illustration 2 : Etudes d'efficacité et de bénéfices nets comparés des systèmes de sécurité, par grande marque d'automobiles).

Les fonctions les plus évoluées des ESP® de dernière génération sont capables, en fonction des mouvements du véhicule, de pré-déployer les airbags de tête ou les airbags latéraux, dès lors qu'elles ont diagnostiqué que le véhicule va subir un choc latéral ou menace de se retourner (près de 20 % des accidents mortels ont lieu lors d'un « tonneau »). Ces pré-diagnostics de l'ESP permettent un renforcement notable de la protection des passagers.

LES POTENTIALITÉS DE LA SÉCURITÉ ACTIVE

Les systèmes actuels de sécurité active (ABS, ASR, ESP®), tout comme les airbags, fonctionnent au moyen de capteurs, qui détectent tout fonctionnement anormal du véhicule (roue bloquée, trajectoire non conforme, décélération importante). Si ces systèmes améliorent considérablement la sécurité, ils n'anticipent pas l'accident. Ils permettent, grâce à leur action sur le véhicule, infiniment plus rapide et pertinente que celle d'un conducteur, d'éviter l'accident. La nouvelle génération desdits systèmes aura la faculté, grâce à des capteurs appropriés, d'agir avant même qu'une situation anormale n'apparaisse.

Il s'agit, selon la gamme des fréquences dans lesquelles ils fonctionnent, de radars, de lidars, de caméras ou de détecteurs à ultrasons. L'extraordinaire baisse des coûts de ces capteurs et des calculateurs associés, permettra d'en multiplier le nombre (Il suffit, pour s'en convaincre, de constater la diffusion quasi généralisée

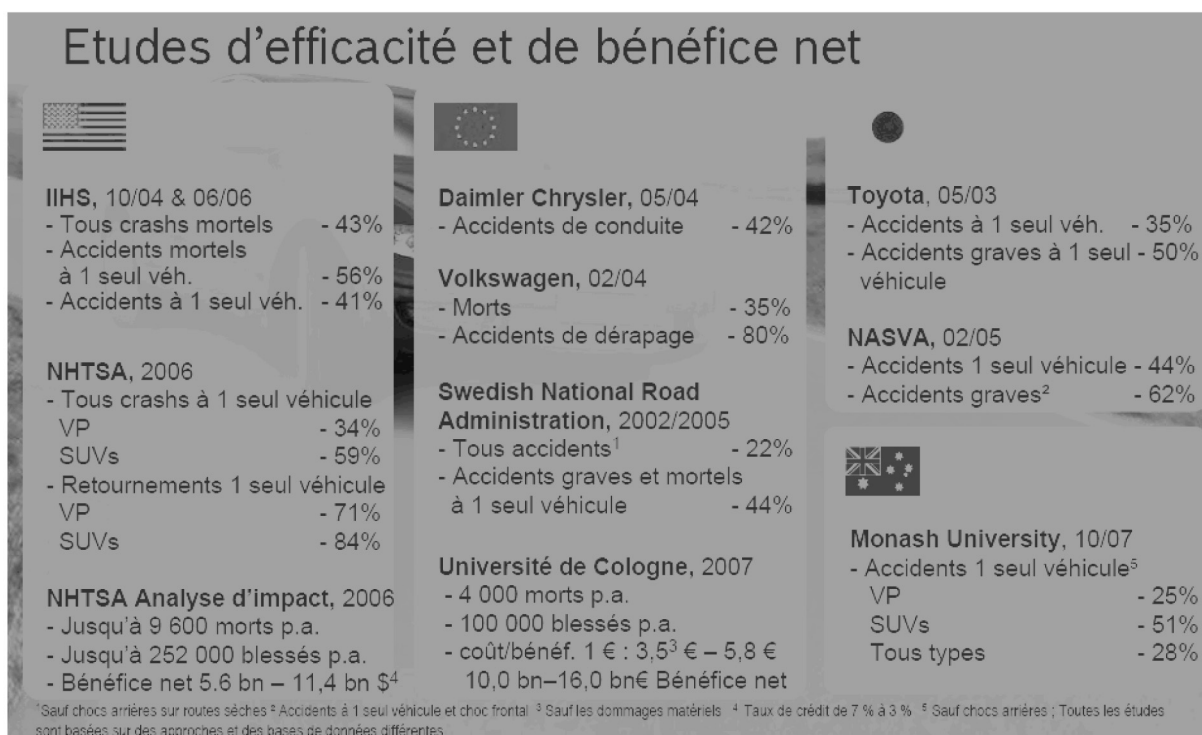


Illustration 2 : Etudes d'efficacité et de bénéfices nets comparés des systèmes de sécurité, par grande marque d'automobiles.

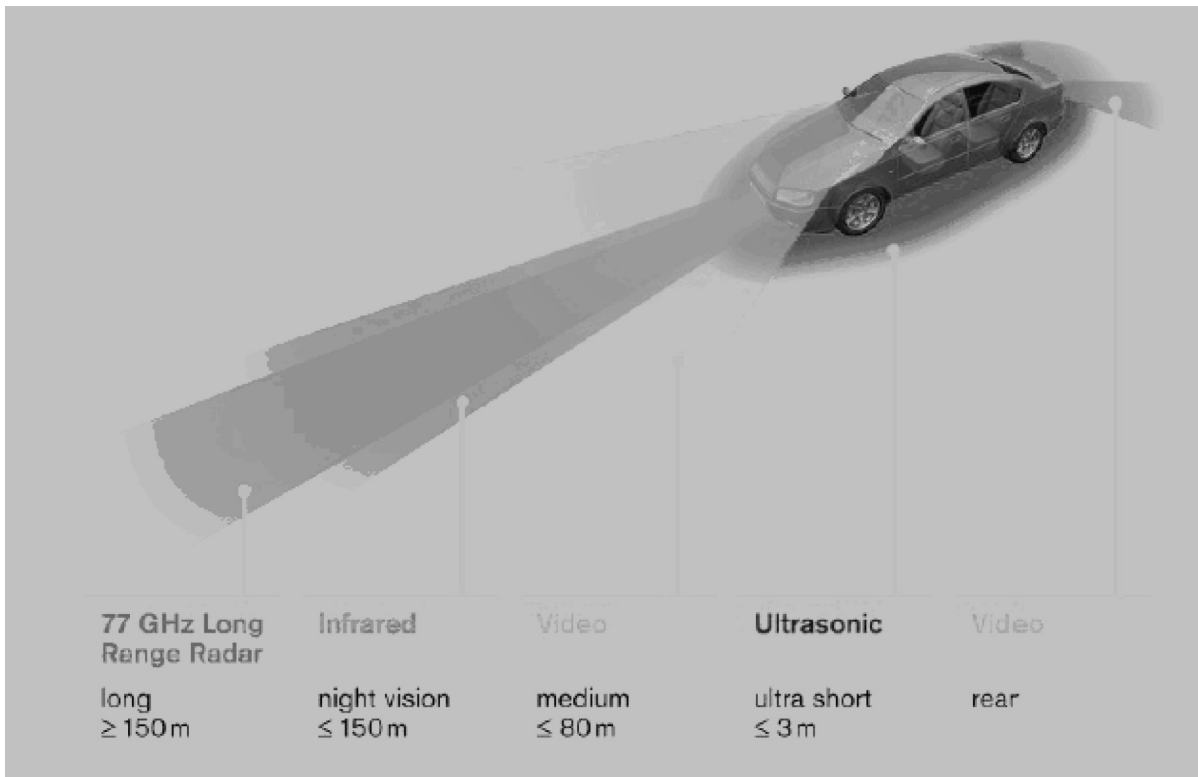


Illustration 3 : Les différents médiums de détection des systèmes de sécurité automobile embarqués.

des caméras dans les téléphones portables, ou encore celle des capteurs *parkpilot* à ultrasons, utilisés pour prévenir un choc à l'arrière du véhicule lors des manœuvres de stationnement (voir l'illustration 3 : Les différents médiums de détection des systèmes de sécurité automobile embarqués).

La plupart des actionneurs nécessaires pour agir sur le comportement du véhicule étant déjà présents (ESP®, direction, sièges et vitres électriques, tendeurs de ceinture de sécurité, airbags), la combinaison des informations provenant des différents capteurs avec les actions rendues possibles par ces dispositifs (freiner, diriger le véhicule, redresser les sièges, fermer les vitres, tendre les ceintures, pré-déployer les airbags) ouvre, dès lors, des perspectives considérables : il devient possible d'agir sur le véhicule dès l'instant où une situation de risque potentiel a été détectée, et cela, pour un coût très limité.

QUELQUES EXEMPLES

Un des risques majeurs de la conduite d'une automobile est la perte de vigilance chez le conducteur : inattention, voire assoupissement... Plusieurs systèmes de sécurité peuvent réduire ce type de risques :

- le suivi de trajectoire : les systèmes correspondants préviennent le conducteur par un signal approprié, dès lors que sa trajectoire devient sujette à caution. Dans le système d'alerte de franchissement de ligne blanche (AFIL, chez PSA Peugeot Citroën), un capteur, placé sous le véhicule, détecte le franchissement de ligne et

envoie un signal (le siège se met à vibrer), si le conducteur n'a pas actionné son clignotant ;

- dans d'autres systèmes, une caméra « lit » la trajectoire du véhicule. Le système peut alors détecter un franchissement de ligne, auquel cas il avertit le conducteur. Mais il peut, aussi, dans le cas où sa conduite devient exagérément sinueuse, diagnostiquer un début de somnolence, et alerter, en conséquence, le conducteur.

Cette solution semble promise à un bel avenir. La caméra utilisée pour le suivi de trajectoire peut également assurer d'autres fonctions, et réduire ainsi le coût du système. Sur ce volet de la lutte contre la somnolence du conducteur, d'autres systèmes (basés sur la lecture des mouvements des yeux ou du positionnement de la tête du conducteur), sont également en cours de développement.

Associées à des logiciels puissants et rapides, les caméras peuvent d'ores et déjà fournir des aides précieuses aux conducteurs, grâce à la combinaison de diverses fonctions, comme :

- la lecture de panneaux routiers, avec transfert direct de la vitesse ainsi mesurée sur le calculateur-moteur, évitant ainsi automatiquement tout dépassement de vitesse ;
- la reconnaissance de forme, permettant de détecter un piéton qui va traverser, ou un obstacle ;
- l'amélioration de la vision nocturne du conducteur, grâce à une caméra infrarouge.

Enfin, des capteurs placés sur les côtés de son véhicule peuvent alerter le conducteur tentant de « déboîter » de sa file, alors qu'un autre véhicule se trouve dans l'angle mort de son champ de vision.

Les progrès accomplis en matière de reconnaissance de forme permettent de reconnaître un piéton au bord de la chaussée, de diagnostiquer sa trajectoire et, si le calcul prédictif indique qu'un accident est probable, d'appeler l'attention dudit piéton (par exemple, par un coup d'avertisseur sonore). Cette fonction est appelée à être très utile pour les véhicules électriques, qui sont très silencieux (et que les piétons risquent donc de ne pas entendre arriver). Dans un deuxième temps, ce système peut aussi déployer un airbag de capot, dans les cas où le choc ne peut plus être évité (voir l'illustration 4 : Déclenchement d'un airbag frontal, en cas de renversement inévitable d'un piéton).

Dans le système ACC (*Automatic Cruise Control*), un radar mesure en permanence la distance séparant le véhicule équipé de celui qui le précède. Ainsi, le véhicule maintient sa vitesse de consigne (130 km/h, par exemple) sur route dégagée, mais ralentit, dès qu'un véhicule vient s'interposer, puis ré-accélère si le véhicule se rabat. Le radar peut aussi être utilisé pour prévenir un éventuel choc avec l'arrière d'un véhicule.

A cette fin, la séquence suivante peut être programmée :

- le radar constate que la distance de sécurité est insuffisante et que le véhicule de devant freine : il prépare le système de freinage (pré-remplissage du maître-cylindre, essuyage des disques (par temps de pluie) ;
- la distance se réduit, et le risque d'accident augmente, si le véhicule ne ralentit pas : le système alerte alors le conducteur, par exemple, par un petit coup de frein ;
- si l'accident est inévitable, le système prépare le véhicule à la collision en redressant les sièges, en tendant les ceintures de sécurité, en fermant les vitres (et le toit ouvrant, le cas échéant) et en préparant le déploiement

des airbags. Au besoin, il peut freiner le véhicule automatiquement ;

- pendant le choc, la protection des passagers est optimale, car le système a mis le véhicule en situation de protection maximale, gagnant ainsi quelques précieuses millisecondes dans le déploiement des airbags les plus appropriés, en commandant leur ouverture juste avant le choc.

Dans des situations extrêmes, le système pourrait « prendre la main » sur le conducteur du véhicule, par exemple, en effectuant un freinage d'urgence.

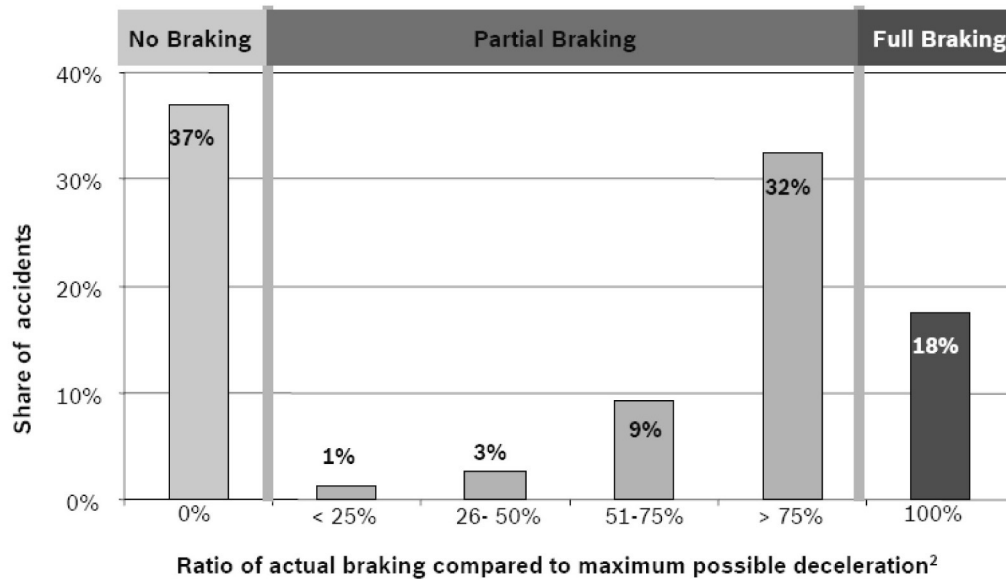
Cette action, parfaitement possible dès aujourd'hui, est largement utilisée sur des démonstrateurs, et elle a largement apporté les preuves de son efficacité et de sa fiabilité. Il a en effet été constaté que dans plus de la moitié des accidents, le conducteur n'avait pas du tout freiné, ou qu'il avait freiné insuffisamment : perte de vigilance ou tétanisation face au danger ? (Voir l'illustration 5 : Comportements constatés des conducteurs ayant provoqué des collisions arrière (aucun freinage, freinage partiel, freinage « à mort »)).

Un système électronique, même imparfait, aura toujours une performance très largement supérieure à 50 % ! Cependant, son action, qui est une indéniable aide à la conduite et qui contribue à réduire les accidents, risque d'être perçue comme une garantie absolue contre tout risque d'accident. Le risque juridique existe, dès lors, de voir le conducteur se retourner contre le constructeur, et lui réclamer des dommages et intérêts élevés, en cas d'accident « non évité ». Ce risque de transfert de responsabilité limite, jusqu'à présent, le déploiement de ces techniques, pourtant de nature à permettre d'éviter des milliers de morts sur les routes.



Illustration 4 : Déclenchement d'un airbag frontal, en cas de renversement inévitable d'un piéton.

Driver Behavior Prior to Rear End Crashes¹



¹ Evaluation based on 1184 rear end crashes with injuries in GIDAS. For 727 cases the deceleration, the weather and road conditions are known

² Maximum possible deceleration was determined based on weather and road condition

Illustration 5 : Comportements constatés des conducteurs ayant provoqué des collisions arrière (aucun freinage, freinage partiel, freinage « à mort »).

Mais outre ce risque juridique, l'électronique fait encore peur : le sentiment d'abandonner la maîtrise de son véhicule, ne serait-ce qu'une fraction de seconde, à une machine, reste source de fantasmes (il suffit, pour s'en convaincre, de se rappeler l'ampleur de la polémique déclenchée par certains dysfonctionnements imputés à des régulateurs de vitesse).

La direction à assistance électrique, de plus en plus fréquemment installée sur les modèles récents, ajoute encore d'autres possibilités, comme :

- effectuer automatiquement un créneau, après mesure par les capteurs de la place libre disponible : le conducteur n'a plus qu'à gérer la vitesse du véhicule, le système « tournant le volant » pour lui en choisissant le rayon de braquage idéal, après l'avoir calculé ;
- effectuer un évitement, après avoir diagnostiqué qu'une des voies est dégagée. L'assistant suggère au conducteur, au moyen d'un couple s'exerçant sur le volant, d'aller à droite ou à gauche d'un véhicule en train de freiner devant lui. Il a, au préalable, vérifié (à l'aide du radar et de capteurs latéraux) que la voie était libre. En cas d'urgence, ce mouvement peut aussi être effectué de manière entièrement automatique.

LE VÉHICULE COMMUNICANT

Tous ces systèmes reposent sur le concept d'un véhicule autonome, qui embarque ses propres systèmes de

diagnostic ou de vision. Là encore, la connexion du véhicule à différents types de médias extérieurs (radio, GPS, Internet), ouvre de nouvelles perspectives en matière de sécurité. Dénommées *car to road*, *car to car*, (voire *car to x*), ces connexions consistent à utiliser des sources d'information autres que celles embarquées à bord du véhicule.

Le système de navigation par GPS connaît la route sur laquelle le conducteur s'engage. Ce système peut non seulement retransmettre au véhicule, en fonction de sa position géographique, des indications sur les limitations de vitesse (pour cela, bien entendu, il faut qu'une base de données ait été renseignée), mais aussi agir sur le régulateur de vitesse du véhicule, voire même diagnostiquer une vitesse trop élevée à l'approche d'un virage et en avertir le conducteur (et pourquoi pas ralentir d'office le véhicule). De la même façon, des bornes installées au bord de la route peuvent envoyer un signal (par exemple, à l'approche d'une école ou d'un carrefour dangereux), ayant pour effet de limiter (ou de réduire) la vitesse des véhicules. Ces bornes peuvent aussi envoyer des signaux d'alerte à l'approche d'un bouchon sur une autoroute.

Les systèmes *car to car* relèvent de la même logique, mais, cette fois, le véhicule communique directement avec les véhicules voisins : il leur envoie une information, en cas de freinage sur autoroute, voire en cas de détection d'un véhicule arrivant sur le côté, mais caché par un obstacle.

Si un accident a malheureusement eu lieu, un système d'alerte peut appeler (sur simple pression d'un bouton situé sur le tableau de bord ou automatiquement, par *e-call*) les secours les plus proches, permettant ainsi de gagner de précieuses minutes dans l'intervention de ceux-ci. La Commission européenne cherche à généraliser ce système dès 2010 : l'on estime qu'il permettrait de sauver environ 2 500 vies, par an, en Europe (3) (4). Mais le développement, que l'on souhaiterait rapide, de ces systèmes se heurte actuellement à la nécessité de définir une norme internationale, permettant ces types de communication.

LA VOITURE DU FUTUR SERA-T-ELLE BARDÉE D'ÉLECTRONIQUE ?

L'industrie automobile est, aujourd'hui, très certainement à un tournant de son histoire. Outre son impact sur l'environnement, les représentations collectives qu'elle véhicule ont considérablement évoluées. Les attentes à son égard en Chine ou en Inde, ne sont pas du tout les mêmes qu'en Allemagne ou en France. Un cadre dirigeant urbain, un agriculteur ou un retraité n'attendent pas les mêmes services, ni ne disposent de budgets équivalents. Cependant, comme on le constate avec la plupart des biens de consommation, la coexistence de véhicules *low cost* et de véhicules haut de gamme est inéluctable, et l'écart de prix entre eux ira sans doute croissant.

La question de savoir si notre société occidentale acceptera, ou non, une « sécurité à deux vitesses » reste posée. Aujourd'hui, un véhicule récent, de haut de gamme, est beaucoup plus sûr – et moins polluant – qu'un véhicule d'occasion de plus de dix ans. Il s'agit là d'une forme de discrimination, très largement tolérée. En revanche, je ne crois pas que notre société serait prête à accepter des écarts majeurs, en terme de sécurité, entre des véhicules neufs. Cela s'exprime déjà très clairement avec les tests Euro Ncap : de nombreux petits véhicules d'entrée de gamme sont capables d'obtenir les cinq étoiles tant convoitées.

Par ailleurs, le législateur est très sensible à l'argument égalitaire. La nouvelle réglementation européenne va certes rendre l'ESC obligatoire en 2012, mais il est déjà présent (à plus de 95 %) sur les plus gros véhicules (des segments D, E, F). La législation n'aura donc d'effet réel que sur les véhicules des segments A et B, qui ne sont équipés, pour l'instant, qu'à hauteur de 15 % (Illustration 6). Le fait que ces véhicules soient majoritairement conduits par des jeunes (dont les comportements de conduite sont souvent plus à risques) a certainement joué un rôle dans la décision adoptée par la Commission (voir l'illustration 6 : Taux d'équipement, optionnel et standard, en ESP® des principaux mar-

(3) COM(2006) 723 du 23.11.2006
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0723:FIN:FR:PDF>

(4) SEISS final report : http://ec.europa.eu/information_society/activities/esafety/doc/call_4/final_seiss.pdf

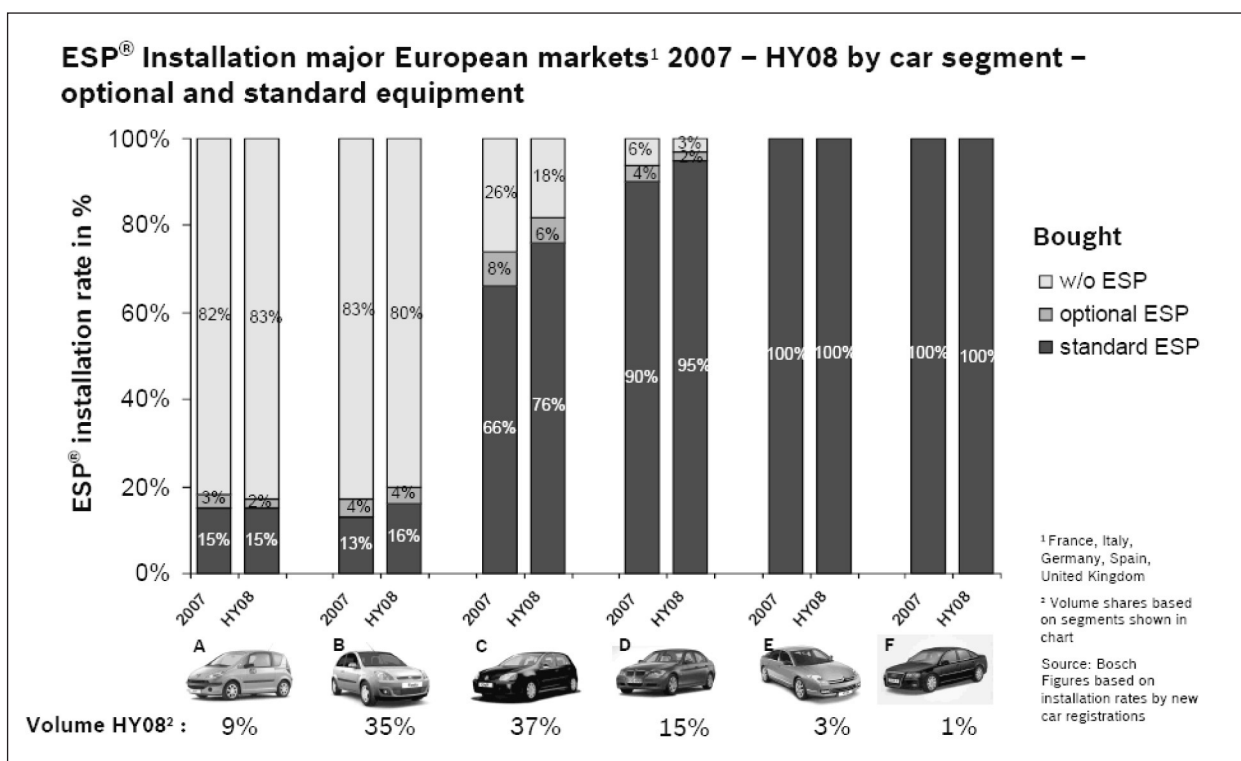


Illustration 6 : Taux d'équipement (optionnel et standard) en ESP® des principaux marchés automobiles européens en 2007 (et hypothèses pour 2008), par classe de véhicules.

chés automobiles européens en 2007 (et hypothèses pour 2008), par classe de véhicules).

Le défi, que nous devons relever aujourd'hui, est celui de la « massification » des innovations, par leur entrée dans la réalité industrielle *via* le milieu de gamme. Comme nous l'avons rappelé plus haut, l'ABS a fait son apparition sur la Mercedes Classe S, avant de se généraliser, après un délai de trente ans. Le délai aura été de quinze ans, pour l'ESP®. Cependant, dix ans après son introduction, plus de 30 % des Français en ignoraient encore l'existence et bien peu étaient capables d'en expliquer les avantages (sondage réalisé par l'institut IPSOS pour Bosch, en 2003).

Aujourd'hui, les coûts de développement représentent la majeure partie du coût total des systèmes de

sécurité. En d'autres termes, ceux-ci nécessitent un investissement initial important, mais ils ont un coût marginal faible. Il est donc plus que jamais indispensable d'en assurer une diffusion rapide, pour en amortir rapidement les dépenses initiales par des quantités livrées importantes. Il faut donc s'attendre à voir, désormais, de grandes innovations en matière de sécurité entrer sur le marché automobile *via* le milieu/haut de gamme, accompagnées de campagnes de promotion importantes pour en faire connaître les avantages, et en assurer la diffusion.

Il y a donc fort à parier que les systèmes, que nous avons décrits plus haut, feront très bientôt partie intégrante du « véhicule du futur ».

Publié par
**ANNALES
 DES
 MINES**
 Fondées en 1794

Fondées en 1794, les Annales des Mines comptent parmi les plus anciennes publications économiques. Consacrées hier à l'industrie lourde, elles s'intéressent aujourd'hui à l'ensemble de l'activité industrielle en France et dans le monde, sous ses aspects économiques, scientifiques, techniques et socio-culturels.

Des articles rédigés par les meilleurs spécialistes français et étrangers, d'une lecture aisée, nourris d'expériences concrètes : les numéros des Annales des Mines sont des documents qui font référence en matière d'industrie.

Les *Annales des Mines* éditent trois séries complémentaires :

**Réalités Industrielles,
 Gérer & Comprendre,
 Responsabilité & Environnement.**

RÉALITÉS INDUSTRIELLES

Quatre fois par an, cette série des *Annales des Mines* fait le point sur un sujet technique, un secteur économique ou un problème d'actualité. Chaque numéro, en une vingtaine d'articles, propose une sélection d'informations concrètes, des analyses approfondies, des connaissances à jour pour mieux apprécier les réalités du monde industriel.

GÉRER & COMPRENDRE

Quatre fois par an, cette série des *Annales des Mines* pose un regard lucide, parfois critique, sur la gestion « au concret » des entreprises et des affaires publiques. *Gérer & Comprendre* va au-delà des idées reçues et présente au lecteur, non pas des recettes, mais des faits, des expériences et des idées pour comprendre et mieux gérer.

RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

Quatre fois par an, cette série des *Annales des Mines* propose de contribuer aux débats sur les choix techniques qui engagent nos sociétés en matière d'environnement et de risques industriels. Son ambition : ouvrir ses colonnes à toutes les opinions qui s'inscrivent dans une démarche de confrontation rigoureuse des idées. Son public : industries, associations, universitaires ou élus, et tous ceux qui s'intéressent aux grands enjeux de notre société.

**ABONNEZ-VOUS
 AUX
 ANNALES DES MINES**

RÉALITÉS INDUSTRIELLES

et

GÉRER & COMPRENDRE

et

**RESPONSABILITÉ
 & ENVIRONNEMENT**

**DEMANDE DE
 SPÉCIMEN**

L'INDUSTRIE
 AU
 CONCRET

BULLETIN D'ABONNEMENT

A retourner accompagné de votre règlement
aux Editions ESKA <http://www.eska.fr>
12, rue du Quatre-Septembre - 75002 Paris
Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35

Je m'abonne pour 2009 aux Annales des Mines :

Réalités Industrielles

4 numéros	France	Etranger
au tarif de :		
Particuliers	<input type="checkbox"/> 81 €	<input type="checkbox"/> 98 €
Institutions	<input type="checkbox"/> 105 €	<input type="checkbox"/> 126 €

Réalités Industrielles + Responsabilité & Environnement

8 numéros	France	Etranger
au tarif de :		
Particuliers	<input type="checkbox"/> 153 €	<input type="checkbox"/> 184 €
Institutions	<input type="checkbox"/> 192 €	<input type="checkbox"/> 250 €

Réalités Industrielles + Gérer & Comprendre

8 numéros	France	Etranger
au tarif de :		
Particuliers	<input type="checkbox"/> 153 €	<input type="checkbox"/> 184 €
Institutions	<input type="checkbox"/> 192 €	<input type="checkbox"/> 250 €

Réalités Industrielles + Gérer & Comprendre + Responsabilité & Environnement

12 numéros	France	Etranger
au tarif de :		
Particuliers	<input type="checkbox"/> 196 €	<input type="checkbox"/> 248 €
Institutions	<input type="checkbox"/> 290 €	<input type="checkbox"/> 347 €

Nom
Fonction
Organisme
Adresse

Je joins : un chèque bancaire à l'ordre des Editions ESKA
 un virement postal aux Editions ESKA,
CCP PARIS 1667-494-Z
 je souhaite recevoir une facture

DEMANDE DE SPÉCIMEN

A retourner à la rédaction des Annales des Mines
120, rue de Bercy - Télédod 797 - 75572 Paris Cedex 12
Tél. : 01 53 18 52 68 - Fax : 01 53 18 52 72

Je désire recevoir, dans la limite des stocks
disponibles, un numéro spécimen :

- de la série **Réalités Industrielles**
 de la série **Gérer & Comprendre**
 de la série **Responsabilité & Environnement**

Nom
Fonction
Organisme.....
Adresse

Publié par
**ANNALES
DES
MINES**
Fondées en 1794

Fondées en 1794, les Annales des Mines comptent parmi les plus anciennes publications économiques. Consacrées hier à l'industrie lourde, elles s'intéressent aujourd'hui à l'ensemble de l'activité industrielle en France et dans le monde, sous ses aspects économiques, scientifiques, techniques et socio-culturels.

Des articles rédigés par les meilleurs spécialistes français et étrangers, d'une lecture aisée, nourris d'expériences concrètes : les numéros des Annales des Mines sont des documents qui font référence en matière d'industrie.

Les Annales des Mines éditent trois séries complémentaires :

**Réalités Industrielles,
Gérer & Comprendre,
Responsabilité & Environnement.**

RÉALITÉS INDUSTRIELLES

Quatre fois par an, cette série des Annales des Mines fait le point sur un sujet technique, un secteur économique ou un problème d'actualité. Chaque numéro, en une vingtaine d'articles, propose une sélection d'informations concrètes, des analyses approfondies, des connaissances à jour pour mieux apprécier les réalités du monde industriel.

GÉRER & COMPRENDRE

Quatre fois par an, cette série des Annales des Mines pose un regard lucide, parfois critique, sur la gestion « au concret » des entreprises et des affaires publiques. Gérer & Comprendre va au-delà des idées reçues et présente au lecteur, non pas des recettes, mais des faits, des expériences et des idées pour comprendre et mieux gérer.

RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

Quatre fois par an, cette série des Annales des Mines propose de contribuer aux débats sur les choix techniques qui engagent nos sociétés en matière d'environnement et de risques industriels. Son ambition : ouvrir ses colonnes à toutes les opinions qui s'inscrivent dans une démarche de confrontation rigoureuse des idées. Son public : industries, associations, universitaires ou élus, et tous ceux qui s'intéressent aux grands enjeux de notre société.

L'INDUSTRIE
AU
CONCRET

Le pneumatique dans un environnement « technologie véhicule évolutif » : impacts et perspectives

LES ÉVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES

Grâce aux efforts de recherche et développement qui ont été menés, la résistance au roulement des pneus a été réduite de moitié depuis une trentaine d'année. Cependant, cette résistance au roulement continue de contribuer, de manière très significative, à la consommation d'énergie des véhicules : jusqu'à plus de 20 % pour les véhicules à propulsion thermique, et jusqu'à plus de 30 % pour les véhicules « tout électrique ». Il y a donc là un gisement de progrès considérable. Par ailleurs, la conception des systèmes de roues intégrant moteur et suspension électriques peut constituer une rupture technologique décisive...

par **Jean-Marie MUS***

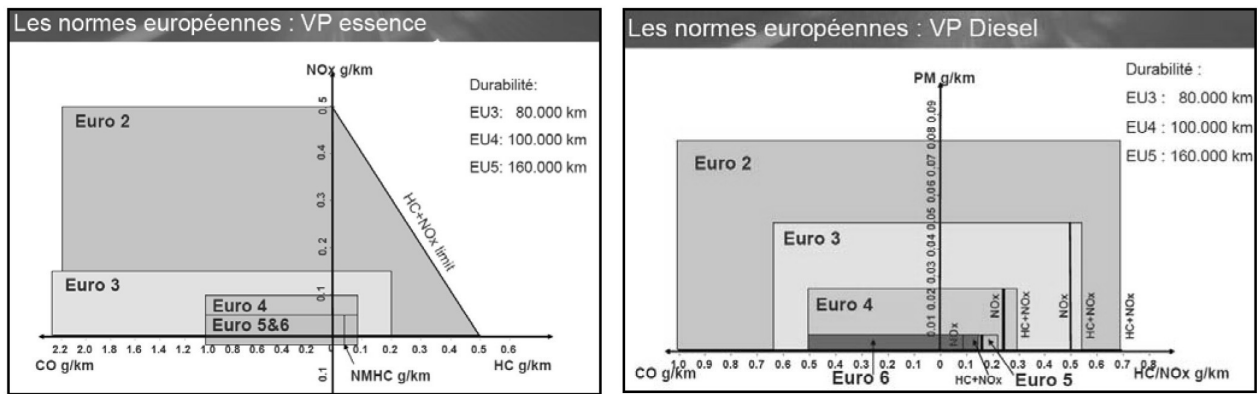
LE CONTEXTE

Notre société est à la recherche des voies pouvant permettre d'exploiter de manière durable les ressources naturelles de notre planète. L'industrie automobile, forte consommatrice d'énergie fossile, a un rôle majeur à jouer dans ce contexte. A ce jour, nous pouvons estimer le parc automobile mondial à 900 millions de véhicules. Plusieurs projections estiment qu'il sera de l'ordre de 1,5 milliard de véhicules à l'horizon 2030-2040, sachant, par ailleurs, que le transport routier représente 18 % de la totalité des émissions de CO₂ d'origine anthropique, la totalité des modes de transport repré-

sentant 24 % de ce total (1). Comment concilier les attentes des personnes en matière de mobilité et l'impact de celle-ci sur l'environnement ? Comment l'industrie automobile réagit-elle face à ce problème ? Quel en est l'impact, en ce qui concerne le pneumatique ? Plusieurs faits déclencheurs doivent être pris en compte pour comprendre les évolutions futures du monde automobile. Le plus important est la pression sociale, que relaie une action réglementaire, cherchant à limiter de façon drastique la pollution des véhicules, et donc

* Groupe Michelin, Recherche Avancée.

(1) Source *World Business Council for Sustainable Development*.



Graphique 1 : Evolution des contraintes réglementaires européennes s'appliquant aux véhicules « essence » et « diesel ».

leur consommation de carburant. La plus visible est centrée sur la réduction des émissions de CO₂ (et autres agents polluants), avec les réglementations européennes qui y sont associées.

Cependant, cette pression environnementale se couple à une tendance de fond : l'augmentation du coût de l'énergie fossile. Ponctuellement, ce coût pourra fluctuer, comme c'est le cas aujourd'hui, en situation de crise, mais, en projection, cette tendance à la hausse est robuste et durable. Pour le conducteur, cela n'est pas sans conséquence sur le coût complet d'usage de son véhicule (*Total Cost of Ownership*). A titre d'exemple, la flambée des prix des carburants, enregistrée en 2008, a eu pour effet de réduire la distance moyenne parcourue annuellement, pour la toute première fois depuis que cet indicateur a été mis en place.

Pour répondre à ces défis, les constructeurs automobiles, dans leur ensemble, recherchent des voies de propulsion alternatives permettant de répondre à cette double problématique, environnementale et économique.

UNE RÉPONSE TECHNOLOGIQUE DIVERSIFIÉE

Une première réponse, qu'apportent les constructeurs, réside dans une segmentation plus marquée, privilégiant les petits véhicules – moins chers et moins polluants – au détriment des véhicules de moyenne gamme. Cela est vérifié, quel que soit le continent. Nous ne développerons pas ce point dans le présent article, mais il faut savoir qu'il aura un réel impact, à terme, sur la segmentation de l'offre de l'industrie automobile et, donc, sur celle du pneumatique.

L'autre réponse, apportée aux attentes réglementaire et sociétale en matière de réduction de la pollution atmosphérique des transports, consiste en un investissement lourd, par les constructeurs d'automobiles, dans une grande diversité de « technologies moteur » (2). Cette diversité des recherches technologiques s'accompagnera d'une diversité dans l'offre des constructeurs. En effet, les communiqués de presse montrent qu'aucun constructeur automobile important ne reste à l'écart de cette vague de la « nouvelle technologie », certains

apportant parfois plusieurs réponses différentes au sein d'une même marque.

A la lecture de cette diversité, on peut se demander de quoi le futur de l'automobile sera réellement fait. Une chose est sûre : demain, l'offre technologique des constructeurs sera vaste et différenciée, par rapport à celle disponible aujourd'hui pour les véhicules « essence » ou « diesel ». Il est certain que la réponse à la pression écologique prendra des formes multiples, selon les zones géographiques et les technologies retenues : une étude, réalisée par le *Boston Consulting Group* (BCG), explicite cette diversité.

Le premier constat que l'on peut faire est que, dans les dix à quinze ans qui viennent, le parc automobile mondial restera largement dominé par les moteurs thermiques. Cependant, le paysage technologique ne sera plus monolithique. En effet, un quart du parc sera propulsé par des moteurs intégrant une contribution de l'énergie électrique plus ou moins importante.

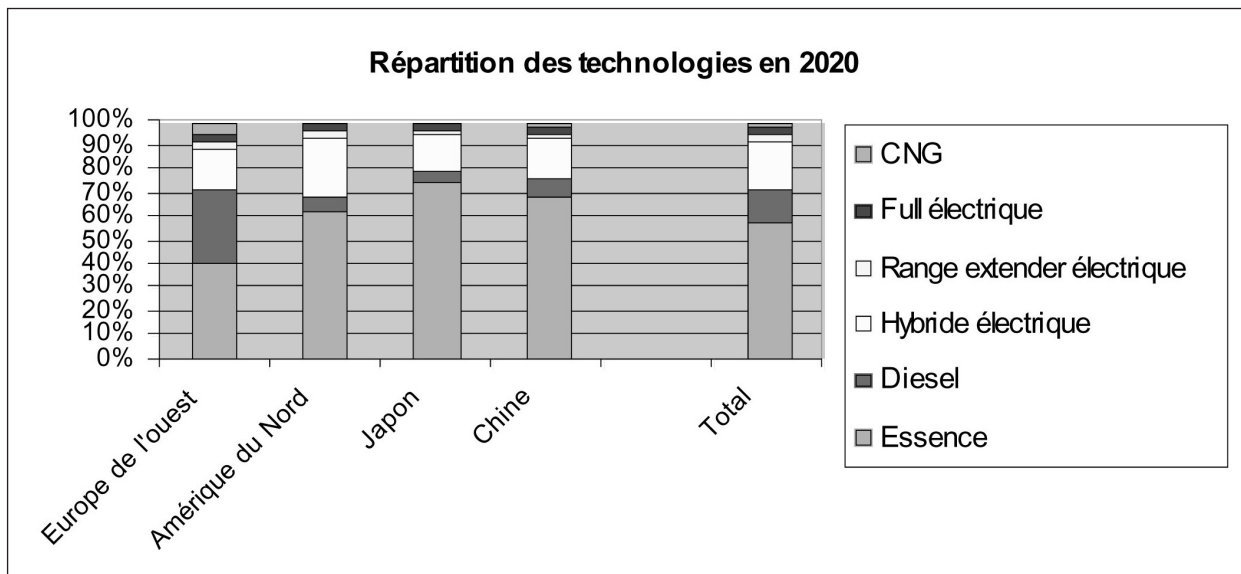
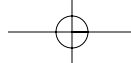
Le second élément est que la partie « véhicule électrique pur » restera faible (de l'ordre de 3 % au niveau mondial), et probablement concentrée sur des segments d'usage qui lui sont favorables – usage urbain, avec une densité de population importante et de faibles distances à parcourir, ou bien encore pour des usages urbains captifs (livraisons rapides, distribution de courrier, location de véhicules à usage intra-urbain...).

Cette pénétration relativement faible de la propulsion électrique trouve son origine dans l'insuffisante maturation technologique et économique des batteries. Celles-ci sont l'élément clé, et portent donc le risque économique associé au développement de la propulsion électrique.

Un autre élément important à prendre en considération est le fait que le moteur à pile à combustible tend à disparaître du champ des probables, en matière de technologies électriques.

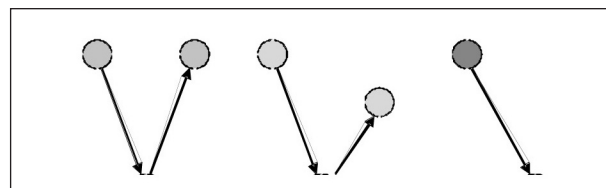
Dans le contexte électrique, plusieurs configurations sont possibles, allant d'une assistance au démarrage jusqu'à une propulsion entièrement électrique. Michelin a

(2) Optimisation des moteurs thermiques, moteur à combustion à hydrogène, *stop & start*, micro, *mild and full* hybrides, *plug-in* hybrides, pile à combustible et, enfin, « tout électrique ».



Graphique 2 : Le retour de la voiture électrique ? (source : *the come-back of electric car ?* – BCG, 2009).

développé un prototype de moteur électrique et de suspension intégrés à la roue : la *Michelin Active Wheel*, qui pourrait constituer une réelle alternative technologique (Voir l'annexe).



Graphique 3 : Schéma comparatif du principe de dissipation, pour trois types de matériaux caractéristiques.

L'IMPACT DU PNEUMATIQUE, DANS CETTE DIVERSITÉ TECHNOLOGIQUE

Pourquoi introduire le pneumatique dans une problématique de consommation d'énergie et de respect de l'environnement ? Parce que les pneumatiques représentent, pour les véhicules d'aujourd'hui, de l'ordre de 20 % des forces de résistance au déplacement (3). Par conséquent, 20 % de l'énergie consommée pour faire avancer votre véhicule est liée aux pneumatiques !... Pourquoi et comment ? Qu'en est-il de la possible contribution du pneumatique dans ce nouveau panorama technologique, à la fois thermique, hybride et électrique ? Suivant la nature de ces différentes technologies de propulsion, la contribution du pneumatique à la consommation est différente. Mais avant de rentrer dans le vif du sujet, examinons la manière dont le pneumatique pèse sur la consommation finale de carburant d'un véhicule.

Définition de la résistance au roulement

La résistance au roulement est due principalement au fait que les gommages, qui constituent les pneumatiques, sont des matériaux viscoélastiques.

Ces types de matériaux ont pour propriété de dissiper de l'énergie, sous forme de chaleur, lorsqu'ils subissent des déformations. Ainsi, lorsqu'il roule, le pneumatique se déforme, sous l'effet de la charge, et il a tendance à s'apla-

tir sur le sol. Ces déformations entraînent des déperditions d'énergie : elles constituent la résistance au roulement. La résistance au roulement se définit comme l'énergie perdue par le pneu, par unité de distance parcourue (4). Pour vaincre la résistance au roulement, il faut donc fournir de l'énergie. Dans le cas d'un véhicule à moteur thermique (ou électrique), cette énergie est fournie par la combustion de carburant (ou une décharge partielle des batteries) : la résistance au roulement participe, par conséquent, à la consommation d'énergie des véhicules.

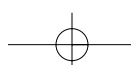
Depuis une trentaine d'années, Michelin innove afin de réduire l'impact de la résistance au roulement du pneumatique, contribuant ainsi à diminuer la consommation finale de carburant.

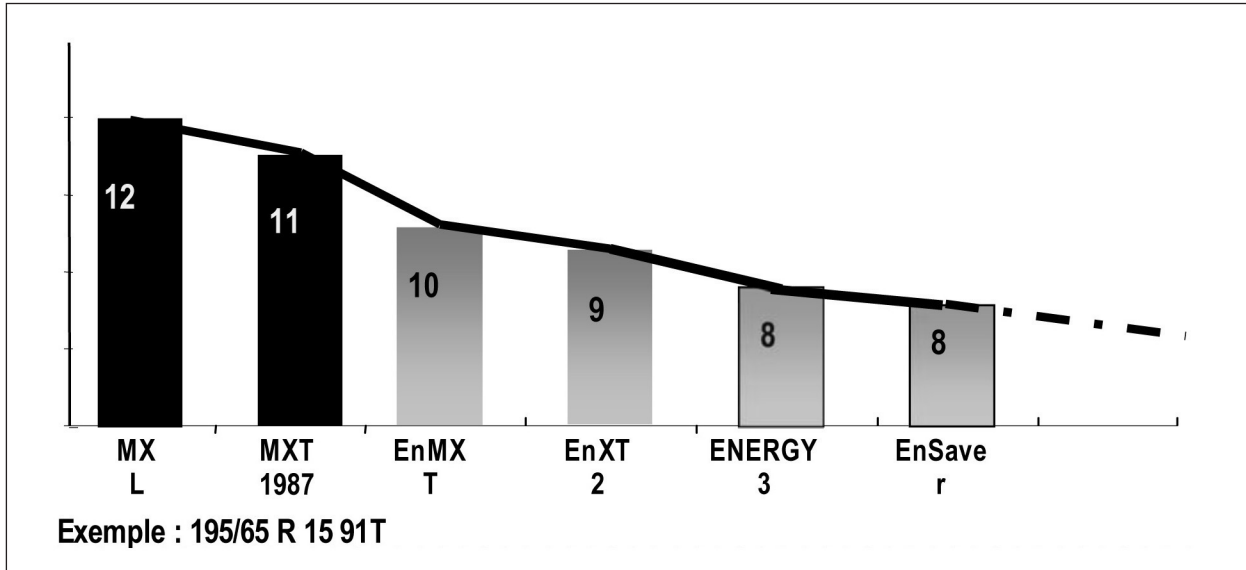
La résistance à l'avancement : « contribution » du pneu, comparée aux autres « contributions »

La définition de la résistance au roulement étant précisée, intégrons le pneumatique à son environnement –

(3) Ce chiffre dépend des conditions d'usage.

(4) Définition de la norme ISO8767 sur les méthodes de mesure de la résistance au roulement.





Graphique 4 : Evolution de la résistance au roulement des pneus Michelin « Energy ».

le véhicule. Pour conserver une vitesse donnée à son véhicule, le conducteur appuie légèrement sur l'accélérateur. Ce faisant, il consomme de l'énergie. S'il lève le pied et passe au point mort, le véhicule finira par s'arrêter, même sur une route plate. La raison en est que des forces (dites « freineuses ») agissent sur le véhicule. Cinq grands types de forces s'opposent, ainsi, à sa progression :

- les forces de résistance au roulement (que nous avons introduites, au paragraphe précédent) ;
- les forces aérodynamiques (liées au frottement de l'air sur le véhicule) ;
- les forces de frottement internes (frottement des pièces mécaniques) et les consommations annexes du véhicule (éclairage, chauffage...) ;
- la force de gravité (attraction terrestre s'exerçant sur le véhicule dans les montées, en fonction de sa masse et du degré de pente) ;

- les forces d'inertie (en accélération).

Nous pouvons schématiser cela par le dessin correspondant au schéma 1.

Ces cinq types de forces « freineuses », qui s'opposent au déplacement du véhicule sont les consommatrices de l'énergie cinétique utile, apportée par le groupe motopropulseur. L'énergie utile (par opposition à l'énergie perdue) est la part de l'énergie totale apportée (par le carburant ou une batterie) servant effectivement à mouvoir un véhicule. Entre ces deux types d'énergie, intervient la notion de « rendement moteur ». Ce rendement dépend de la technologie moteur et de son usage. Suivant que le moteur est électrique ou thermique, ce rendement diffère fortement. Dans le schéma 2, nous retrouvons la part de 20 % imputée au pneu (citée plus haut), dans la consommation de l'énergie utile contribuant au déplacement du véhicule.

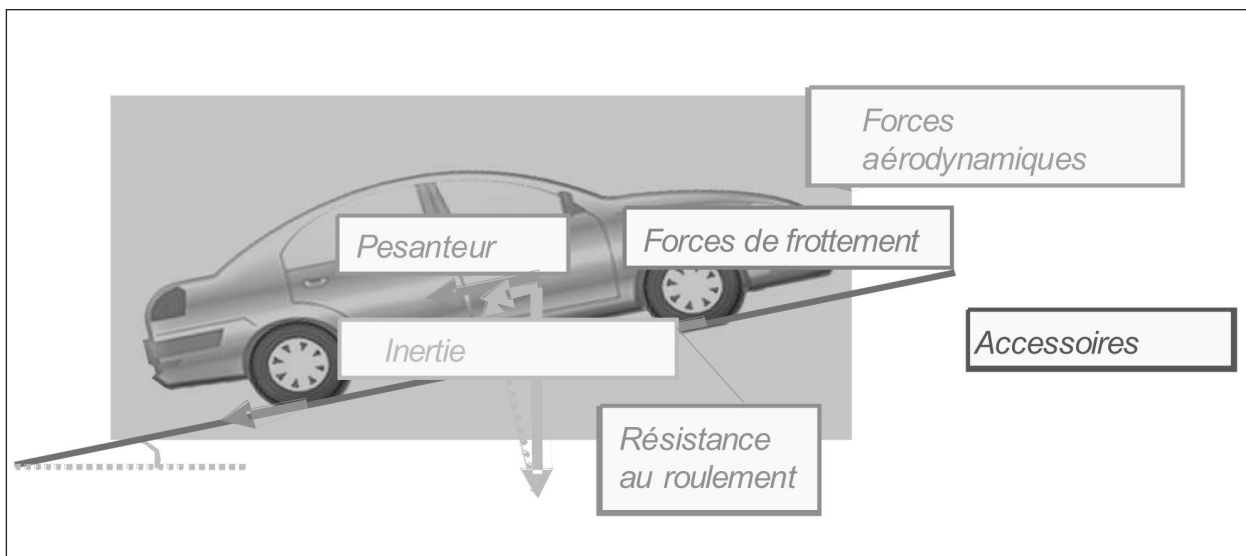


Schéma 1 : Les différentes forces « freineuses » s'exerçant sur un véhicule en mouvement.

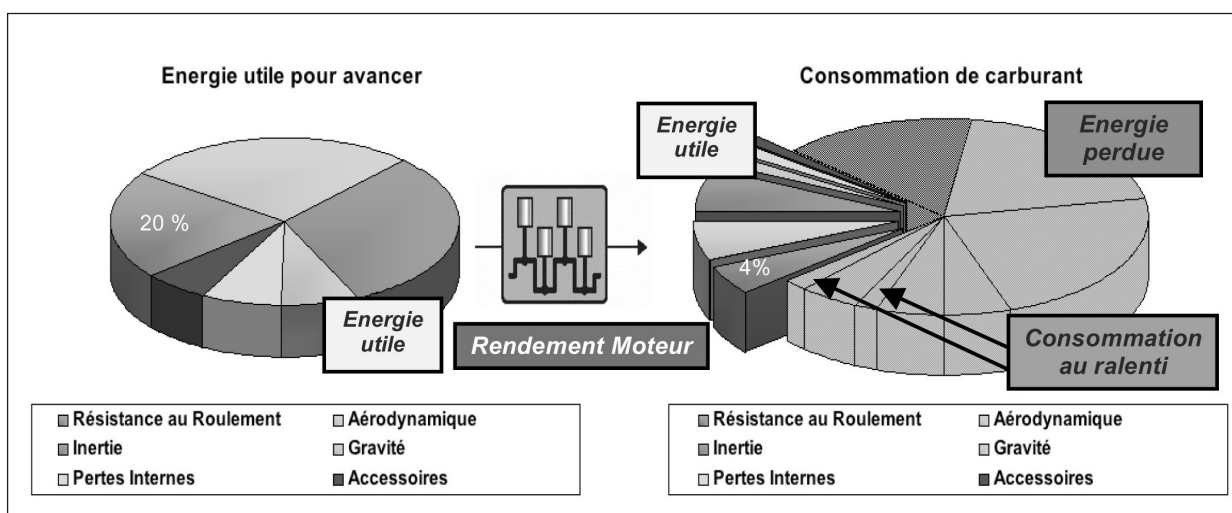


Schéma 2 : Energie utile et déperditions d'énergie, en fonction du « rendement moteur ».

« Contribution » du pneu à la consommation

Pour un véhicule donné, la « contribution » du pneu à la consommation de l'énergie utile du véhicule dépend :

- de la vitesse et de l'accélération du véhicule, à chaque point du parcours considéré ;
- des caractéristiques du véhicule (masse, aérodynamisme...);
- de la résistance au roulement du pneumatique lui-même.

Connaissant tous ces paramètres, on peut, pour un parcours donné, établir la part de chaque force « freineuse » dans la consommation finale du véhicule. Nous avons appliqué cette démarche à deux types de véhicule (l'un thermique et l'autre électrique), afin d'identifier la part de déperdition d'énergie imputable aux pneus.

La « contribution » du pneu peut aller jusqu'à 21 % pour une propulsion thermique, et dépasser les 30 % pour une propulsion « tout électrique ». Pour les véhicules hybrides, le chiffre dépend des options technologiques retenues, mais peut être considéré comme intermédiaire entre les valeurs des véhicules thermiques et « tout électrique ». Le fait de disposer de pneus à faible résistance au roulement devient donc un facteur clé de la consommation d'énergie des véhicules, et ce indépendamment des technologies moteur employées. Comme nous l'avons mentionné plus haut, l'effort de Michelin en matière de recherche et de développement a permis de diviser pratiquement par deux la résistance

au roulement des pneus et, donc, leur « contribution » à la consommation d'énergie, tout en conservant les qualités fondamentales des pneus Michelin : leur sécurité et leur longévité.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le monde automobile traverse une phase de mutation technologique importante. Pour atteindre les seuils d'émissions de CO₂ (et autres agents polluants), les constructeurs d'automobiles doivent développer une diversité technologique importante. L'introduction de la propulsion électrique (partielle ou totale) en atteste, même si le véhicule « tout électrique » devrait rester marginal.

Ces évolutions techniques vont se traduire par l'apparition de différentes versions de véhicules couvrant la totalité du champ du possible – thermique, différents niveaux d'hybridation, tout électrique, voire (plus marginalement) hydrogène. Pour le groupe Michelin, cette diversité technologique change l'impact du pneu dans la consommation énergétique. Pour un usage urbain normalisé, la part du pneu passe ainsi de 20 %, pour les moteurs thermiques, à plus de 30 %, pour les véhicules « tout électrique ». Les efforts, que le Groupe Michelin a déployés dans la durée, ont permis de réduire de moitié la résistance au roulement des pneus qu'il produit, et apportent, ainsi, une validation définitive

Usage	Part de la résistance au roulement du pneu dans la consommation	
	Véhicule Thermique	Véhicule électrique
Usage urbain sévère	12%	25%
Usage urbain normalisé -ECE	20%	33%
usage routier normalisé -EUDC	21%	21%
Usage autoroutier	18%	17%

Tableau 1 : « Contribution » des pneus à la déperdition d'énergie finale de deux types de véhicules (thermique : moteur à explosion, et électrique), en fonction de divers usages.

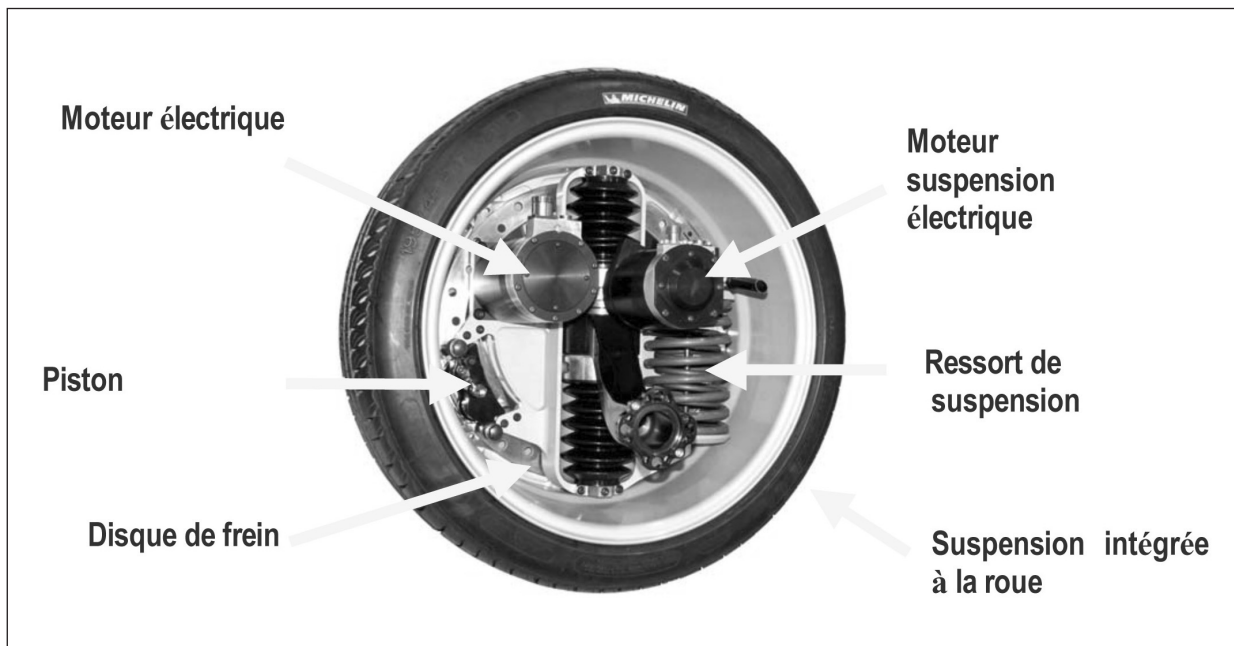


Schéma 3 : Les composants essentiels de la *Michelin's Active Wheel*.

de la stratégie du Groupe en matière de recherche et de développement sur le thème de l'environnement.

Au-delà de la résistance au roulement, l'identification de nouvelles caractéristiques du pneu impactant la consommation d'énergie des véhicules, est fondamentale pour la poursuite de la réduction de cette consommation. C'est ici qu'une approche « système » apporte un autre regard : l'interaction aérodynamique pneu/passage de roue et l'interaction du pneu avec la suspension du véhicule, sont des sujets de recherche porteurs de nouveaux axes de progrès.

ANNEXE : LA MINIATURISATION DES ORGANES, CLEF TECHNOLOGIQUE DE LA *MICHELIN'S ACTIVE WHEEL*

La clef de la révolution technologique de la *Michelin's Active Wheel* réside en la miniaturisation du moteur et la maîtrise de la gestion de la suspension. Grâce à cette miniaturisation, la roue a pu, en quelque sorte, être « ré-inventée ».

Pour la première fois, en effet, la roue intègre non seulement le pneu et le système de freinage, mais aussi, et surtout, la motorisation du véhicule, ainsi que sa suspension électrique (voir le schéma 3 : Les composants essentiels de la *Michelin's Active Wheel*).

Selon la puissance souhaitée et le type d'usage recherché, il est possible de combiner, sur un même véhicule, quatre moteurs (un dans chaque roue) ou bien seulement deux (par exemple, dans les deux roues avant). En cela, la *Michelin's Active Wheel* préserve la liberté des constructeurs, qui peuvent continuer à concevoir des automobiles à deux ou à quatre roues motrices.

L'énergie alimentant le moteur ainsi intégré à la roue est, dans le cas de la *Michelin's Active Wheel*, exclusivement électrique. Il peut s'agir de batteries (lithium-ion ou autres), d'une pile à combustible et/ou de superconducteurs. Dans tous les cas, ces sources de motorisation associent deux avantages considérables : **une pollution réduite à zéro** et **un confort exemplaire**. En effet, le véhicule qui en est équipé, n'émet aucun gaz à effet de serre. Par ailleurs, la motorisation électrique se distingue par son silence de fonctionnement. Cela profite aux passagers du véhicule, mais aussi – et surtout – au milieu dans lequel ce dernier évolue. Une automobile dotée d'une motorisation *Michelin's Active Wheels* laisse la ville respirer !

Le tour de force de la *Michelin's Active Wheel* est de concilier, à un niveau jamais encore atteint, écologie et performances. La nouvelle voiture *WILL* en est une illustration probante : ses deux moteurs, intégrés dans les roues avant, lui procurent une réelle vivacité : elle passe de 0 à 100 km/h en 10 secondes, et peut atteindre les 140 km/h. Quant à la *Venturi Volage*, avec ses quatre *Active Wheels* motorisées, elle offre des performances d'accélération et une tenue de route impressionnantes.

Ce dynamisme est servi par une liaison au sol, qui établit de nouveaux standards en matière de tenue de route et de confort. Car avec la *Michelin's Active Wheel*, la suspension du véhicule n'est plus mécanique, mais électrique. Ce système inédit se caractérise par un temps de réponse extrêmement rapide (3/1 000^{es} de seconde). Tous les mouvements de roulis ou de tangage sont ainsi automatiquement corrigés.

La *Michelin's Active Wheel* permet une simplification extrême de la conception du véhicule. Tous les composants mécaniques d'une voiture traditionnelle n'ont

plus aucune utilité ici : boîte de vitesses, embrayage, arbre de transmission, différentiel, amortisseurs, etc., disparaissent sur les véhicules mus par des *Michelin's Active Wheels*. Les véhicules gagnent en légèreté et le besoin en énergie se trouve, de fait, lui aussi limité. Résultat : l'autonomie du véhicule atteint des niveaux, qui répondent aux attentes des automobilistes.

La *Michelin's Active Wheel* constitue donc une rupture technologique évidente. Elle apporte une réponse efficace et élégante aux problématiques soulevées par le transport routier, aux critiques qui lui sont faites, qu'il s'agisse de l'énergie (quantité, diversité, coût), des émissions de gaz à effet de serre, de l'encombrement urbain et de la pollution urbaine.

La technologie hybride Toyota

En matière de motorisation, la démarche environnementale de Toyota s'est construite autour de la technologie hybride. Celle-ci s'est concrétisée, dès 1997, avec la commercialisation de la Toyota Prius, la première voiture hybride à avoir été produite en série au niveau mondial. La troisième génération de la Prius vient d'arriver sur le marché...

par **Michel GARDEL***

Nous croyons que la durabilité environnementale est le défi majeur que notre industrie et notre société devront relever au cours de ce siècle. Notre engagement, qui concerne non seulement nos produits, mais également chaque secteur de notre activité et nos relations avec chacune des personnes avec lesquelles (et pour lesquelles) nous travaillons, vise à ce que l'automobile reste acceptable pour les générations futures.

LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Selon le Rapport d'évaluation du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) rédigé par des scientifiques internationaux et publié en 2007, le réchauffement climatique, auquel nous sommes confrontés depuis le milieu du 20^e siècle, est, pour partie, le résultat d'une augmentation de la présence dans l'atmosphère de gaz à effet de serre dus à l'activité humaine.

Depuis la révolution industrielle, le développement de notre civilisation s'est accompagné d'un recours phénoménal au charbon, au pétrole et à d'autres combustibles fossiles. Le corollaire de leur utilisation, à savoir des rejets massifs de gaz à effet de serre, tel que le gaz carbonique (CO₂), entraîne l'épaississement continu autour de la Terre de la couche atmosphérique, qui piège les rayonnements infrarouges à l'instar d'une serre, provoquant une élévation de la température de l'atmosphère terrestre et de celle des océans.

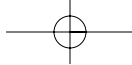
Il y a plus de deux cents ans (à l'aube de la révolution industrielle), la concentration de CO₂ dans l'atmosphère terrestre était d'environ 280 parties par million (ppm). Aujourd'hui, cette valeur a augmenté de 35 % : elle excède les 370 ppm. Selon les prévisions, si le développement se poursuit au même rythme, la concentration de CO₂ atteindra – voire dépassera – le double du niveau actuel à la fin du 21^e siècle, entraînant une hausse de la température moyenne à la surface du globe bien supérieure à celle qui nous préoccupe déjà.

Des risques accrus pour 3 milliards d'individus, dans l'hypothèse où la température terrestre augmenterait de 2°C

D'après les études menées par le Centre japonais en charge des actions contre le réchauffement climatique (JCCCA – *Japan Centre for Climate Change Actions*), si rien n'était fait pour stopper l'évolution du réchauffement climatique avant d'atteindre la barre des 450 ppm de CO₂, il faudrait s'attendre à une augmentation de 2°C de la température terrestre moyenne, ce qui risquerait de provoquer une grave crise écologique pour l'humanité.

Si la température mondiale moyenne devait augmenter de 2°C d'ici à 2050, l'on estime que 2,97 milliards d'individus au total seraient exposés à un (ou plusieurs) risque(s) climatique(s) : 2,7 milliards d'entre eux

* Président de Toyota France.



LES GAZ À EFFET DE SERRE ET LE RÉCHAUFFEMENT PLANÉTAIRE

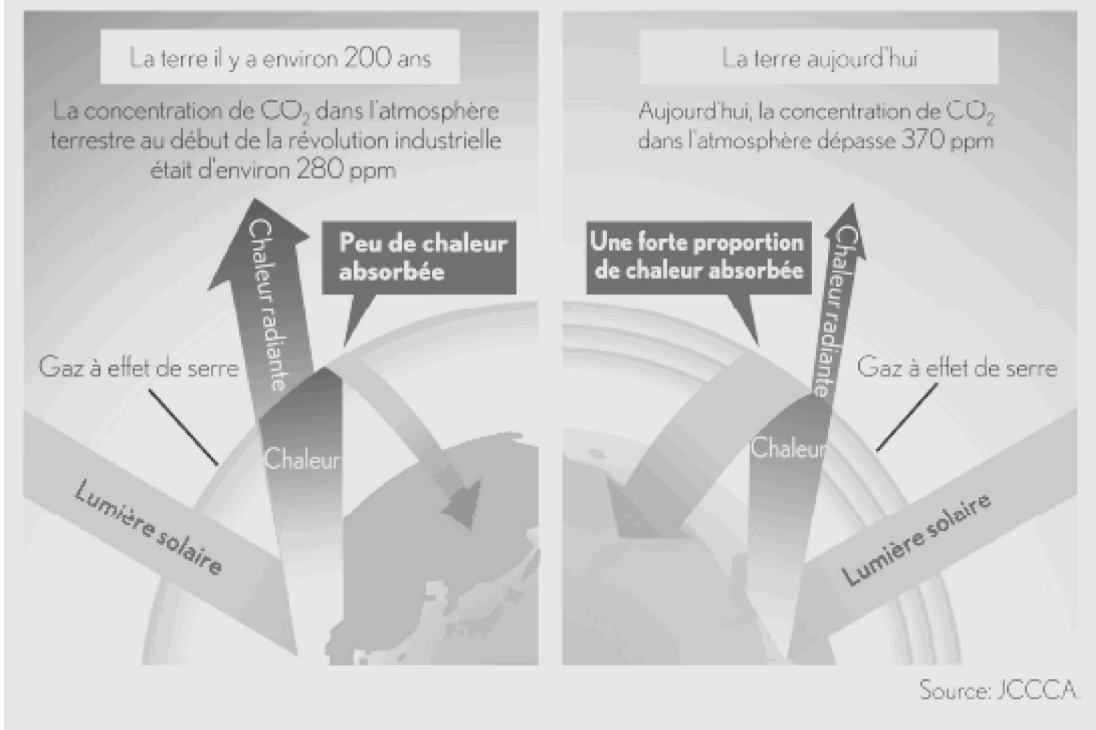


Figure 1 : Les gaz à effet de serre et le réchauffement climatique planétaire.

seraient victimes de pénuries d'eau, 230 millions souffriraient de paludisme, 30 millions seraient affectés par des inondations et 10 millions, par la famine.

Agir pour réduire le CO₂

On peut donc dire, à juste titre, qu'agir pour réduire le CO₂ relève aujourd'hui de la responsabilité sociale. D'ailleurs, conformément au Protocole de Kyoto signé

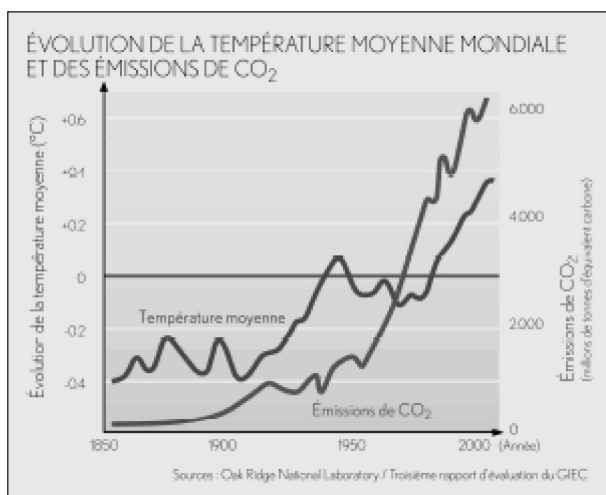


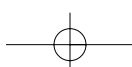
Figure 2 : Evolutions comparées de la température moyenne mondiale et des émissions de CO₂.

en 1997, les Etats cherchent à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre. Aux termes de cet accord, les pays développés sont tenus de réduire leurs émissions de 5,2 % entre 2008 et 2012, par rapport au niveau qui était le leur en 1990.

Selon les chiffres réunis par l'Organisation pour le Développement des Energies Nouvelles et des Technologies Industrielles (NEDO) concernant la disponibilité énergétique mondiale en 2100 – d'ici moins d'un siècle – 50 % de notre approvisionnement énergétique sera assuré par une grande variété de sources, autres que les combustibles fossiles.

Dès 2040 environ, il se produira probablement un changement considérable, puisqu'à compter de cette date, la production de pétrole diminuera fortement. Cette chute de la production de pétrole devrait être compensée par le gaz naturel, le charbon et d'autres ressources énergétiques. Nous pensons cependant que cet événement aura un impact considérable, et que ces prévisions impliquent que l'on procède sans délai à certains changements drastiques.

La croissance du parc automobile contribuera à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre. Aujourd'hui, en Europe, 24 % des émissions de CO₂ sont le fait du secteur du transport dans son ensemble, l'automobile n'en représentant que la moitié (soit, par conséquent, encore 12 %) : l'industrie automobile peut donc jouer un rôle non négligeable en matière de réduction des émissions de CO₂ (et autres gaz à effet de serre) dans l'atmosphère.



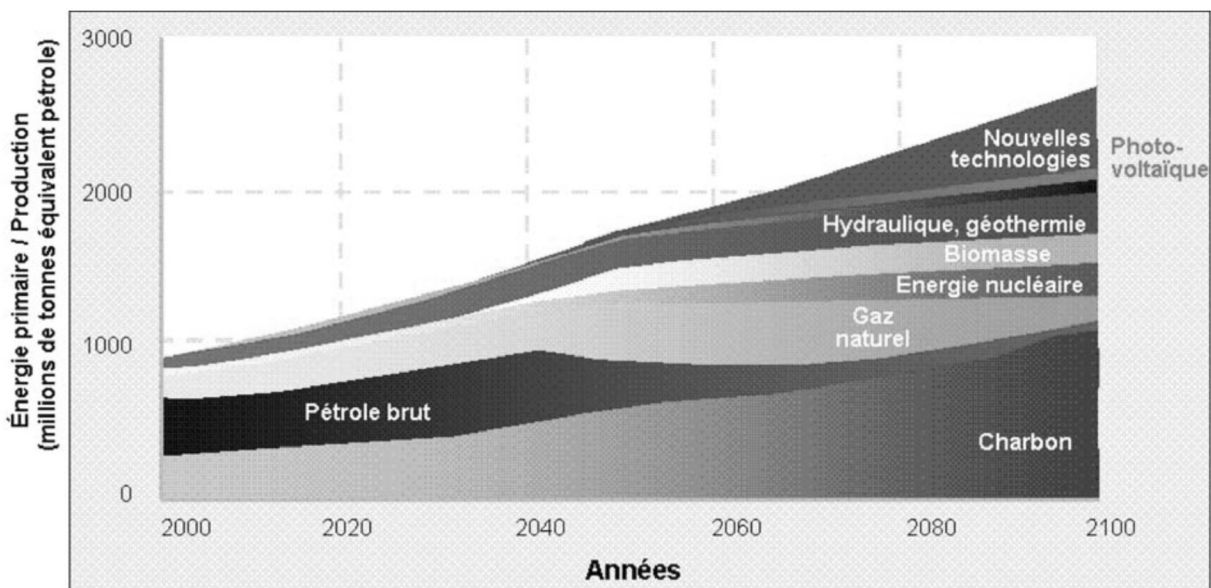


Figure 3 : Evolution de la production d'énergies primaires de 2000 à 2100 (en millions de tonnes équivalent pétrole).

En conséquence, le Gouvernement japonais s'est fixé pour objectif de diminuer de 23,5 % la consommation de carburant des voitures particulières, d'ici à 2015. Le secteur des transports n'a plus qu'un an (jusqu'en 2010)

pour ramener ses émissions de CO₂ à 250 millions de tonnes. Les États membres de l'Union européenne, pour leur part, se sont mis d'accord sur l'objectif de réduire de 20 % leurs émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2020.

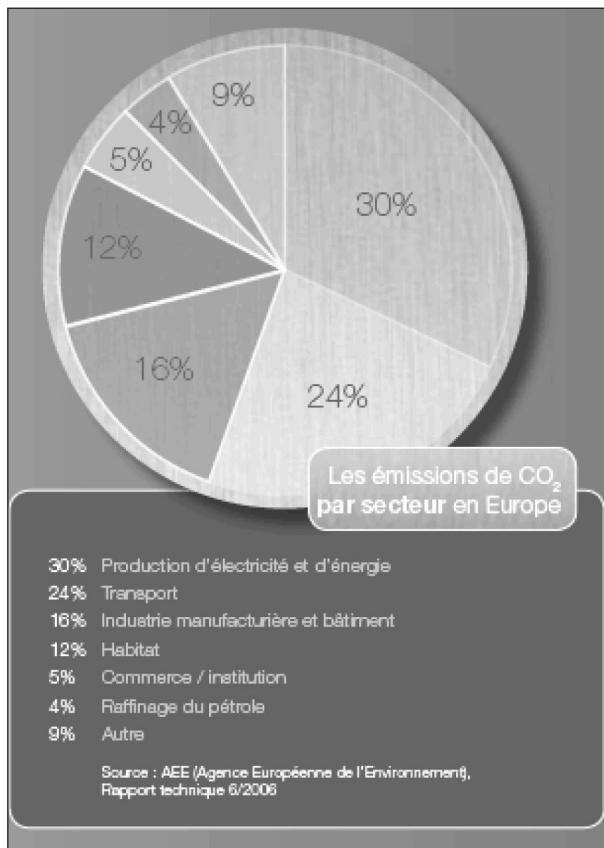


Figure 4 : Répartition des émissions de CO₂ par grand secteur en Europe (en 2006).

Les réglementations anti-pollution, une question de culture

Outre le CO₂ dégagé par la combustion de carburants d'origine fossile, les gaz d'échappement contiennent également de nombreux polluants néfastes pour la santé humaine (en particulier pour le système respiratoire), dont le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures imbrûlés (HC), les oxydes d'azote (NOx), les oxydes de soufre (SOx) et les particules en suspension (MP).

Le Japon, l'Europe et, tout récemment, les États-Unis (grâce aux décisions prises par l'administration de M. Barack Obama) vont adopter des réglementations nationales plus contraignantes en matière d'émissions nocives. Toutefois, même si leurs réglementations concernant les émissions de gaz à effet de serre par les véhicules à essence sont de sévérités à peu près comparables, des différences significatives subsistent entre les réglementations adoptées par ces trois régions du monde en matière de véhicules « diesel ». Ainsi, les normes japonaises s'avèrent être les plus sévères, la réglementation européenne des émissions des poids-lourds « diesel » demeurant, en comparaison, relativement indulgente en matière d'émissions de NOx et de particules fines.

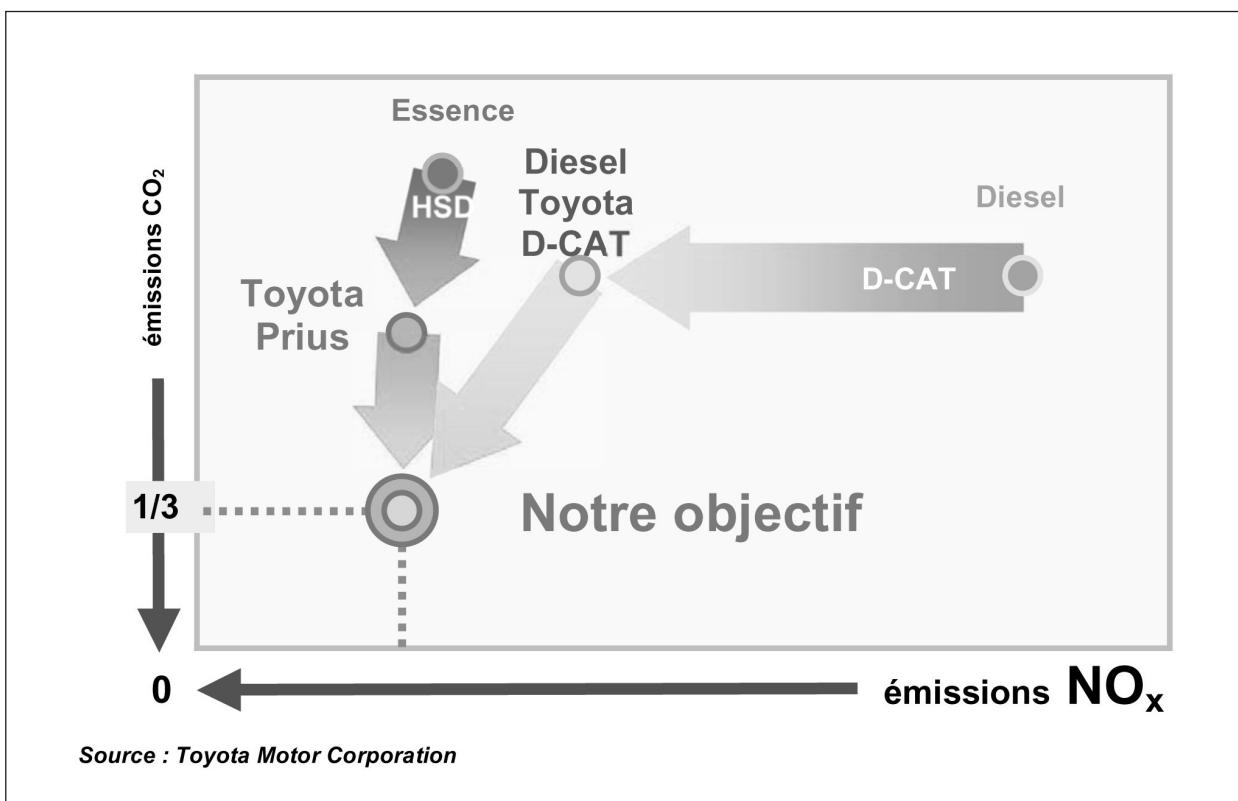


Figure 5 : L'objectif de Toyota : réduire des deux tiers les émissions de CO₂ et de NO_x, et tendre vers leur élimination totale.

VERS LA VOITURE ÉCOLOGIQUE ULTIME

Constat environnemental

Notre démarche s'appuie sur le constat environnemental que nous avons appelé, et sur trois défis que nous devons relever : celui de l'amélioration de la qualité de l'air, celui de la lutte indispensable contre le réchauffement climatique (grâce à la réduction des émissions de CO₂) et, enfin, celui de la satisfaction d'une demande accrue en énergie, qui est confrontée à la raréfaction du pétrole.

En ce qui concerne la qualité de l'air, nous continuons à améliorer nos motorisations et nos technologies de traitement des rejets polluants (en particulier des oxydes d'azote NO_x).

Le changement climatique, d'ores et déjà avéré, nous pousse à réduire encore les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) de nos véhicules en améliorant sans cesse leur rendement énergétique, et en optant pour des énergies plus propres.

Enfin, nous préparons l'évolution du *mix* des énergies, dans la perspective de la forte diminution de la production de pétrole, qui interviendra autour de 2040.

La pertinence de la technologie hybride

Le pronostic environnemental prend pour base l'évolution prévisible du parc automobile mondial. Le nombre de véhicules en circulation dans le monde doit augmenter de moitié, passant ainsi de 800 millions de véhicules (aujourd'hui) à 1,2 milliard (à l'horizon 2020). Pour tous les constructeurs automobiles, une augmentation d'une telle ampleur entraîne de nouvelles responsabilités.

Dans ce contexte, le principal enjeu est, pour nous, de parvenir à un développement pérenne.

Notre approche est globale : nous prenons en compte l'impact environnemental du véhicule depuis sa conception jusqu'à sa mise au rebut. Et notre approche est aussi multipolaire, car le véhicule doit répondre à un large éventail de demandes.

Nous pensons que pour atteindre notre objectif d'entreprise, nous devons abaisser les émissions de nos moteurs (que ceux-ci soient « essence » ou « diesel ») au tiers du niveau qu'atteignent aujourd'hui les moteurs à essence.

En matière de motorisation, la démarche environnementale de Toyota s'est construite autour de la technologie hybride, qui devrait nous permettre d'atteindre, un jour, le véhicule « ultimement propre ».

Cette technologie, dont Toyota est le pionnier et le leader, s'est concrétisée, dès 1997, avec la commercialisa-

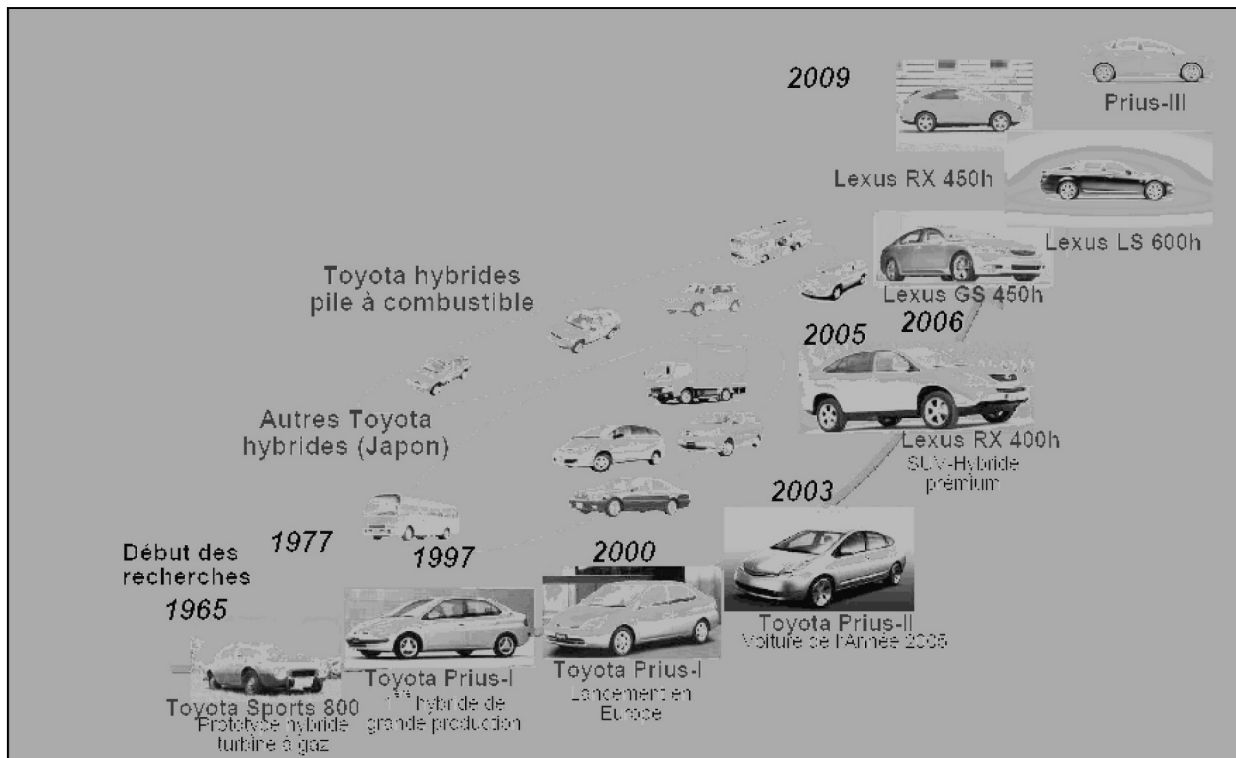


Figure 6 : Chronologie et progression des performances écologiques des automobiles Toyota, depuis 1965.

tion de la Toyota Prius, la première voiture hybride à avoir été produite en série, au niveau mondial. Elle est née de l'audace des ingénieurs et de leur prise de conscience, dès 1965, de la nécessité de construire une voiture plus vertueuse et respectueuse de l'environnement.

L'offre hybride mondiale des deux marques du groupe, Toyota et Lexus, comporte aujourd'hui douze modèles. Nous avons, à ce jour, vendu plus de 1 815 000 véhicules hybrides dans le monde, dont 1 269 000 Toyota Prius et 152 000 Lexus RX 400h (le premier SUV hybride), 18 000 GS 450h (la première berline hybride haute performance) et 16 800 LS600h (premier modèle de limousine hybride).

Afin de compléter notre offre « hybride », nous nous sommes fixés pour objectif de doubler le nombre de nos modèles et de vendre un million de voitures « hybrides » par an, dès le début de la prochaine décennie. C'est ainsi qu'au début des années 2020, Toyota escompte proposer une version à motorisation hybride de tous les modèles de sa gamme.

Nous sommes convaincus que la technologie hybride est l'innovation majeure, qui caractérisera l'automobile du vingt-et-unième siècle.

En effet, celle-ci permet d'optimiser tout type de motorisation, et elle allie économie et respect de l'environnement au plaisir de conduire (le tout, sans nécessiter d'infrastructures nouvelles de distribution de carburant ou de changement des habitudes des automobilistes).

La technologie hybride Toyota sera également la technologie transversale de nos véhicules du futur, avec, de

plus, des formes d'énergie nouvelles (telle que la pile à combustible hydrogène).

Cette technologie hybride améliore le rendement énergétique de toutes les sources d'énergie : essence, diesel, carburant gazeux, biocarburant de nouvelle génération, carburant de synthèse, hydrogène ou électricité. La plupart de nos hybrides s'appuient sur un moteur à essence ultra-efficace, associé à un moteur électrique (ne produisant aucune émission nocive) et à une batterie Ni-MH (Nickel-Métal hydrure) permettant de fournir la puissance électrique nécessaire.

La véritable révolution que représente notre technologie hybride se situe dans la gestion intelligente des différentes sources d'énergie. En effet, le système optimise chaque aspect de la conduite : accélération, conduite à la vitesse de croisière, freinage, arrêt/redémarrage. Ainsi, par exemple, sur des hybrides essence-électrique, le moteur électrique est alimenté par la batterie constituant la partie électrique de l'hybridation, qui se recharge, notamment, lors des freinages et des décélérations en récupérant l'énergie cinétique du véhicule. Ensuite, le cas échéant, le moteur thermique (à essence) intervient, dès qu'il faut fournir plus de puissance.

VOICI LA MANIÈRE DONT UNE *PRIUS* FONCTIONNE

Lancée au Japon, en 1997, et en Europe, en 2000, la Prius de première génération a été la première voiture

hybride de grande série au monde. Son nom, Prius, signifie, en latin : « plus tôt », « en avance ».

La Prius fonctionne, soit en mode électrique pur, soit en combinant mode électrique et mode thermique, selon les conditions de conduite.

L'ensemble est géré dans l'optique d'un rendement optimum, au bénéfice du plaisir de conduire ainsi que de la baisse de la consommation de carburant et des émissions de CO₂ et autres rejets polluants.

Entièrement autonome, la Prius recharge ses batteries en roulant : elle ne nécessite donc jamais d'être branchée sur le secteur électrique.

La Prius, une berline familiale à cinq places, confortable et performante, est la voiture la moins polluante au monde.

Seulement 89 grammes de CO₂ au kilomètre

La troisième génération de la Prius vient d'arriver (le 15 juin 2009) chez nos concessionnaires. Le système Hybrid Synergy Drive® a été repensé et apporte son lot d'améliorations à ce groupe motopropulseur. 90 % des organes du système hybride (moteur thermique, batterie, inverseur, convertisseur et système de refroidissement) ont été redéfinis, afin de l'alléger et d'en réduire l'encombrement. Parallèlement, les ingénieurs ont cherché à augmenter la puissance, à réduire encore la consommation d'essence dans les conditions réelles d'utilisation, et à améliorer le fonctionnement de la voiture par grand froid.

Les trois générations de Prius qui ont été développées ont fait l'objet de plus de 3 000 dépôts de brevets, à ce jour.

Avec un taux de CO₂ de 89 g/km – chiffre record pour une motorisation essence et sans équivalent chez les « familiales » – la Prius ouvre droit à des avantages fiscaux dans de nombreux pays européens, notamment, en France, avec 2 000 € de « bonus écologique » pour les particuliers. Les entreprises pourront bénéficier, quant à elles, de 1 000 € de bonus et de l'exonération de la taxe sur les véhicules de société (TVS) durant les 24 premiers mois suivant l'achat du véhicule.

De plus, lorsque l'on passe en mode « tout électrique EV » (utilisation en ville) – une fonctionnalité exclusive de la Prius – les émissions sont nulles, à concurrence de deux kilomètres parcourus à 50 km/h. Ajoutons que ses émissions de particules (PM) – grand défaut et désavantage des voitures « diesel » – sont évidemment nulles.

La Prius émet peu de gaz à effet de serre. Avec son taux de CO₂ de seulement 89 g/km (et zéro émission en mode électrique EV, jusqu'à 50 km/h), elle est très en avance sur les futurs engagements concernant le dioxyde de carbone (CO₂), même sur ceux fixés à l'échéance 2012 (130 g/km).

La puissance du système hybride augmente de 22 % par rapport à celui de la précédente génération de Prius, passant de 110 à 136 ch. Capable de rivaliser avec toute voiture conventionnelle de 2 litres de cylindrée, la nouvelle Prius accélère de 0 à 100 km/h en seulement 10,4 secondes.

Néanmoins, sa consommation globale d'essence baisse de 14 % par rapport à la version précédente, déjà très économe, ce qui donne un très frugal 3,9 l/100 km, en cycle mixte. De plus, l'augmentation de cylindrée (passée à 1,8 litre désormais) permet d'abaisser le régime moteur à vitesse élevée, ce qui procure une économie de carburant d'environ 10 % sur les longs trajets.

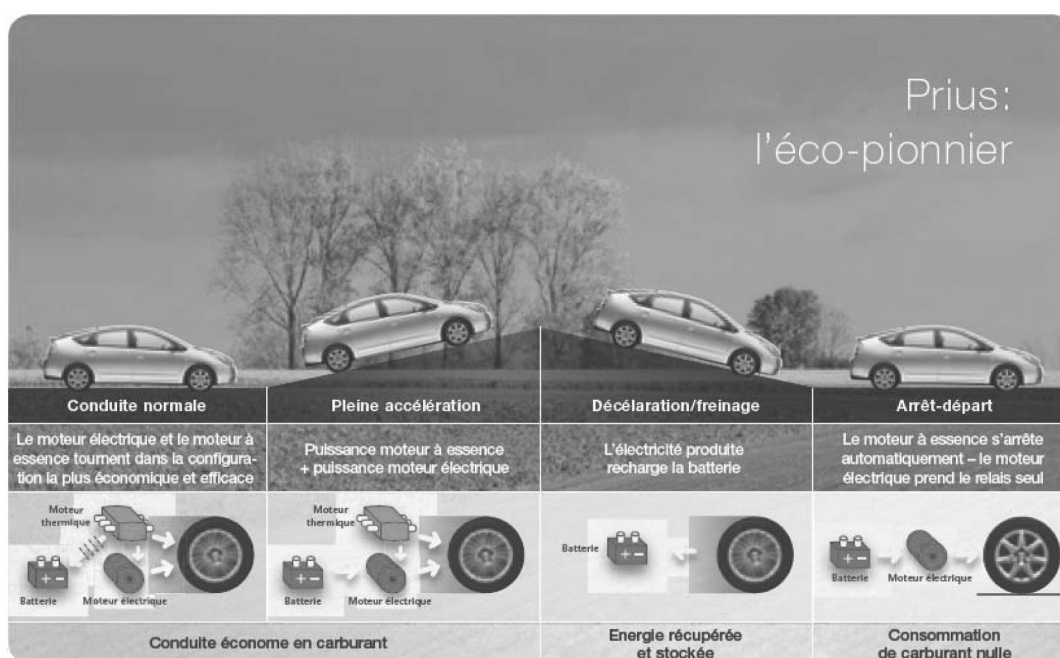


Figure 7 : Mode de fonctionnement de la Prius.

Les organes du système Hybrid Synergy Drive®

Contrairement aux hybrides « en parallèle » (dits aussi *mild*, pour « semi-hybrides », qui emploient leur moteur électrique à simple titre d'appoint au moteur thermique), ou encore aux hybrides « en série » (chez lesquels l'entraînement des roues est assuré par la seule énergie du moteur électrique), la Prius est une voiture totalement hybride (*full hybrid*), capable de fonctionner seulement en mode électrique ou uniquement en mode thermique, ou bien encore, en associant les deux.

L'Hybrid Synergy Drive® cumule les avantages d'un hybride « en série » (sur le plan des économies d'énergie) et ceux d'un hybride « en parallèle » (sur celui des performances). Il procure une accélération progressive impressionnante et un silence de fonctionnement remarquable, tout en affichant une sobriété exemplaire et des émissions minimales.

Ce système hybride « série/parallèle » de nouvelle génération se compose d'un moteur à essence de 1,8 litre, d'un moteur électrique puissant, d'un générateur, d'une batterie hautes performances, d'une électronique de puissance et d'un répartiteur de puissance. Par l'intermédiaire d'un train épicycloïdal, ce répartiteur de puissance collecte, puis redistribue la puissance émise par le moteur thermique et/ou le moteur électrique alimenté par le générateur, en fonction des besoins d'utilisation.

Le moteur à essence à cycle Atkinson

Le nouveau moteur à essence 4 cylindres de 1,8 litre, à cycle Atkinson, développe une puissance de 98 chevaux à 5 200 tr/min et un couple de 142Nm à 4 000 tr/min. Il fournit un couple plus important à un moindre régime qu'un moteur classique (300 tr/min de moins, à 120 km/h). Grâce à cela, son fonctionnement est très silencieux et la consommation est réduite de 10 % sur les longues distances.

Un moteur électrique de 60 kW

Rappelons que le moteur électrique de la Prius travaille en tandem avec le moteur thermique pour renforcer l'accélération, et entraîne à lui seul les roues lorsque le véhicule fonctionne en mode tout électrique EV. Ce nouveau moteur électrique de 60 kW (81ch) gagne 20 % en puissance et 33 % en compacité par rapport à celui de la précédente version de la Prius.

En décélération et au freinage, le moteur électrique se comporte comme un générateur de forte puissance, optimisant la gestion de l'énergie au sein du Hybrid Synergy Drive® : il récupère l'énergie cinétique (per-

due sous forme de chaleur, avec les véhicules classiques), en phase de freinage et de décélération, et la stocke sous forme d'énergie électrique dans la batterie hautes performances.

L'électronique de puissance

L'électronique de puissance de l'Hybrid Synergy Drive® est constituée d'un convertisseur haute tension, d'un inverseur et d'un convertisseur CC-CC (courant continu- courant continu) gérés par un calculateur de moteur électrique commandé par le calculateur du système hybride.

Une batterie de forte puissance

La batterie Hybrid Synergy Drive® à technologie nickel métal hydrure (Ni-MH), une technologie fiable qui a fait ses preuves, voit sa puissance maximale passer à 27 kW/37ch (soit un gain de + 2 kW), ce qui permet à la nouvelle Prius de rouler en mode tout électrique, pour l'utilisation en ville (EV).

Au choix, trois modes de conduite possibles

En complément de sa transmission électronique intelligente « e-AT », la nouvelle Prius propose, au choix, trois modes de conduite favorisant les performances routières et les économies de carburant.

Au démarrage et jusqu'à la vitesse de 50 km/h, la nouvelle Prius fonctionne automatiquement en **mode EV**, c'est-à-dire en recourant au seul moteur électrique. Mais le conducteur peut aussi sélectionner, manuellement, le mode EV (une option qui n'existe pas sur les véhicules semi-hybrides, et que seule la technologie hybride totale de l'Hybrid Synergy Drive® rend possible). Ce mode EV permet de rouler en ville de façon très silencieuse et sans émissions, l'autonomie dépendant uniquement du niveau de charge de la batterie. Le moteur thermique étant coupé durant son fonctionnement, ce mode de conduite électrique joue un rôle important dans la faible consommation de la nouvelle Prius.

Le mode ECO limite la réponse du papillon d'injection des gaz à d'éventuelles pressions agressives sur la pédale d'accélérateur et, par ailleurs, il régule la climatisation. Selon les conditions de conduite, il permet une économie significative de carburant.

Le mode POWER modifie également la réponse des gaz de la Prius, mais en stimulant cette fois-ci la puissance, afin d'intensifier l'accélération et le plaisir de conduite.

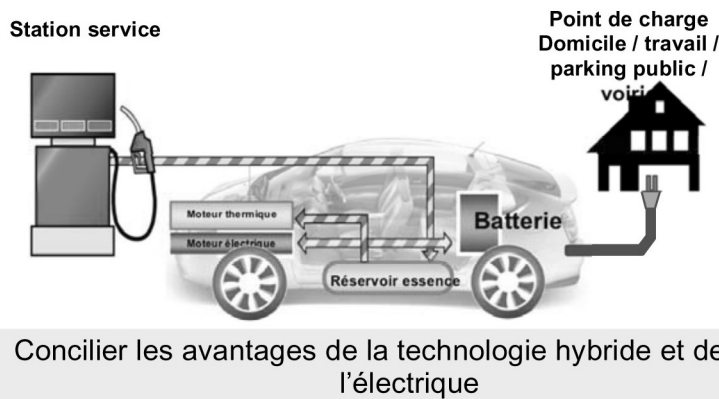


Figure 7 : Mode de fonctionnement de la Prius.

L'Eco Drive : une aide à la conduite économe

Reposant sur l'affichage de quatre paramètres, l'aide à la conduite économe « Eco Drive » permet au conducteur de maximiser la sobriété du système Toyota Hybrid Synergy Drive®.

Un suivi énergétique affiche en temps réel les conditions de fonctionnement du moteur thermique et la circulation de la puissance électrique. Il aide ainsi le conducteur à comprendre les flux énergétiques de base au sein du groupe hybride.

Un indicateur de système hybride matérialise, en temps réel, l'usage de l'accélérateur pour aider le conducteur à doser son action sur la pédale, et à adapter son style de conduite afin d'optimiser le rendement de la voiture.

L'HYBRIDE RECHARGEABLE

Testé à la fin 2009 sur les routes de France, notamment à Strasbourg avec EDF, le Véhicule Hybride Rechargeable (VHR) de Toyota constitue une nouvelle étape vers la mise au point de l'éco-voiture ultime. Le VHR peut se recharger pendant la conduite, comme un hybride normal, en profitant du freinage et de la décélération, mais son propriétaire peut aussi le brancher sur le réseau électrique au moyen d'une prise standard, à la maison, au travail ou sur une borne prévue à cet effet. La durée de la recharge de la batterie est comprise entre une heure et demie et deux heures. Comparé à la Toyota Prius hybride, le VHR fonctionne plus souvent en mode tout électrique (sans consommation d'essence). Il coûte donc moins cher à l'usage et génère moins de CO₂, en particulier lorsque l'électricité est produite à partir de sources d'énergie renouvelables.

Tout l'enjeu, pour une large diffusion de cette voiture, réside dans le développement des batteries.

Le nouveau Département Batteries de notre centre de R&D coopère actuellement avec Panasonic EV Energy

en vue de mettre au point des batteries lithium-ion plus performantes.

EDF et Toyota ont également développé un système de charge et de facturation intelligent, dont sont équipés les prototypes actuellement testés. Ce système est compatible avec la nouvelle génération de bornes de charge conçues pour rendre l'énergie électrique plus accessible sur le réseau routier et les parkings publics, et réduire le coût de l'électricité livrée au client pour cet usage.

Dès la fin 2009 et pour une durée de trois ans, environ 150 VHR nouvelle génération, équipés de batteries lithium-ion, seront proposés en location à des entreprises, ainsi qu'à des partenaires institutionnels de la région de Strasbourg.

Pour Toyota, ce programme s'inscrit dans le cadre d'un projet mondial, qui sera également déployé au Japon et aux Etats-Unis, à partir de la fin 2009. L'objectif principal de Toyota est d'accélérer l'étude de la technologie et des performances des véhicules hybrides rechargeables. Pour EDF, il s'agit d'évaluer différentes solutions opérationnelles concernant l'infrastructure de recharge des batteries des véhicules. L'enjeu, commun à EDF et à Toyota, est d'élargir la compréhension et l'acceptation des consommateurs, en vue de préparer une large commercialisation de ce type de véhicule dans le futur.

EN CONCLUSION

Pour assurer la pérennité de notre entreprise, le Président de Toyota exprime la vision de notre avenir par ces mots : « *Je rêve que nous parvenions à produire des voitures idéales, qui purifient l'air en roulant et ne provoquent plus aucun accident* », poussant même le concept jusqu'à « *des voitures améliorant notre santé, à mesure que nous les conduisons* » !

Nous avons présenté il y a peu notre Vision globale 2020, vision d'entreprise qui intègre les nouvelles données de notre environnement et les défis que nous

devons relever : les cycles de l'industrie sont étroitement liés à ceux de la nature, et nous souhaitons jouer un des tous premiers rôles en promouvant le développement d'une industrie, qui soit « en harmonie avec le cycle de la nature ».

Trois grands objectifs principaux, sont pour nous à l'ordre du jour :

- Étendre notre recherche et développement au-delà de la recherche traditionnelle industrielle automobile (notamment à la biologie, à la médecine, à la physico-chimie et à l'intelligence artificielle) ;
- Prendre une position de leader dans l'homogénéisation des cycles de l'industrie et de la nature, en utilisant des technologies issues de l'activité automobile : l'hybridation, les systèmes d'aide à la conduite ou de mobilité dans la ville, l'interface entre les hommes et les infrastructures, et le développement des Systèmes de Transport Intelligent (ITS) ;
- Développer l'assistance à l'humain, avec la robotisation, le développement de nouvelles générations de batteries, la biotechnologie et les biocarburants de nouvelle génération.

La voiture électrique, nouvel axe des politiques industrielles

LES STRATÉGIES DES ACTEURS

Entre 1895 et 1914, une effervescence inventive agite l'industrie naissante de l'automobile. A plusieurs égards, elle ressemble à celle qui agite aujourd'hui un monde de l'automobile, en pleine crise. Mais, dans une vingtaine d'années, les vainqueurs de la compétition en cours pourraient être tout autres que ceux sortis victorieux de la précédente...

par **Grégoire POSTEL-VINAY***

Transportons-nous au 19^e siècle. D'un côté, nous avons les véhicules électriques : partis longtemps avant les moteurs thermiques (dès 1840), ils connaissent, à la fin du 19^e siècle, des progrès fulgurants. Chasseloup Laubat atteint les 63km/h le 18 décembre 1898, aussitôt dépassé, le 17 janvier, par Jenatzy, avec 66,66 km/h. Le jour même, il reprend la main, en atteignant les 70,3 km/h. Le 27 janvier, Jenatzy en est à 80 km/h. Le 4 mars, Chasseloup Laubat reprend l'avantage, avec 92,78 km/h, sur une Jeantaud profilée. Le 1^{er} mai, Jenatzy pulvérise le précédent record : il est le premier au monde à franchir la barre des 100 km/h avec un véhicule automobile, atteignant 105,88 km/h, sur un km lancé, couvert en 34 secondes, soit à environ 120 km/h en vitesse de pointe, (près du double du record battu cinq mois plus tôt) et avec un temps de 47 secondes et quatre cinquièmes sur un km, départ arrêté. En 1904, on dépasse aux Etats-Unis les 100 miles/h. Simultanément, les métros et les tramways, ainsi que des taxis électriques, se développent (réduisant du même coup la pollution urbaine). En 1914, un tiers des voitures produites en Amérique sont des véhicules électriques.

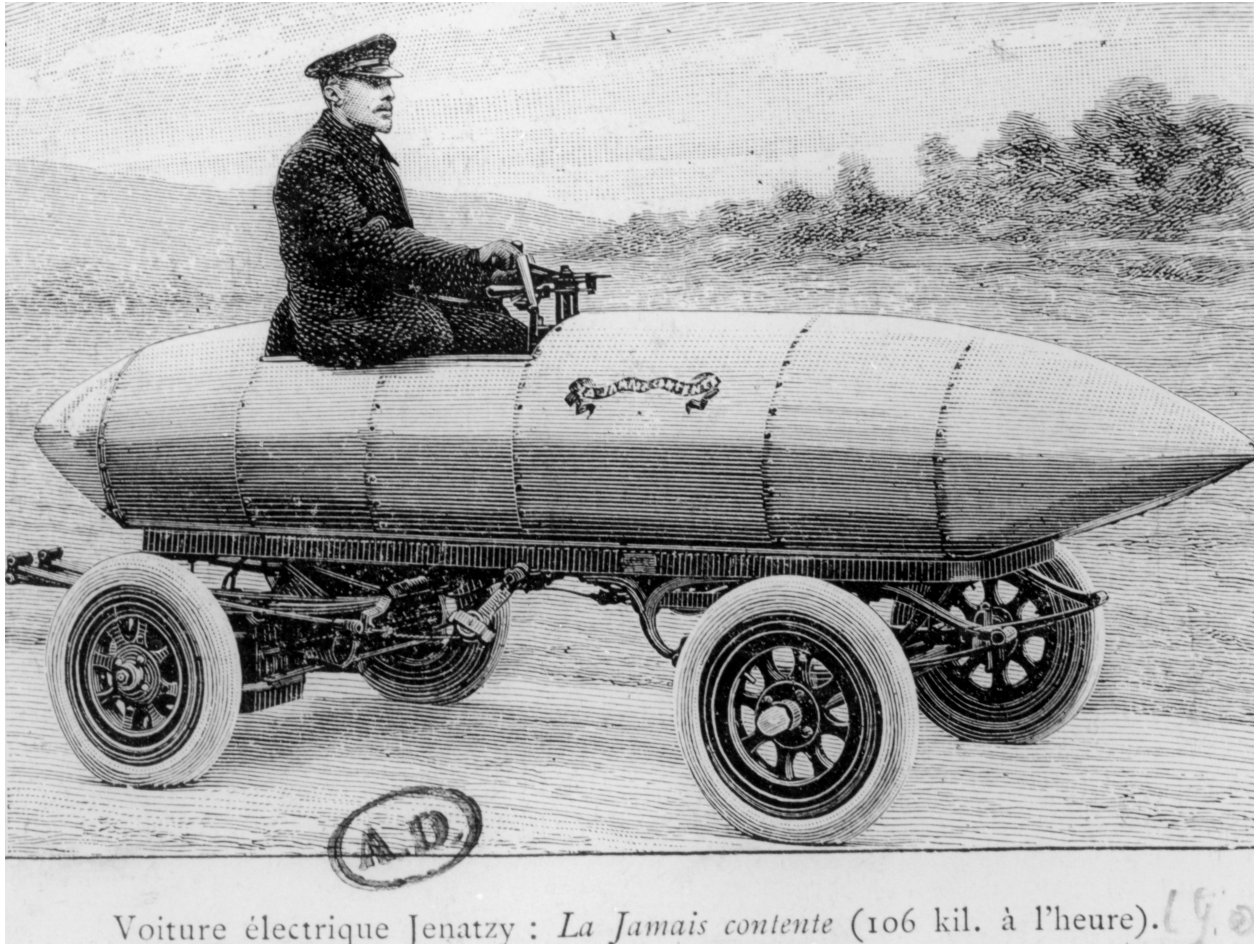
Face aux véhicules électriques, les voitures à moteurs thermiques ne sont pas en reste : dès 1895, Panhard, Benz, Peugeot trouvent dans l'aristocratie des adeptes de ce mode de transport. Et, en Europe, tout d'abord, puis aux Etats-Unis, le moteur à explosion supprime le

moteur électrique pour la propulsion automobile : c'est à des Nikolaus Otto, Etienne Lenoir, Rudolf Diesel et autre Conrad Schlumberger que l'on devra l'essentiel de cette expansion. Le motif en est simple : le pétrole devient abondant et peu cher, alors que les batteries ne progressent guère, limitant tant l'autonomie que la puissance des véhicules électriques par rapport à celles des véhicules à essence, dont la densité énergétique est plus élevée de deux ordres de grandeur. Cela se traduit dans les courbes de production de ces véhicules.

Le rêve du véhicule électrique se poursuit, cependant, avec quelques soubresauts : au début de la Seconde guerre mondiale, la pénurie de carburants suscite, un bref instant, un regain d'intérêt pour les véhicules électriques, mais ceux-ci seront vite supplantés par des voitures à gazogène. En 1968, on songe à un véhicule électrique, pour une personne, avec une autonomie de 200 kms.

A la fin des années 80, mais surtout après la première guerre d'Irak (1991), le véhicule électrique recommence à faire l'objet en France d'un certain intérêt (bien que distant) de la part de la puissance publique. Quelques bornes électriques de recharge sont installées dans les parkings publics, ce qui est une condition nécessaire mais non suffisante à leur développement. Celui-ci

* Direction Générale de la Compétitivité, de l'Industrie et des Services – Ministère de l'Economie, de l'Industrie et de l'Emploi (DGCIS-MinEIE).



© Archives Charmet/THE BRIDGEMAN ART LIBRARY

« La Jamais Contente » : 106 km/h en 1899 ! *Gravure, vers 1900.*

commencera à partir de 1995. En Europe, fin 2006, 11 000 véhicules électriques circulent, dont 8 000 en France (5 000 d'entre eux étant des voitures électriques appartenant principalement aux flottes automobiles d'EDF et de La Poste, mais l'on relève également un début d'utilisation par des particuliers).

Quatre déclencheurs, quasi simultanés, vont conduire à un changement d'ampleur dans les ambitions, au cours de la seconde moitié de la décennie 2000 :

- La seconde guerre d'Irak (2003) et le choc pétrolier qui s'ensuit : ces deux événements mettent en évidence

le risque résultant d'une insuffisante sécurité des approvisionnements, qui obère le pouvoir d'achat des ménages et fait plonger le déficit commercial (pour la France, la facture pétrolière de 2008 atteint 59,4 G€ (1) ; 45 % de cette facture sont liés à la consommation des transports routiers ; si 2008, avec une croissance d'un tiers de cette facture, apparaît atypique, la tendance sur la longue période est, en revanche, à une crois-

(1) http://lekiosque.finances.gouv.fr/APPCHIFFRE/Etudes/thematiques/A2008_energie.pdf

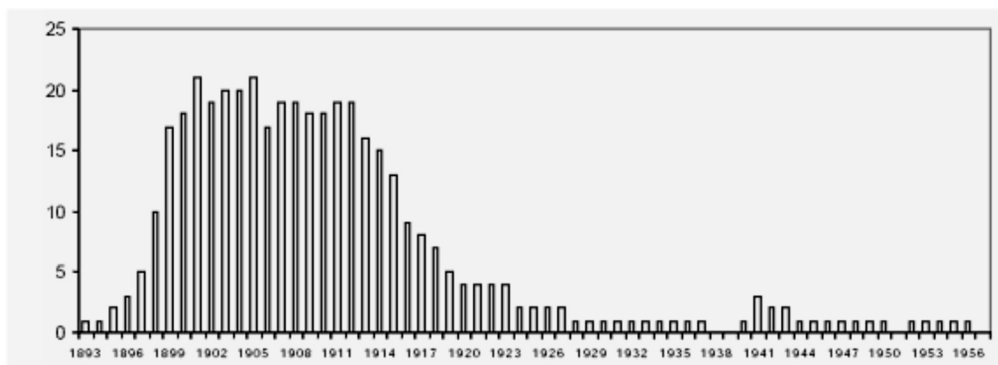


Figure 1 : Evolution du nombre de constructeurs de véhicules électriques (1893-1956) (in Midler et Beaume, actes du Gerpisa, *op. cit.*).

sance forte (2)). *Mutatis mutandis*, des problèmes comparables se posent à un grand nombre de pays de l'OCDE.

- La sensibilité accrue des populations aux risques liés à l'effet de serre : 13 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le monde sont liées aux transports (doublement en une génération). Le pourcentage est de 22 % dans l'Union européenne et atteint 33 % en France (du fait du parc de centrales nucléaires, qui permet de réduire davantage les émissions liées aux consommations d'énergie dans des secteurs autres que le transport). Avec environ 130 millions de tonnes de CO₂, le secteur routier est ainsi, en France, le secteur qui émet le plus de gaz à effet de serre. Les engagements pris par le Conseil européen, le 12 décembre 2008, de réduire de 20 % les émissions de l'Union d'ici 2020 seront hors d'atteinte si l'on n'agit pas sur cette composante. Cela passe à la fois par l'amélioration des performances des véhicules thermiques et par le développement des usages électriques (pur ou hybride), tout en développant les sources d'électricité peu génératrices d'effet de serre, tant en France qu'au sein de l'Union européenne. Il faudrait réduire de 40 % les émissions de GES des véhicules neufs, en moyenne, d'ici 2020, pour tenir les objectifs fixés par le Conseil européen, compte tenu de l'inertie du parc existant. S'il est trop tôt (à l'heure où est écrit cet article) pour prévoir les résultats du sommet de Copenhague, l'on peut s'attendre à ce que, tant en Chine qu'aux Etats-Unis, ce sommet débouche sur des actions volontaristes visant à réduire les émissions de GES causées par l'automobile : une « croissance zéro » des émissions en Chine, dans un contexte de croissance économique historique de l'ordre de 6 % chaque année et, cela, sur 20 ans (sans revenir, toutefois, à la croissance « à deux chiffres » que la Chine a connue ces dernières années), implique que des moyens considérables soient mis en œuvre, d'ici à 2020. Et l'annonce faite par les Etats-Unis, lors du sommet des 17 économies majeures sur l'énergie et le climat de mai 2009, d'une réduction de l'ordre de 5 % des émissions par rapport à leur niveau de 1990 ou de 17 % par rapport à 2005, correspond à une inflexion très réelle de la politique suivie jusqu'à ce jour par ce pays (même si cette annonce est jugée insuffisante par les Européens et si, au moment où cet article est écrit, sa confirmation par le Sénat des Etats-Unis reste pendante).

- La crise de l'automobile, faisant suite à la crise financière mondiale : celle-ci conduit les constructeurs à rechercher des soutiens auprès des pouvoirs publics, lesquels vont, aux Etats-Unis, en Allemagne et en France, réagir positivement, tout particulièrement en ce qui concerne les investissements jugés porteurs d'avenir, c'est-à-dire répondant aux deux enjeux rappelés plus haut ; concomitamment, l'affaiblissement du pouvoir d'achat des populations les plus directement frappées par la crise (en particulier dans les banlieues lointaines non desservies par des transports en commun) conduit à rendre plus attractifs des véhicules, dont les coûts

d'utilisation sont jugés relativement peu dépendants de ceux du pétrole.

- Le développement économique des pays émergents (d'Asie, notamment) : il a pour conséquence que la croissance de la demande automobile au niveau mondial est désormais, pour l'essentiel, le fait de ces pays. Or, le Gouvernement chinois, par exemple, affiche une volonté claire de faire à moyen-long terme du véhicule électrique une composante importante de son parc automobile. Pour les grands constructeurs, ne pas prendre en compte cet enjeu reviendrait à se condamner au déclin. Ainsi, Dassault, Heuliez et le Ministère des Sciences et de la Technologie chinois (MoST) ont signé, dès janvier 2004, un premier accord de coopération dans le domaine du développement du véhicule électrique. Bolloré se lance dans un projet analogue. Aux Etats-Unis, l'EV1, de General Motors, a connu des déboires (relatés par le film « *Who Killed the Electric Car ?* », sorti en fin 2006). Au Japon, en revanche, Toyota réussit sa percée, en lançant sur le marché un véhicule hybride. A partir de 2007, et surtout en 2008 et 2009, se multiplient les rapports et les propositions (3) engageant les principaux constructeurs et les gouvernements (cf. tableau 1).

Ces rapports s'accompagnent de réalisations concrètes, tout en ayant à résoudre des problèmes identifiés de longue date et à y apporter des réponses innovantes. Ces problèmes concernent principalement :

A) Les batteries : capacité, rareté des matières premières nécessaires à leur fabrication (pour certaines d'entre elles), puissance de pointe encore insuffisante, nombre de cycles avant leur obsolescence trop faible, coût, rapidité des recharges ou des échanges, températures de fonctionnement. Des solutions innovantes doivent être trouvées pour remédier à ces problèmes.

B) Les équipements (publics et privés) permettant la recharge des batteries dans des conditions sûres. Il s'agit de passer à un niveau sensiblement supérieur aux quelques prises disponibles dans des parkings, qui étaient jusqu'à ce jour réservées à des marchés de niche. L'investissement, qui peut être considérable, requiert un modèle économique dépendant du coût du CO₂ et des externalités positives à attendre de ce type de déve-

(2) Les bilans et factures énergétiques de la France depuis 1996 *DGEC - SoeS* <http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/bilans-factures.htm>

(3) Sans prétendre à l'exhaustivité :

From technology competition to reinventing individual mobility for a sustainable future : challenges for new design strategies for electric vehicle, Christophe Midler et Romain Beaume, Ecole Polytechnique, actes du Gerpisa ; *Le véhicule grand public d'ici 2030*, Jean Syrota, Romain Beaume, Jean Loup Loyer, Hervé Pouliquent, Denise Ravet, Philippe Rossinot, Centre d'analyse stratégique (septembre 2008) ; « De la voiture à la mobilité dans le futur », Gabriel Plassat, ADEME 2009 ; « Développer les éco-industries en France » rapport du BCG pour le MinEIE, sous la direction de G. Postel-Vinay et Ivan Faucheux, décembre 2008 (volet véhicule décarboné) ; http://www.minefe.gouv.fr/presse/dossiers_de_presse/081202ecotech2012/som_081202ecotech2012.php Travaux en cours sur la prospective automobile, BIPE pour DGCIS, mai 2009, et sur la mobilité économe, CAS ; <http://wiki.admi.net/cgi-bin/wiki?ElectricCar>

Véhicule	Constructeur	Date de distribution
Electrique	Tesla (Californie, haut de gamme)	2008
	Mitsubishi (et coopération PSA)	2009 à 2011 selon les Etats (4)
	Renault-Nissan	2010 à 2012 selon les Etats (5)
	Bolloré	2010
	Dassault	
	Heuliez	Fin 2010 si reprise
	Subaru	2010
	Mercedes & Smart	2010
Hybride rechargeable (VE à complément thermique)	Toyota	2010
	Volkswagen	2010
Hybride (V Thermique à complément électrique)	BMW	2010
	Mercedes	2010

Tableau 1 : Des engagements concrets des constructeurs, pour les trois années à venir (2010-2012).

loppement (réduction des cancers liés aux particules fines, balance du commerce extérieur, pouvoir d'achat des ménages, indépendance géopolitique, réduction de la pollution sonore (dans une certaine mesure), résilience du secteur automobile par rapport à d'éventuels chocs énergétiques ou économiques) ;

C) Les problèmes de normalisation (notamment pour les recharges, et ce, alors même que de multiples solutions, extrêmement diversifiées, sont actuellement en concurrence à l'échelle mondiale) ;

D) La compétitivité par rapport aux autres solutions (à commencer par les véhicules thermiques, qui conservent d'importantes marges de progrès) ;

E) La taille critique des marchés permettant de lancer une capacité de production, qui soit d'un dimensionnement compatible avec la contrainte de compétitivité par rapport à d'autres types de véhicules ;

F) L'évolution vers des modes différenciés d'usage des véhicules, avec notamment le développement de véhicules individuels spécifiquement urbains ;

G) La constitution de chaînes de valeur dans lesquelles une part suffisamment significative de la valeur ajoutée et des emplois se trouvent localisés sur le territoire national (ce qui suppose d'être réactifs et innovants), évolution qui soit susceptible de représenter une alternative partielle à celles des véhicules thermiques (lesquels resteront dominants, à l'échéance 2030, en raison de la lenteur du renouvellement du parc automobile) ;

H) L'optimisation de la politique énergétique, en tenant compte de l'évolution de la nature de la demande, si l'émergence du véhicule électrique est effective.

(4) Le Gouvernement français veut favoriser les infrastructures de recharge pour les véhicules électriques et hybrides (Actu-Environnement.com – 18/02/2009)

http://www.actu-environnement.com/ae/news/jouanno_chatel_groupe_travail_recharge_vehicules_decarbonnes_6754.php4

(5) Enquête globale des transports, 2005, selon BCG.

Pour le point A (les batteries), on se reportera au tableau 3 résumant leurs principales caractéristiques, qui ont fait jusqu'ici privilégier les batteries Lithium-ion (leur performance en termes de nombre de cycles de recharge s'est encore accrue depuis l'élaboration de ce tableau). A noter qu'une équipe du MIT a tout récemment réalisé une percée en matière de réduction de la durée de charge. S'agissant de l'accès au lithium (un métal), les ressources exploitables sont de deux natures différentes :

- d'une part, des pegmatites à minéraux de lithium, qui, à l'exception des pegmatites de Tanco (au Canada) ou SoG (en Australie), se trouvent dans de petits gisements. Ces minéraux servent à l'industrie du verre ou de la céramique, mais pas à la production de l'oxyde de lithium-cobalt (LiCO) destiné aux batteries ;
- et, d'autre part, des salars à saumures, que l'on trouve dans de rares régions arides du monde (au Chili, en Argentine, en Bolivie, aux Etats-Unis et au Tibet). Ils servent à produire le carbonate de lithium. Quatre salars sont exploités dans le monde ; actuellement, de nouveaux projets d'exploitation de ces gisements se font jour au Chili, en Argentine, en Chine. Ce dernier pays annonce une capacité importante de production de LiCO, de l'ordre de 45 000 t/an au Tibet, en 2010. Un opérateur français s'est récemment intéressé à la Bolivie, concurrentement à la Chine et au Japon (cf. tableau 2).

Sur les points B et C (équipements de recharge et normalisation), les Etats généraux de l'automobile, qui se sont tenus le 20 janvier 2009, ont conduit à installer un groupe de travail chargé d'élaborer la stratégie nationale de développement des infrastructures de recharge nécessaires aux véhicules électriques et hybrides, d'ici à 2012, et, donc, de déterminer les conditions de mise en place de bornes de recharge (ou de stations d'échange de batteries) tant dans des espaces publics que dans des espaces privés.

	Plomb	Ni-Cd	Ni-MH	ZEBRA	Lithium-phosphate	Li-ion	Lithium-polymère
Energie spécifique (Wh/kg)	30-50*	45-80	60-110	120	120-140	150-190	150-190
Densité d'énergie (Wh/litre)	75-120	80-150	220-330	180	190-220	220-330	220-330
Puissance en pointe (W/kg)	Jusqu'à 700		Jusqu'à 900	200	Jusqu'à 800	Jusqu'à 1500	Jusqu'à 250
Nombre de cycles	400-600 ¹ 1200 ²	2000	1500	800	> 2000	500-1000	200-300
Autodécharge par mois	5 %	20 %	30 %	12% par jour	5 %	10 %	10 %
Tension nominale d'un élément	2 V	1,2 V	1,2 V	2,6 V	3,2 V	3,6V	3,7V
Gamme de température de fonctionnement	-20°C à 60°C	-40°C à 60°C	-20°C à 60°C	-20°C à 50°C	-0°C à 45°C (charge) -20°C à 60°C (décharge)	-20°C à 60°C	0°C à 60°C
Avantages	Faible coût	Fiabilité, performance à froid	Très bonne densité énergétique	Très bonne densité énergétique, bonne cyclabilité	Très bonne densité d'énergie, sécurité, coût, cyclabilité	Excellente énergie et puissance	Batteries minces possibles
Inconvénients	Faible énergie, mort subite	Relativement basse énergie, toxicité	Coût des matériaux de base, danger en cas de température élevée	Puissance limitée, auto-consommation	Charge à température positive	Sécurité des gros éléments, coût	Performance à froid, coût
Coûts indicatifs (€/kWh)³	200 à 250 ¹ 200 ²	600	1500 à 2000	800 à 900	1000 à 1800	2000	1500 à 2000

Source : « le stockage électrochimique », dossier de l'ADEME, 2005 (Virginie SCHWARZ - Bernard GINDROZ)
Données techniques partiellement actualisées à 2007

* Les chiffres extrêmes des fourchettes correspondent à des tailles différentes d'éléments (les gros éléments ayant en général des énergies plus élevées) ou à des conceptions pour des applications différentes.
(1) conception étanche
(2) conception tubulaire
(3) par kWh de capacité de la batterie et pour les volumes actuels de production

Tableau 2 : Comparaison entre les caractéristiques techniques des différents types d'accumulateurs.

Cette orientation s'inscrit en cohérence avec le plan de développement de véhicules dé-carbonés, doté de 400 M€ de financements publics d'ici à 2012 pour la R&D des véhicules électriques et hybrides rechargeables, et avec les activités des Pôles de compétitivité « Mobilité et transports avancés » et « Véhicule du futur ». Ce plan prévoit également des mesures visant à mettre en place l'infrastructure nécessaire à la recharge des véhicules : la construction de nouveaux bâtiments pourraient ainsi intégrer d'emblée des prises électriques adéquates. Participent à ce travail les principales parties prenantes : distributeurs d'énergie, constructeurs automobiles, élus locaux, entreprises du BTP, gestionnaires de parkings, représentants des grandes surfaces commerciales.

Le même groupe doit traiter le point relatif aux normes et aux standards (point C) concernant l'ensemble du réseau, ainsi que la question de la mise en place d'un plan de développement économiquement viable. Ses conclusions sont attendues durant l'été 2009, ce qui permettra pour les textes réglementaires requis, une entrée en vigueur dès le 1^{er} janvier 2010 (6).

Les points D et E (compétitivité par rapport aux autres solutions et taille critique des marchés) sont, au premier chef, l'affaire des constructeurs eux-mêmes. Mais compte tenu de leur interférence avec la gestion de l'es-

pace public, il faut une vision partagée avec l'Etat et nombre de collectivités régionales ou locales.

En pratique, quelques exemples peuvent être cités :

- La Chine compte environ 40 millions de véhicules, chiffre qu'elle envisage de quintupler d'ici à 2020, et compte tenu de la ponction sur les ressources énergétiques mondiales que cela représenterait, elle souhaite que la moitié de son parc fonctionne avec des énergies nouvelles en 2020 : cela fait de la Chine le marché du véhicule électrique potentiellement le plus dynamique au monde. L'investissement dans les batteries remonte au minimum à 1990, surtout dans le cadre des technologies de l'information, mais il est en train d'évoluer vers la satisfaction de la demande automobile, au travers du plan quinquennal 2006-2010. En Chine, l'achat de véhicules électriques est subventionné : ces derniers ont fait l'objet de campagnes de promotion durant l'été 2008, à l'occasion des Jeux Olympiques de Pékin. Parmi les constructeurs de moteurs électriques chinois, on peut citer la *Shanghai Automobile Industry Corporation*, la *Shanghai Fuel Cell Vehicle Powertrain Company*, ainsi que l'Université de Tongji (à Shanghai).

(6) http://www.challenges.fr/entreprises/20090302.CHA1598/mitsubishi_et_psa_se_lancent_dans_lelectrique.html

- Le Gouvernement allemand a réuni, fin 2008, quelque 400 experts chargés de définir des objectifs : il est parvenu à un chiffre de l'ordre du million de véhicules électriques en circulation en 2020 et de 5 millions en 2030, avec, pour ambition, le leadership mondial en matière d'électro-mobilité. Des projets pilotes sont soutenus dans le cadre d'un programme associant les différents ministères concernés, sous l'égide du ministère de la Recherche et de la Technologie (*Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie – BMWi*).
- Renault a pour la France des objectifs voisins de ceux retenus en Allemagne (les groupes de travail évoqués précédemment seront sans doute en mesure d'affiner les chiffres). PSA a relancé, en 2007, son activité dans les véhicules électriques, où il était leader en Europe, et il prévoit, par ailleurs, d'atteindre en 2020 le million de véhicules à hybridation légère.
- Une mission, confiée à Jean-Paul Bailly, président de La Poste, conduit à donner de la visibilité à la filière. Cela passe par les commandes, d'ici à la fin de l'année, de grandes entreprises (dont la Poste, EDF, France Télécom et GDF Suez), en vue de la constitution d'une flotte de 100 000 véhicules tout électrique, au cours des cinq années à venir.
- La ville de Paris développe, quant à elle, « l'Autolib », qui doit mettre à la disposition des usagers, d'ici à 2010, 4 000 véhicules (dont la moitié dans Paris intramuros), avec 1 400 stations de recharge, pour un abonnement compris entre 15 et 20 €/mois et un coût de 4 à 5 € par demi-heure d'utilisation.
- A côté de ces grands opérateurs, d'autres entreprises se lancent : Heuliez, avec l'Heuliez Friendly, dont la mise sur le marché est prévue pour 2010 (si la solidité financière de l'entreprise est assurée) ou la WILL, en partenariat avec Michelin et son concept de moteur-roue, ou encore Bolloré, avec la Bluecar. Matra Sport commercialise les véhicules électriques de Chrysler en France (GEM), ainsi que des vélos à assistance électrique. Venturi et PSA développent une version électrique de la Berlingo. Venturi développe aussi l'Eclectic, un quadricycle lourd urbain, et la Fetish, une voiture de sport (dans le même esprit que la Tesla). Les constructeurs Fam Automobiles, Ligier et Microcar ont eux aussi des projets (cette liste déjà conséquente n'est pas exhaustive : elle ne donne qu'une simple idée du foisonnement des projets).
- S'agissant des batteries, Saft et Johnson Controls ont créé une *joint-venture*, dont l'usine de Nersac (Charente) comporte la première ligne de production de batteries Lithium-ion au monde (cette *joint-venture* a noué un partenariat avec le constructeur automobile BMW).
- Le Gouvernement français, quant à lui, s'est fondé, pour arrêter sa stratégie, sur une mission d'analyse, dont le rapport, remis en décembre 2008, présentait l'impact du véhicule électrique sur l'emploi en France, en envisageant différents scénarios de développement.
- Au Japon, Toyota, leader mondial, développe principalement des hybrides. Nissan envisage d'en commer-

cialiser, en 2010. Fuji Heavy Industries, Takeoka et Matsushita sont très actifs, ce dernier ayant conclu un partenariat avec PSA (sur l'i-Miev). Le Gouvernement japonais subventionnera le développement des batteries à hauteur de 42 M€ par an dans le cadre d'un programme devant se poursuivre jusqu'en 2020. Le METI (*Ministry of Economy, Trade and Industry*) a regroupé également un consortium de 13 entreprises et de 11 laboratoires de recherche pour travailler sur le sujet, de façon comparable, *mutatis mutandis*, à ce que font les pôles de compétitivité français.

- Aux Etats-Unis, la loi « *Corporate Average Fuel Economy* », adoptée fin 2007, prévoit, à compter de 2020, des sanctions financières à l'encontre des industriels de l'automobile produisant des véhicules gros consommateurs de carburant. Des subventions d'un montant de 90 M\$ sont accordées, sur la période 2008 – 2012, par le Département de l'Energie, dans le cadre de la recherche sur les hybrides rechargeables et sur les véhicules électriques. Des garanties de prêts sont accordées pour financer la réalisation d'infrastructures servant aux véhicules électriques ou la fabrication de batteries Lithium-ion. La Californie fait un effort réglementaire particulier, *via* le *California Air Resource Board* (organisme californien de surveillance de la qualité de l'air). Le salon automobile de Detroit, début 2009, était principalement axé sur le développement de voitures hybrides et électriques par les grandes marques américaines. La restructuration de Chrysler (avec Fiat) correspond à un choix stratégique en faveur de la fabrication de voitures plus petites. Elle ne préjuge pas *a priori* du choix d'un type de motorisation, mais elle pourrait conduire à une certaine proportion de véhicules électriques dans la production. Enfin, trois sociétés nouvelles sont dédiées à ces véhicules : *Fisker Automotive*, *Phoenix Motors* et *Venture Vehicles*. Notons que les fabricants de batteries ont tendance à se regrouper.

Plus généralement, une frénésie d'annonces s'est emparée des constructeurs et des gouvernements, qui veulent tous prendre date sur un marché potentiellement porteur. Simultanément, certains Etats, par-delà les politiques d'incitation par les normes relatives aux émissions ou le coût du CO₂, agissent au moyen de politiques spécifiques visant à faciliter des innovations de rupture, permettant le passage aux véhicules électriques :

- En Californie, la politique ZEV (*Zero Emitting Vehicle*) (1994-2017) : il s'agit de la mise en place de quotas de production de véhicules « zéro émission » (ou à émissions réduites) imposés aux constructeurs et assortis de pénalités en cas de non-réalisation, ainsi que l'incitation au développement d'infrastructures (cf. *hydrogen highway*). Les résultats sont mitigés : certains objectifs ont été fortement revus à la baisse pour 2008-2012.
- En Israël, le programme de « cause nationale » *Better Place* (2012-2015) : il prévoit des investissements massifs sur le réseau d'infrastructures et l'adoption d'une poli-

tique fiscale significative. Cette politique a fait des émules (Danemark, Portugal, Japon, Californie, Australie...).

- En Angleterre, les programmes *Low Carbon Vehicle Innovation Platform* et *Low Carbon Vehicle public procurement*, (2007-2014). Il s'agit d'un ensemble de partenariats privés/publics : R&D, véhicules démonstrateurs et commandes publiques.

Au-delà de ces éléments, l'équation à résoudre est relativement simple : le coût d'un véhicule thermique pour son usager inclut le prix d'achat, la maintenance, l'essence (y compris la taxe intérieure sur les produits pétroliers – TIPP) et, dans le futur, une taxe sur le CO₂. Le coût d'un véhicule électrique, quant à lui, intègre le prix d'achat (en général plus élevé que celui du véhicule thermique, mais pouvant au besoin être réduit par une aide publique tenant compte des externalités positives pour la collectivité), le coût de la maintenance, et celui de l'électricité et de la location des batteries. Les principales questions à résoudre sont donc la réduction du coût des batteries, l'allongement de leur longévité, et la lutte contre l'alourdissement des voitures, constaté depuis le contre-choc pétrolier des années 80, ainsi que contre la multiplication des appareils électriques à bord (tout au moins pour les véhicules d'entrée de gamme). Par ailleurs, il sera nécessaire de fixer une taxation CO₂ à un niveau suffisant, à partir du moment où le marché aura décollé, et de s'assurer que la perte de TIPP ne soit pas compensée par une taxation de l'énergie électrique, tout au moins quand sa production ne génère pas de gaz à effet de serre : une des premières justifications de la TIPP étant précisément de donner un signal sur la rareté d'une ressource non renouvelable et génératrice de gaz à effet de serre, il n'y aurait pas grand sens à taxer surabondamment des ressources énergétiques davantage pérennes et propres, nonobstant la réduction du déficit des finances publiques.

Dans ces conditions, le développement de la filière peut s'effectuer *grosso modo* de la sorte :

- la période 2010-2015 : la croissance sera due principalement à l'auto-partage, à la constitution de flottes d'entreprises, aux livraisons en ville, et à la montée en puissance de la production de véhicules particuliers achetés par des précurseurs (Flins par exemple en produira dès 2012) ;

- la période 2015-2020 : les véhicules particuliers (2^e voitures urbaines et péri-urbaines, hors vacances) se développeront à une plus grande échelle ;

- au-delà, une croissance de véhicules purement urbains et péri-urbains de type *city cars* est envisageable.

Le point F (différenciation des véhicules et notamment développement de véhicules spécifiquement urbains) a été longtemps considéré comme une option non-viable par les constructeurs : les usagers préféreraient un véhicule à tout faire, du type « couteau suisse ». Cependant, des solutions mixtes sont en cours d'expérimentation : location d'un véhicule de plus grande capacité pendant les quelques jours dans l'année où il est requis et, pour les voyages ferroviaires de longue distance, amélioration des services de location à l'arrivée et de logistique, développement de formes d'écotourisme (sans voiture sur les lieux résidentiels)... D'autre part, l'expansion géographique des grandes métropoles accroît, de toutes les façons, l'utilité de véhicules servant à des usages quotidiens sur des trajets relativement courts, qui se situent dans une large mesure dans les limites d'autonomie d'un véhicule électrique, et correspondent à la très grande majorité des kilométrages effectivement parcourus aujourd'hui (voir le tableau 3). A l'horizon 2030, s'agissant de l'Île-de-France, où l'on comptera environ 21 millions de trajets quotidiens, la part de la voiture pourrait être de 68 % (contre 32 % pour les transports en commun). Si la proportion est inverse, en ce qui concerne les trajets internes à Paris, où la couverture des transports en communs est très dense, la part prise par la voiture individuelle dans les transports croît au fur et à mesure que l'on va vers la grande banlieue. En Île-de-France, 98 % des trajets font moins de 30 kms (7). L'alternative, simultanément développée (dans des gammes plus sophistiquées), consiste à produire des véhicules hybrides, pour lesquels il y aura également un marché. A noter, toutefois, que leur contribution à la réduction de l'effet de serre est moindre que celle des véhicules tout électrique, bien qu'elle reste positive.

(7) <http://www.leparisien.fr/automobile/l-irlande-roulera-electrique-avec-renault-nissan-03-04-2009-465937.php>
<http://www.leparisien.fr/economie/des-2011-on-pourra-rouler-en-renault-electrique-21-05-2009-520280.php>

distance au travail – source INSEE Première N° 767 – avril 2001			
catégorie	Nombre d'actifs	Distance moyenne au travail	kilométrage quotidien total
ne changent pas de commune pour aller travailler	9.012.614	7	63.088.298
changent de commune	14.042.588	15,1	212.043.079
changent de département	2.550.650	26,7	68.102.355
changent de région	719.847	56,9	40.959.294
changent de pays	280.896	40	11.235.840
Ensemble	26.606.595	14,9	395428866

Tableau 3 : Les différents trajets domicile-travail effectués par les actifs français en 2001 (source : Insee Première).

Scénarios 2020	Impact valeur ajoutée (M€, en 2020)	Impact emplois directs VE (en 2020)	Impact balance commerciale / an
20 % de VE produits en France, et 20 % des groupes motopropulseurs électriques	678	1000	-420
50 % au lieu de 20 %	3 871	5 300	+ 2 800

Tableau 4.

Le point G (impacts sur le territoire français), le plus complexe dans un contexte particulièrement mouvant, dépend fondamentalement de la réactivité des opérateurs, comme à la fin du XIX^e siècle. L'étude rendue publique en décembre 2008 sur les éco-industries esquisse cependant des estimations pour la France, selon deux scénarios contrastés (voir tableau 4).

S'agissant des coûts et bénéfices des politiques publiques requises, leur chiffrage n'est encore que partiel et présente une forte variabilité selon les nombreuses hypothèses sur l'évolution réelle des prix de l'énergie. Certains ordres de grandeur sont disponibles : des contributions aux infrastructures pour 1,5 G€ cumulées d'ici 2020, un bonus/malus véhicule électrique (VE) de l'ordre de 3,8 G€ (5 000 € pour les 100 000 premiers VE, et - 5 % par an après). D'autres ordres de grandeur (impact sur la TIPP, gains fiscaux et sociaux sur les emplois créés tant pour les VE que pour les infrastructures, gains sur les dépenses de santé, sur l'entretien des bâtiments publics et privés, sur la moindre dépendance géopolitique aux hydrocarbures, gains macroéconomiques liés à la réduction du déficit commercial) dépendent dans de vastes proportions des scénarios envisagés, en particulier en ce qui concerne l'accès aux hydrocarbures à moyen et long terme.

Le point H est souvent oublié, bien qu'il soit important : il s'agit de l'inflexion de la politique énergétique, qui pourrait être liée au développement du véhicule électrique. Si, à l'horizon 2020, le parc installé devait être de 3,33 % en tout électrique et de 15 % en 2030 (scénario correspondant à 1 million de véhicules électriques en 2020, option volontariste mais modeste au regard de certains concurrents, puis, ensuite, poursuite d'une croissance lente par rapport à la part de marché de 2020, compatible avec les caractéristiques de la demande alors constatée), ce seraient environ $30 \text{ M} \times 15 \% \times 25 \text{ kWh}/100 \text{ kms} \times 10\,000 \text{ kms/an}$, soit 11,25 TWh de combustibles autres qui seraient économisés. En supposant que ces véhicules soient majoritairement rechargés durant la nuit (soit par les loueurs de batteries, soit par les particuliers eux-mêmes, chez eux), cela justifierait la construction d'un équipement supplémentaire en « base » d'électricité non productrice d'effet de serre. Cette situation permettrait, à son tour, d'éviter des consommations d'hydrocarbures ou de charbon liées à la production d'électricité en heures de pointe, ce qui réduirait d'autant la dépendance énergétique de la France et son déficit commercial. Il y a mieux : si le conducteur utilise la batterie de sa voiture, une fois ren-

tré chez lui, le soir, pour des usages électroménagers (elle n'est en général pas totalement vidée, à ce moment-là), évitant ainsi aux producteurs d'avoir à mettre en œuvre des moyens de production coûteux lors de la pointe de consommation, quitte à recharger la batterie la nuit, lorsque seuls les moyens « en base » fonctionnent, à un coût du kWh beaucoup plus réduit, il est imaginable alors d'avoir une tarification qui permette à l'utilisateur d'un véhicule électrique de réaliser des économies sur sa facture d'électricité domestique, tout en diminuant les appels de puissance de pointe sur le réseau (à condition d'avoir mis en œuvre les liaisons informatisées nécessaires avec le réseau, permettant de recharger les batteries en période idoine). Cela vaut pour la France, en raison de son parc de production électrique nucléaire et hydroélectrique, auquel s'ajouteront, à terme, de nouvelles ressources non génératrices d'effet de serre. Mais c'est vrai aussi, dans une moindre mesure, pour l'Europe, où dix-sept pays disposent déjà d'un parc nucléaire, et où ceux qui ont mis en œuvre des programmes de développement d'énergies renouvelables et non génératrices d'effet de serre, sont nombreux. Cela rendrait ainsi le système européen, dans son ensemble, plus résilient aux crises énergétiques (de la nature de celle que nous avons connue en 2008).

De ce qui précède, ressortent au moins trois points : le premier est que le véhicule électrique n'a pas dit son dernier mot et que le temps travaille pour lui ; le second est le fait que l'activisme développé par les principaux pays disposant d'une industrie automobile doit conduire à une grande vigilance et à une importante réactivité, tant des constructeurs que des puissances publiques ; le troisième est que le système automobile se caractérise néanmoins par une grande inertie, et que la crise actuelle ne sera pas résolue, en termes d'emplois à court terme, au moyen du seul développement du véhicule électrique, même si celui-ci peut y contribuer de manière significative, notamment via les emplois induits dans les infrastructures nouvelles et une intensification de l'innovation. En revanche, apporter une attention à ce type de véhicules est crucial pour l'avenir, si nous désirons jouer quelque rôle, positif autant qu'il se pourra, dans un des grands déterminants de l'avenir du monde : maintenir la liberté de déplacement, incomparable, qu'a apportée la voiture individuelle, tout en réduisant, drastiquement désormais, les nuisances.

NB : Les propos rapportés dans cet article n'engagent que son auteur, et non pas son institution.

Dans dix ans, une automobile sur trois sera une automobile électrique

LES STRATÉGIES DES ACTEURS

L'alliance Renault-Nissan a fait du développement du véhicule électrique une priorité stratégique, se donnant ainsi l'opportunité d'être pionnière d'une rupture fondamentale dans l'histoire de l'automobile. Le contexte actuel est plus que jamais favorable au succès de ce type de véhicule, mais plusieurs défis importants restent encore à relever...

par **Thierry KOSKAS*** et **Patrick PÉLATA****

Lors d'un séminaire hébergé par Renault, au début du mois de Septembre 2008, auquel participaient l'Institut Français du Pétrole, Total et l'Agence Internationale de l'Energie, le Président de celle-ci, M. Tanaka, concluait que, si le véhicule électrique était économiquement faisable, il représenterait l'une des très rares ruptures possibles permettant de réduire de manière drastique et rapide les émissions de CO₂ sur notre planète.

C'est en étant bien consciente de cette donnée que l'alliance Renault-Nissan a fait du développement du véhicule électrique une priorité stratégique, se donnant ainsi l'opportunité d'être pionnière d'une rupture fondamentale dans l'histoire de l'automobile.

Ce choix, raisonné, est fondé sur l'observation de plusieurs données :

- les batteries lithium-ion ont franchi un cap en matière de performances et de coût ;
- le véhicule électrique représente une véritable rupture en matière d'émissions de CO₂ ;
- la prise de conscience du réchauffement climatique pousse les gouvernements à soutenir le développement des voitures propres ;
- enfin, le véhicule électrique pourrait permettre de réduire de manière substantielle la facture pétrolière de

nombre de pays, étant donné que les automobiles consomment plus de 40 % du pétrole mondial (et 50 % du pétrole consommé en France).

Dans un premier temps, nous expliquerons les divers facteurs qui justifient l'avènement prochain d'un marché du véhicule électrique de masse, après quoi, nous présenterons les changements que cela induira pour le client et pour l'industrie et, enfin, nous conclurons en énonçant les conditions de la réussite et en présentant la stratégie poursuivie par Renault.

Depuis la «Jamais Contente», le véhicule électrique a fait l'objet de nombreuses tentatives de développement. Dans un passé récent, Renault, comme PSA et quelques autres constructeurs, a mis sur le marché des versions électrifiées de certains de ses véhicules existants, comme la Clio et la Kangoo. Ces modèles, vendus principalement à des flottes d'entreprises, mais en nombre limité, ont connu des problèmes significatifs de fiabilité et d'autonomie. Mais la situation, aujourd'hui, a changé radicalement pour le véhicule et, ce, pour plusieurs raisons fondamentales :

* Thierry Koskas, Directeur du Programme Véhicule Electrique chez Renault.

** Patrick Péлата, Directeur Général Délégué du groupe Renault.



© D.R.

Etude de style exploratoire du Design Renault pour un véhicule électrique.

- il constitue une rupture en matière de réduction des émissions de CO₂ ;
- les batteries ont connu une rupture technologique majeure ;
- il s'agit d'un véhicule adapté aux nouveaux usages de l'automobile ;
- il peut être économique ;
- son *business model* a connu un changement profond ;
- tout cela génère, au final, un changement significatif pour le client.

UNE RUPTURE DANS LES ÉMISSIONS DE CO₂

Le bilan du véhicule électrique en termes d'émissions de CO₂ doit évidemment prendre en compte la totalité de la chaîne énergétique, depuis l'extraction (ou la production) d'énergie jusqu'à son utilisation par le véhicule. Pour le véhicule électrique, le bilan dépend de la façon dont l'électricité est produite. La figure 1 compare le bilan *well to wheel* (c'est-à-dire « du puits à la roue ») de véhicules thermiques ou hybrides, à celui d'un véhicule électrique de dimensions similaires, en fonction du mode de production de l'électricité.

La situation est évidemment très variable. Il convient néanmoins d'observer, d'une part, qu'en moyenne européenne, l'impact global serait d'environ 60 g CO₂/km et que, d'autre part, globalement, le

progrès en matière de réduction des émissions de CO₂ permis par un véhicule électrique est sans commune mesure avec celui d'un véhicule hybride.

Dans tous les cas (et ce, quel que soit le mode de production de l'électricité), le bilan CO₂ est favorable au véhicule tout électrique, par rapport à un véhicule thermique équivalent, du simple fait du meilleur rendement de la chaîne de production d'électricité et de traction électrique, par rapport au rendement énergétique d'une motorisation thermique (y compris diesel), comme le montre le tableau correspondant (voir la figure 2).

Cette électricité sera en fait consommée principalement de nuit, lors de la recharge quotidienne domestique de la batterie, et donc avec une empreinte carbone encore plus faible (nucléaire, hydraulique, éolien, turbines à gaz ... *versus* le charbon et le fuel consommés par les centrales thermiques, en heures de pointe). Au moyen d'une politique tarifaire et contractuelle adaptée, on pourra encore accentuer cet avantage, en incitant les usagers à recharger leur(s) voiture(s) durant des tranches horaires, où l'électricité est à la fois disponible et décarbonée.

A terme, l'énergie nécessaire à la recharge d'un tiers du parc automobile français, équivalente à celle produite par deux réacteurs nucléaires fonctionnant à plein temps, pourrait ainsi être tout simplement fournie pendant les heures creuses de sollicitation de l'ensemble des centrales nucléaires françaises. Le véhicule électrique pourra même, dans certaines configurations, apporter

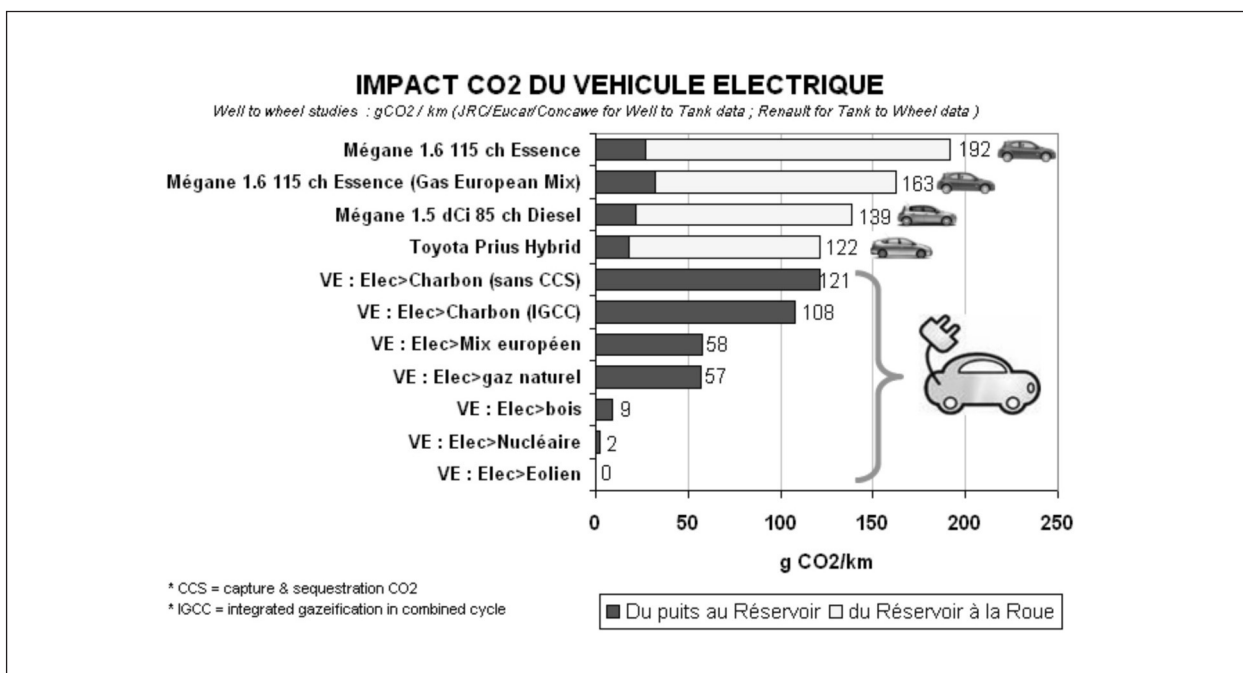


Figure 1 : Impact CO₂ du véhicule tout électrique comparé à ceux de véhicules thermiques et hybrides.

une contribution positive à un « réseau électrique intelligent » (*smart grid*), en stockant de l'énergie : c'est le concept *vehicle to grid*, sur lequel travaillent Renault et d'autres constructeurs.

LES BATTERIES : UNE RUPTURE TECHNOLOGIQUE MAJEURE

Les batteries, qui équiperont la plupart des véhicules électriques des prochaines années, reposent sur la technologie lithium-ion. Les véhicules électriques de Renault-Nissan ne feront pas exception.

Les batteries lithium-ion marquent une rupture par rapport aux technologies précédentes dans plusieurs domaines : densité énergétique, bien sûr, mais aussi absence d'« effet mémoire », décharge spontanée limitée et durabilité (voir la figure 3).

Nissan a travaillé, dès le début des années 1990, sur les batteries lithium-ion ; il a ainsi pris une certaine avance par rapport aux autres constructeurs automobiles. C'est aussi ce qui a conduit à la création de la *joint venture* Nissan-NEC (AESC), début 2007. C'est enfin ce qui va permettre à l'alliance Renault-Nissan de disposer, lors de la commercialisation de ses véhicules électriques, de batteries d'un coût bien inférieur à dix mille euros.

Tout comme sa densité d'énergie (rapport capacité/poids), la durabilité, performance essentielle de la batterie lithium-ion, est un paramètre fondamental de la faisabilité économique de la voiture électrique. Son amélioration fait l'objet de toutes les attentions des ingénieurs de Renault et Nissan.

Il est donc clair, désormais, que la maîtrise de la technologie des batteries de puissance est devenue un enjeu stratégique majeur pour l'industrie automobile du futur. D'où, depuis quelques mois, ces nombreuses annonces de partenariats noués entre constructeurs et

	du puits au réservoir	du réservoir à la roue					total	du puits à la roue
		chargeur	batterie	onduleur	moteur	mécanique		
VE (mix électricité France)	39%	85%	95%	96%	94%	93%	68%	26,5%
EV (électricité 100% thermique)	38%							25,8%
Diesel	86%	26%					22,4%	
Essence	88%	23%					20,2%	

Figure 2 : Rendements énergétiques comparés de véhicules tout électrique et de véhicules thermiques.

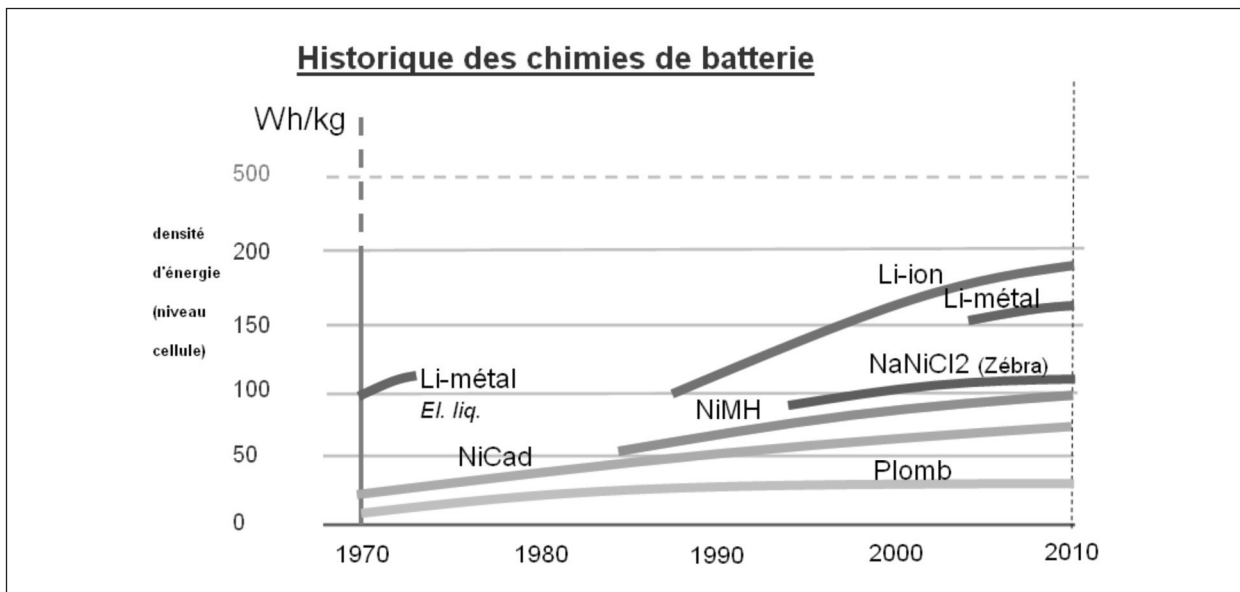


Figure 3 : Evolution de la densité énergétique des batteries selon la technologie utilisée.

industriels du secteur, d'où, aussi, la motivation des Etats à susciter la mise en place de filières (voire de capacités) industrielles appropriées.

UN VÉHICULE ADAPTÉ AUX NOUVEAUX USAGES DE L'AUTOMOBILE

Le principal reproche adressé au véhicule électrique est son manque d'autonomie : dès 2011, Renault mettra sur le marché des véhicules atteignant une autonomie d'environ 150 kilomètres dans des conditions réelles d'utilisation, avec une dispersion limitée. Est-ce suffisant, pour l'usage de l'automobile qui est le nôtre aujourd'hui ? Regardons les faits.

La population mondiale est de plus en plus urbaine : à 50 % aujourd'hui, elle le sera, à plus de 70 %, en 2050. Cette population urbaine se déplace essentiellement sur de courtes distances : 87 % des déplacements automobiles en région parisienne sont inférieurs à 60 km.

Un véhicule électrique offrant une autonomie de 150 km est donc parfaitement adapté pour répondre à la plus grande partie des usages. Cependant, deux réserves peuvent être opposées à ce raisonnement. D'une part, il est possible (soit à titre exceptionnel, soit à des fréquences plus régulières) d'avoir besoin de parcourir des distances plus longues ; d'autre part, une autonomie limitée constitue une barrière psychologique, car aujourd'hui l'autonomie d'un véhicule thermique peut être considérée comme illimitée.

Selon nos enquêtes, 49 % des véhicules du segment des berlines compactes ne sont jamais utilisés pour les vacances, en Europe, et ce chiffre est encore de 26 % si l'on exclut les véhicules utilisés occasionnellement pour les week-ends. Le potentiel de véhicules appelés à être utilisés exclusivement pour des trajets quotidiens (*com-*

muting, shopping, etc.) est donc considérable. Il concerne en particulier les ménages multi-motorisés, qui disposent en général d'un véhicule familial pour effectuer leurs trajets longs. On peut d'ailleurs imaginer d'autres solutions que la propriété du véhicule, pour des usages occasionnels tels que les trajets pour des vacances ou des week-ends prolongés.

Revenons maintenant à l'obstacle que peut représenter l'autonomie. La solution permettant de le surmonter passe par un ensemble d'éléments :

- une stratégie technique visant à maximiser l'autonomie du véhicule et à en limiter la dispersion, quelles que soient ses conditions d'utilisation par le client ;
- la mise en place de stations de changement rapide de batteries, dans lesquelles chaque voiture pourra échanger sa batterie vide contre une batterie chargée, en 3 ou 4 minutes ;
- la mise en place d'une infrastructure de bornes de charge permettant au client de « faire le plein » d'électricité en 4 heures (en charge lente, par exemple dans son garage ou sur un parking) ou bien en 30 ou 40 minutes (en charge rapide, par raccordement à des bornes spéciales) ;
- cela passe aussi par l'information simple et immédiate du client cherchant à recharger ou à changer la batterie de sa voiture (via le système de navigation de la voiture).

Enfin, le véhicule électrique est un concept nouveau qui va bien au-delà d'un simple changement de mode de propulsion ; son introduction demandera un effort d'explication, voire d'éducation, afin de faire en sorte que ce que l'on perd (une autonomie illimitée), mais qui n'est pas indispensable (compte tenu des usages objectivement limités du véhicule), cesse progressivement de générer de l'anxiété et d'être ainsi un frein à l'adoption du véhicule électrique.

POUR ÊTRE ÉCOLOGIQUE, LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE SE DOIT D'ÊTRE ÉCONOMIQUE !

Compte tenu de ce qui vient d'être exposé, nous estimons que le facteur motivant majeur pour l'achat d'un véhicule électrique sera son caractère... économique. Cela peut surprendre, car l'on imaginerait spontanément (certains produits pourraient nous conforter dans cette idée) un véhicule de « niche », réservé à quelques rares clients fortunés souhaitant s'afficher en « verts », ou parader au volant d'un véhicule fortement innovant...

Mais la « rupture écologique » du véhicule électrique ne se produira que s'il est utilisé massivement. Pour être « écologique », il est indispensable d'être « économique » ; c'est absolument fondamental et c'est d'ailleurs le fondement de la signature *Renault eco*².

Il faut donc rendre le véhicule électrique économiquement attractif. Cela, devrait, au premier chef, concerner les personnes qui « commutent » quotidiennement, entre leur domicile et leur travail, sur des distances suffisamment longues (dans la pratique, au moins 2x25km, voire 2x30km), pour pouvoir amortir le coût de la batterie.

Le véhicule électrique devient donc, du point de vue du client, la résultante de trois éléments : 1) le véhicule lui-même, 2) sa batterie et 3) une fourniture d'énergie et de services associés.

UN SOUTIEN DES ETATS JUSTIFIÉ À LA FOIS PAR LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE CO₂ ET CELLE... DE LEUR FACTURE PÉTROLIÈRE

Un véhicule électrique coûte aujourd'hui plus cher à fabriquer qu'un véhicule thermique équivalent : Renault produit son moteur diesel 1,5 l à près d'un million d'exemplaires, alors que les premiers moteurs électriques seront produits seulement à quelques dizaines de milliers d'exemplaires. Pour compenser ces surcoûts, associés à toute technologie en phase d'émergence, plusieurs pays (en Europe, et ailleurs dans le monde) mettent en œuvre des systèmes d'aides aux véhicules « zéro émission » (ces aides atteignent 5 000 € en France, et 7 500 \$ aux Etats-Unis).

Ces politiques visent à traduire en termes d'avantages financiers, réglementaires ou d'usage, l'impact positif du véhicule électrique sur l'environnement. Elles peuvent prendre des formes diverses : incitation fiscale, prime à l'achat, avantages en termes de parking ou de circulation, etc.

Cette politique d'incitation est nécessaire. Elle pourra être modulée, dans le futur, dès lors que le marché aura décollé, et que les coûts industriels en auront été réduits d'autant. En tout état de cause, elle doit permettre de proposer au client un véhicule électrique

(hors batterie) à un prix identique à celui d'un véhicule thermique équivalent.

Nécessaire, cette politique est également pertinente : le véhicule électrique permet une réduction des émissions de CO₂ dans l'atmosphère ; de plus, il réduit la dépendance vis-à-vis du pétrole. C'est cet argument qui est à la base de la politique publique ambitieuse adoptée par l'Etat d'Israël en faveur du véhicule électrique. Pour la France, la transformation d'un tiers du parc automobile actuel en véhicules électriques entraînerait une économie annuelle d'environ 6 milliards d'euros (avec un pétrole brut à 100 \$ le baril) sur sa facture pétrolière. Si l'impact global sur les comptes de la Nation est évident (pour peu que les batteries, les voitures et leurs divers composants soient largement fabriqués en France), l'impact sur les comptes de l'Etat est moindre. Cependant, les pertes en termes de taxe intérieure sur les produits pétroliers et de versement de primes d'incitation à l'achat (dont le niveau, ramené au CO₂ économisé, est comparable, en France, aux autres tranches du « bonus écologique ») seraient compensées par des recettes fiscales liées au bénéfice, pour l'économie nationale, de la réduction de la facture pétrolière, à la localisation en France d'activités telles que la production d'énergie, la gestion, le recyclage, voire la fabrication des batteries, sans oublier, à plus long terme, par des impacts positifs dans le domaine de la santé publique.

COMMENT FAIRE DU VÉHICULE ÉLECTRIQUE, UN VÉHICULE ÉCONOMIQUE ?

La comparaison des coûts d'un véhicule thermique et d'un véhicule électrique devient celle de leurs coûts d'utilisation, dès lors que les coûts d'achat de l'un et de l'autre sont équivalents : il s'agit donc de comparer entre les dépenses d'essence et d'entretien (pour le véhicule thermique) et celles d'électricité, de location de la batterie et d'entretien (pour le véhicule électrique).

L'entretien d'un véhicule électrique est sensiblement plus simple que celui d'un véhicule thermique, et cela se traduit pour le client par un coût moyen d'entretien pratiquement réduit de moitié.

Ensuite, en prenant des hypothèses moyennes (retour du prix du baril autour des 100 dollars), l'on peut dire que 1 000 kilomètres parcourus induisent une dépense moyenne de 100 euros pour l'essence et d'environ 20 euros pour l'électricité. Le paramètre clé est donc le montant du loyer que le client devra acquitter pour la batterie de son véhicule électrique.

Celle-ci s'apparente à un objet « patrimonial ». Sa durée de vie, qui dépend de nombreux paramètres (voir ci-dessus), est déterminée par deux limites : une limite calendaire, liée à l'usure de ses composants, et une limite d'utilisation, qui se chiffre en nombre de cycles de charge et de décharge, que l'on peut aisément convertir en kilomètres parcourus. Une durée de vie de 10

ans, ou 2 000 cycles (correspondant à environ 200 000 km parcourus) est envisageable. Une fois l'une de ces limites atteinte, la batterie aura légèrement dégradé sa capacité de charge (réduite à environ 80 % de sa capacité initiale). Elle pourra faire l'objet d'une seconde utilisation, hors automobile (notamment pour stocker de l'électricité dans des réseaux intelligents, par exemple dans une « maison solaire »...). Cette utilisation ultérieure confère à la batterie une valeur additionnelle.

La durabilité de la batterie est un facteur de premier ordre dans l'équilibre économique du véhicule électrique. La figure 4 illustre, en tenant compte de la visibilité dont on dispose actuellement en matière de durabilité des batteries, le coût de détention (coût d'achat – revente + coût d'usage) de l'un des véhicules électriques qui seront produits par Renault, comparé au prix de détention d'un véhicule thermique équivalent : cette comparaison montre un point d'équilibre, autour de 12 500 km parcourus, par an.

Naturellement, plus le kilométrage parcouru augmente, et plus l'avantage présenté par le véhicule électrique devient évident, puisque les kilomètres supplémentaires coûtent 10 centimes quand ils sont « thermiques », mais seulement 2 centimes quand ils sont « électriques ».

Avec une durée de vie de la batterie réduite de moitié, le point d'équilibre serait repoussé à 16 000 kilomètres/an ; c'est dire toute l'importance de ce facteur.

Il convient de noter que, sur les 49 % de véhicules du segment des berlines compactes qui ne sont jamais utilisées pour les vacances, 27 % effectuent néanmoins plus de 12 000 km par an. Pour ce type de clients, l'intérêt économique d'opter pour le véhicule électrique est évident.

Il convient également de prendre en compte les perspectives d'évolution du coût des batteries, qui pourront encore abaisser le point d'équilibre ainsi mis en évidence.

Enfin, la durée de vie des batteries se chiffrant à la fois en nombre d'années et en kilomètres parcourus, il est possible que certaines d'entre elles atteignent leur limite d'âge en ayant peu roulé, et vice versa. Mais il s'agit là d'une situation non-optimale ; l'exploitation optimale d'un parc de batteries, visant en particulier à ce que ces batteries soient utilisées jusqu'à leur limite de durabilité, constitue un enjeu équivalent à environ 20 % du coût des batteries. Cette exploitation optimisée passe naturellement par la possibilité de transférer une batterie d'un véhicule à l'autre, et donc de disposer d'un système d'échanges de batteries...

DES TAXIS ÉCONOMIQUES

Enfin, il est un domaine dans lequel l'aspect économique est primordial, et les kilométrages annuels élevés : c'est le monde des taxis. Imaginer des taxis électriques effectuant de 50 000 à 80 000 km de courses par an, n'est pas un rêve. Les stations d'échange de batteries rendent possible l'utilisation intensive d'un véhicule électrique au-delà de 200 km ou 250 km par jour, avec un avantage considérable en termes de coût d'usage. Nous espérons, d'ici trois ou quatre ans, apercevoir les premiers Taxis Parisiens électriques (Renault, bien sûr !) en ville, ou à l'aéroport Charles-de-Gaulle de Roissy.

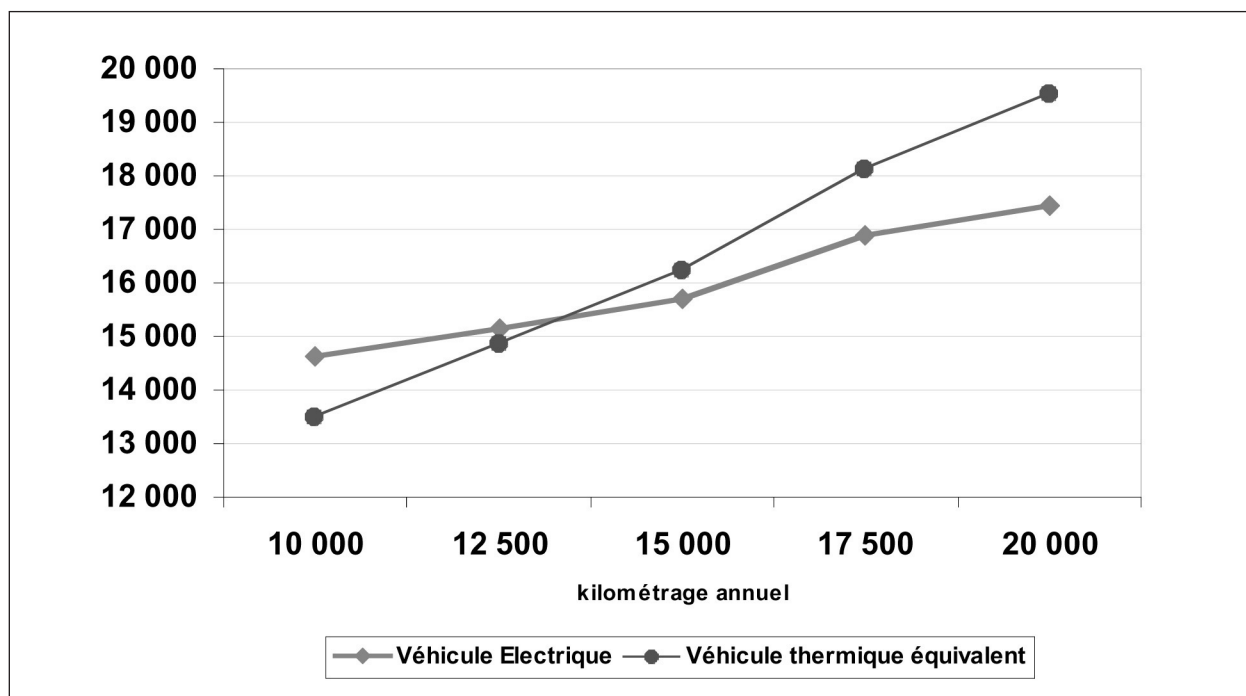


Figure 4 : Coût d'usage d'un véhicule électrique comparé à celui d'un véhicule thermique équivalent, en fonction du kilométrage parcouru.

UN PROFOND CHANGEMENT DU BUSINESS MODEL

Le véhicule électrique induira de profonds changements, tant pour le client que pour les constructeurs.

Du point de vue du constructeur, le modèle « classique » du véhicule thermique, fondé sur une relation avec le client, depuis l'achat du véhicule jusqu'aux opérations d'entretien, ne saurait s'appliquer, tel quel, au véhicule électrique. En effet, le poids du service après-vente sera moindre et, surtout, le constructeur ne pourra plus vendre le véhicule, seul, de façon « autoportante » : il devra entrer dans une relation de partenariat avec un opérateur de mobilité.

L'opérateur de mobilité est l'entité susceptible de proposer au client, où qu'il se trouve, un accès simple et ouvert à l'ensemble du réseau des stations de recharge. Son rôle ne consiste pas seulement à vendre de l'électricité : il planifie la mise en place de ce réseau, voire il en investit une partie. Il propose les services permettant au client d'utiliser ce réseau de façon simple (repérage et réservation des bornes, reconnaissance du véhicule, facturation). En bonne coopération avec le concepteur-constructeur de la voiture électrique, il assiste le client dans la gestion de son autonomie (propositions de rechargement, gestion de ses itinéraires), il propose des « produits » (contrats et forfaits de fourniture d'énergie) répondant aux besoins des clients, et dont la tarification et les modalités correspondent à la structure de ses coûts (prix de l'électricité). Cet opérateur peut aussi assurer le portage financier et la gestion des batteries, dans une logique de parc, dès lors que ces batteries sont échangeables. Il en assure alors la surveillance et la mutualisation, afin d'en optimiser la durabilité. Il gère également la revente, la réutilisation ou le recyclage de ces batteries.

Les opérateurs sont à inventer, pays par pays. Ils peuvent être multiformes : il n'y a pas de modèle unique. Mais en tout état de cause, cette entité est nécessaire. La vision d'un marché de véhicules électriques, dont les clients rechargeraient la batterie de leur véhicule uniquement chez eux, dans leur maison, et où l'on trouverait, de-ci, de-là quelques bornes de recharge, dont l'implantation serait laissée à l'initiative d'acteurs publics ou privés indépendants, ne serait pas sans risque. En effet, elle ne saurait rassurer l'utilisateur potentiel, et elle limiterait, voire bloquerait, de fait, la croissance du nouveau marché des véhicules électriques rechargeables.

En France, Renault travaille, avec de nombreux autres acteurs, à imaginer l'entité qui pourra assurer ce rôle. Cet opérateur jouera un rôle essentiel dans le développement du marché.

Les constructeurs pourront donc se retrouver face à des opérateurs et/ou coopérer avec eux. C'est un nouveau défi, que Renault a d'ores et déjà relevé conjointement avec Better Place, une entreprise israélo-californienne avec laquelle nous avons signé un accord exclusif

pour la commercialisation de voitures électriques en Israël et au Danemark.

Dans l'aventure du véhicule électrique, le constructeur et l'opérateur doivent créer ensemble, pays par pays, les conditions du développement du marché de masse, comportant la voiture, l'infrastructure de recharge et les services associés compétitifs, contre l'association désormais séculaire des voitures thermiques et des pompes à essence... C'est là un rôle totalement nouveau, que Renault et Nissan adoptent avec enthousiasme, et emplis d'espoir.

Mais dans le processus d'achat du véhicule, le constructeur restera en première ligne, via son réseau. Cette relation de confiance et de support de proximité, au quotidien, est essentielle, s'agissant en particulier d'un produit totalement nouveau. Elle doit aussi permettre au constructeur de s'inscrire de façon moderne dans l'aval de la chaîne de valeur, en proposant, sur son réseau, les services du ou des opérateurs, selon un principe de *one stop shopping* (relais multiservices), assurant la maintenance du véhicule, la qualité de son système de navigation, etc.

UN CHANGEMENT SIGNIFICATIF, POUR LE CLIENT

Le client, précisément, se trouve placé face à une offre triple : un véhicule, une batterie et un contrat de fourniture d'énergie. Ce qui peut paraître complexe est en réalité une formidable opportunité de repenser la relation du client à son véhicule : le véhicule électrique offre, de par l'existence même de cette chaîne d'offres, la possibilité de la lier dans un forfait, ou de la « packager », par exemple, en vendant des kilomètres à parcourir, de la même façon que l'on vend du temps de communication, en téléphonie.

Mais la comparaison a ses limites, d'abord parce qu'un véhicule n'est pas un téléphone portable, et qu'il a une valeur tout au long de sa durée de vie. Mais on peut, par exemple, imaginer d'offrir au client des forfaits lui permettant de parcourir 1 000 kilomètres dans le mois pour quelques centaines d'euros, cette prestation comportant, d'une part, un loyer (ou un financement) pour le véhicule, un loyer pour la batterie et, d'autre part, la fourniture d'un certain nombre de kWh d'électricité. D'autres clients, notamment s'ils utilisent principalement la recharge à domicile, pourront préférer une offre découplée, et payer leur électricité à chaque recharge.

Le véhicule électrique va donc permettre de proposer de nouvelles offres, et de répondre aux nouvelles tendances du marché : préférer avoir accès facilement à un véhicule plutôt que le posséder, un besoin de simplicité et de praticité. Le véhicule électrique, dont le point fort, par-delà son caractère « zéro émission », est d'être un véhicule économique à l'usage, peut parfaitement y répondre.

LES CONDITIONS DE LA RÉUSSITE

Renault et Nissan ont fait le pari de la réussite du véhicule électrique. Le contexte est aujourd'hui favorable, mais ce pari ne pourra être tenu qu'à certaines conditions.

C'est, tout d'abord, un immense défi technologique à relever, en ce qui concerne la technologie des batteries, bien sûr. La capacité de produire de façon industrielle des batteries coûtant moins de dix mille euros et pouvant durer dix ans, est un défi majeur, que Renault et, sans doute l'industrie française, se doivent de relever.

Le défi à relever concerne également les innovations à introduire sur les voitures. Leur conception doit intégrer tout dispositif permettant d'en étendre l'autonomie et d'en limiter la dispersion pour un coût raisonnable, mais aussi d'autres innovations majeures comme, par exemple, une pompe à chaleur, un système de récupération de l'énergie au freinage, ou encore des pneus présentant une faible résistance au roulement.

Autre condition de la réussite : le développement des infrastructures. L'infrastructure de recharge doit satisfaire à trois nécessités majeures :

- celle, basique, de permettre une recharge simple, tous les jours : cela passe essentiellement par la possibilité de disposer systématiquement d'une prise *ad hoc*, à son domicile. Le problème n'est ni technique, ni économique, mais principalement règlementaire : la mise en place de bornes dans les parkings des immeubles en copropriété en est un des enjeux majeurs ;
- la deuxième de ces nécessités est la réassurance : il s'agit de donner au client la certitude qu'il ne tombera pas en panne, non seulement sur son trajet habituel (trajet domicile-travail et retour, par exemple), mais aussi lors de trajets non planifiés. La mise en place de bornes ailleurs qu'au domicile est nécessaire, qu'il s'agisse des parkings d'entreprises, des lieux privés accueillant du public (supermarchés, parkings, stations service) ou de la voirie. Cette infrastructure pourra comprendre des dispositifs de charge dite standard (jusqu'à 22 kW) et des stations de charge rapide. Ces dernières installations, plus onéreuses, peuvent être utiles pour assurer, en 5, 10 ou 20 minutes, le rechargement minimal permettant, par exemple, à un « électro-automobiliste » de rentrer chez lui. Nos véhicules en développement accepteront ce type de charge.
- enfin, troisième nécessité, accroître l'autonomie du véhicule qui dépend de la seule batterie. Renault développe, en liaison avec Better Place, son partenaire en Israël, une station d'échange de batteries. La plupart des véhicules électriques développés par Renault seront

équipés de cette capacité à échanger, en trois minutes, sa batterie « vide » contre une autre batterie chargée. Cette idée peut paraître révolutionnaire ? C'est dès aujourd'hui une réalité technique, avant que de devenir un élément fort du modèle économique du véhicule électrique, car il offrira un service comparable à celui d'un plein d'essence et il permet, de plus (voir ci-dessus), d'assurer une gestion optimale du parc de batteries.

La mise en place du réseau d'infrastructures se fera progressivement. Elle représente évidemment un coût non négligeable, de quelques centaines de millions d'euros, pour un pays comme la France, dans les cinq prochaines années, mais ce coût est modeste, si on le compare à la facture pétrolière ainsi économisée (voir ci-dessus). D'ici à l'horizon 2016, cette dépense ne peut être absorbée par les seuls clients des véhicules électriques : elle doit donc être soutenue par des financements publics ou privés.

L'implication des pouvoirs publics dans le développement du seul mode de transport automobile réellement non polluant est donc indispensable. L'Etat et les collectivités locales auront à jouer un rôle majeur dans ce qui doit être considéré comme un projet national.

UNE STRATÉGIE OFFENSIVE

Renault mettra sur le marché, à partir de 2011, une gamme de quatre véhicules électriques. Ces véhicules s'adresseront à un large éventail de clientèle : clients professionnels (avec une version électrifiée de la Kangoo), taxis (avec une grande berline), clients particuliers (avec trois véhicules originaux). Nissan en fera de même ; c'est ainsi que l'alliance Renault-Nissan se positionne en pionnière du véhicule électrique de masse, de l'« auto-mobilité durable pour tous ».

Il reste, d'ici à 2011, un immense travail à accomplir pour poursuivre le développement et la mise au point de ces véhicules, construire les partenariats nécessaires, sécuriser la mise en place des infrastructures en France, en Europe et dans d'autres régions sensibles du globe. Il s'agit d'un défi mondial : la Chine, le Japon, la Corée, les Etats-Unis et (plus récemment) l'Allemagne sont également engagés fortement dans ce qui représente le défi majeur de l'industrie automobile de l'après-crise : dans un monde où la part des jeunes achetant des automobiles a été divisée par deux, la proposition d'un véhicule simple, écologique, économique et totalement innovant, peut redonner à cette industrie la part de rêve qu'elle a souvent portée.

BMW : En route pour moins d'émissions de polluants, et davantage de plaisir !

Dans le cadre de son programme EfficientDynamics, le Groupe BMW étudie systématiquement les diverses solutions pouvant permettre d'améliorer les performances énergétiques et environnementales des véhicules, tout en préservant l'agrément de conduite : moteur à explosion classique, véhicule tout électrique ou hybride et même moteur à hydrogène sont développés en parallèle...

par **Christophe KOENIG***

LES STRATÉGIES DES ACTEURS

Depuis vingt-cinq ans, BMW n'a pas cessé d'investir dans les évolutions du moteur thermique, au point d'être devenu l'un des constructeurs les plus performants en termes de réduction de consommation de carburant et de rejets de CO₂. En 2008 (selon le rapport de l'ADEME), BMW a décroché la première place des constructeurs les plus efficaces sur le plan de la réduction des émissions polluantes. Depuis le lancement du programme EfficientDynamics, BMW a réduit de 24 % (en moyenne) les rejets de CO₂ des véhicules de la gamme. Ce sont, au total, plus d'un million de voitures commercialisées à ce jour, qui ont été dotées d'innovations technologiques très ingénieuses. Les solutions apportées par ce programme ont permis d'économiser 150 millions de litres de carburant, équivalents à la consommation d'énergie d'une ville de 780 000 habitants pendant une année.

BMW a été le premier constructeur automobile à intégrer en série sur ses modèles des technologies contribuant à la protection de l'environnement, depuis la phase de conception du véhicule jusqu'au recyclage. Le programme *EfficientDynamics* est essentiellement composé d'un ensemble de mesures destinées à réduire les rejets polluants, et à diminuer la consommation de car-

burant, tout en améliorant le plaisir de conduire. Ainsi, grâce à ce programme, la BMW 118d ne consomme que 4,6 litres/100 km et ne rejette que 119 grammes de CO₂ au kilomètre. Parmi les mesures retenues, nous mentionnerons la construction allégée, l'optimisation de l'aérodynamique, les pneumatiques à faible résistance au roulement, l'assistance de direction électrique et, enfin, l'optimisation des moteurs et de la gestion de l'énergie. Grâce à ces évolutions, BMW propose aujourd'hui vingt-quatre modèles rejetant moins de 140 grammes de CO₂/km, et répondant ainsi aux critères de la norme EU5.

Inclus dans ce programme, deux pôles d'innovation viennent apporter de nouvelles technologies, préfigurant la voiture du futur : *BMW Active-Hybrid* et *BMW CleanEnergy*. Ces deux pôles ouvrent de nouvelles perspectives aux moyens de locomotion de demain. Comme son nom l'indique, *BMW ActiveHybrid* concerne le développement des technologies hybrides, tandis que *BMW CleanEnergy* se concentre sur les technologies liées à l'hydrogène.

* Technology and Corporate Communication/AK-EU-FR – BMW Group France.

LE PROGRAMME BMW EFFICIENTDYNAMICS, PLUS EN DÉTAIL...

Les moteurs BMW (essence et diesel)

Ce qui caractérise BMW, c'est sa capacité à concevoir, de génération en génération, des moteurs toujours plus puissants et néanmoins de plus en plus sobres, ce qui se traduit par moins d'émissions. Ces moteurs définissent de nouvelles références en termes de puissance, d'efficacité et d'économie. De nombreux modèles de moteurs BMW (à quatre ou six cylindres en ligne) sont dotés de l'injection directe d'essence de dernière génération : l'injection directe haute précision HPI (*High Precision Injection*). Pour garantir une combustion optimale, des injecteurs piézo-électriques implantés à proximité directe des bougies d'allumage, pulvérisent le carburant dans les chambres de combustion, jusqu'à 200 fois en une fraction de seconde. Dans le cas des moteurs atmosphériques, en situation de charge partielle, ce qui constitue la plage d'utilisation la plus courante, seule une partie des chambres de combustion est remplie d'un mélange inflammable essence-air, ce qui rend le moteur très efficace. Cette technologie autorise, par ailleurs, un meilleur déploiement de puissance, d'où un dynamisme accru.

Les nouveaux moteurs « diesel » BMW sont équipés d'une rampe d'injection commune de troisième génération à commande électronique. Ce système établit une pression d'injection particulièrement élevée (jusqu'à 2 000 bars), et constante durant toute la phase d'injection. Résultat : une combustion particulièrement efficace du carburant, d'où une consommation moindre. Grâce aux pré-injections multiples de très faibles quantités de carburant, les moteurs « diesel » BMW fonctionnent d'une manière particulièrement silencieuse et équilibrée. De plus, la plupart des moteurs quatre cylindres, ainsi que ceux des nouveaux modèles BMW 330d et BMW 730d/Ld, satisfont d'ores et déjà aux exigences de la norme antipollution EU5. Les filtres à particules DPF (Diesel Particulate Filter) mis en œuvre par BMW sont, eux aussi, d'avant-garde. Ils ne nécessitent aucun entretien, car la gestion « moteur » commande leur régénération, lorsque cela s'avère nécessaire. Enfin, leur implantation, proche du moteur, minimise les effets négatifs habituels des filtres à particules sur la puissance et la consommation. Autre particularité : un moteur six cylindres en ligne Diesel à technologie BMW *BluePerformance*, intègre un catalyseur à stockage d'oxyde d'azote, dont le revêtement est constitué de métaux nobles (tels que le platine ou le palladium). Ceux-ci déclenchent une catalyse permettant de stocker les oxydes d'azote dans le catalyseur. Un fonctionnement intermittent avec un mélange enrichi au moyen d'une post-injection permet de brûler la totalité des oxydes d'azote ainsi stockés (les oxydes de soufre produits par la combustion du carburant sont eux aussi

éliminés). La technologie BMW *BluePerformance* est disponible sur la nouvelle BMW 330d Berline à boîte de vitesses manuelle, laquelle satisfait, ainsi, déjà à toutes les exigences de la norme antipollution EU6 (qui entrera en vigueur en 2014).

Les fonctions d'arrêt et de redémarrage automatiques du moteur : l'Auto Start/Stop

A l'arrêt, le moteur ne rejette aucune émission polluante : c'est ce constat, ô combien logique, qui est à l'origine de la fonction d'arrêt et de redémarrage automatique du moteur, dont sont équipées la plupart des motorisations quatre cylindres BMW couplées à une boîte de vitesses manuelle à 6 rapports. A l'arrêt, lorsque le conducteur passe au point mort et relâche la pédale d'embrayage (par exemple, à un feu rouge ou dans un embouteillage), cette fonction coupe automatiquement le moteur. Celui-ci redémarre dès que le conducteur actionne à nouveau la pédale d'embrayage. Cette fonction d'arrêt et de redémarrage automatique du moteur réduit ainsi la consommation de carburant, tout particulièrement en ville.

Le système de récupération de l'énergie de freinage

Sur les véhicules conventionnels, l'alternateur, entraîné par le moteur, alimente en permanence la batterie en énergie électrique, avec pour corollaire une consommation de carburant. Grâce à un système de gestion intelligente de l'énergie – le système de récupération de l'énergie du freinage – la batterie est mise en charge lorsque le véhicule est en décélération, c'est-à-dire dès l'instant où le conducteur relâche l'accélérateur. L'énergie cinétique jusqu'alors inutilisée, est donc exploitée pour recharger la batterie. Résultat : de meilleures performances, pour une consommation réduite.

L'indicateur de changement de rapport

Changer de rapport en temps opportun est l'un des moyens les plus simples pour économiser du carburant. L'indicateur de changement de rapport équipant de nombreuses BMW, en combinaison avec une boîte de vitesses manuelle à 6 rapports, favorise une conduite économique, en indiquant sur l'écran d'information le rapport le plus adapté. Par ailleurs, ce système est capable de prendre en compte les besoins du conducteur : si vous accélérez fortement, par exemple pour doubler, la recommandation de l'indicateur s'affichera en prenant cette donnée en compte : le rapport préconisé sera fondé sur un régime plus élevé pour le moteur.

La direction à assistance électrique

Par rapport aux systèmes de direction conventionnels (hydrauliques), la direction à assistance électrique présente l'avantage de ne consommer de l'énergie que lorsque le conducteur tourne le volant : lorsque l'angle de braquage reste constant durant un certain temps, par exemple sur autoroute, le moteur électrique d'assistance à la direction est désactivé.

Une construction allégée

La construction allégée intelligente est l'exemple, par excellence, d'une amélioration qui profite, à la fois, à la sobriété et au dynamisme ; elle s'intègre ainsi parfaitement au concept BMW *EfficientDynamics*. Nos ingénieurs utilisent, par exemple, des matériaux légers (notamment de l'aluminium) au niveau de la partie avant et du train roulant. Le recours à de nouveaux procédés techniques (comme l'emploi de mousses intégrales consistant à incorporer à la matière plastique un agent porogène, qui la fait gonfler sous l'effet de la température) ont permis de réduire le poids de 20 %. D'une part, ces matériaux réduisent nettement le poids du véhicule et, d'autre part, ils garantissent une rigidité maximale de la carrosserie. La construction intelligente de la carrosserie vise également à concentrer le plus de poids possible dans la partie basse du véhicule, ce qui a pour effet d'abaisser son centre de gravité. Du côté des moteurs, le carter de vilebrequin des nouveaux six cylindres en ligne est réalisé dans un alliage de magnésium et d'aluminium, ce qui permet d'en réduire le poids de 24 %, et donc d'économiser du carburant. De plus, un moteur allégé permet notamment de réduire le poids reposant sur le train avant du véhicule. Cette mesure contribue également à obtenir une répartition de 50/50 de la charge pesant sur les essieux, ce qui est un avantage caractéristique des BMW. Résultat : une efficacité, un dynamisme et une sécurité accrus.

Dans un futur proche

L'arrivée du TEG (générateur thermoélectrique) devrait permettre de nouvelles avancées dans le domaine de la réduction des émissions nocives. Les ingénieurs du Groupe BMW développent actuellement une technologie, qui convertit directement l'énergie thermique des gaz d'échappement en courant électrique. Ce processus thermoélectrique, qui fait appel à des éléments semi-conducteurs, est utilisé depuis plusieurs décennies par la NASA (agence spatiale américaine) dans les sondes spatiales. Pour produire de l'électricité dans le véhicule, un générateur thermoélectrique est intégré dans la ligne d'échappement. Limitée à 200 W, la puissance électrique générée par ce système est encore faible, mais la

recherche dans le domaine des matériaux fait des progrès énormes, qui rendent plausible l'objectif ambitieux d'atteindre prochainement une puissance de 1 000 W. Le générateur thermoélectrique est un complément idéal de la récupération de l'énergie de freinage incluse dans le programme BMW *EfficientDynamics*. En effet, alors que cette dernière devient active en phases de décélération ou de freinage, le générateur TEG offre, quant à lui, les mêmes avantages lorsque le plaisir de la conduite est maximal, c'est-à-dire en phase d'accélération ! A l'avenir, les générateurs thermoélectriques permettront une réduction de la consommation de carburant pouvant aller jusqu'à 5 %, en fonction du style de conduite sur route.

BMW *ActiveHybrid* et BMW *CleanEnergy*

Au cours du deuxième semestre 2009, BMW lancera sur le marché ses premiers véhicules hybrides de série. Ils permettront une économie de carburant de 15 à 20 %, tout en maintenant une performance exceptionnelle des moteurs. Cette technologie *ActiveHybrid*, conçue par BMW, est l'une des voies permettant de réduire la consommation de carburant, et donc les émissions polluantes. Les amateurs de véhicules de forte cylindrée, tels ceux du marché américain ou du marché chinois, jusque-là adeptes de véhicules consommant couramment de 20 à 25 litres aux 100 km, seront les premiers à saisir cette opportunité. La technologie *ActiveHybrid*, que BMW proposera en fin d'année, y ajoutera une dimension essentielle : le plaisir de conduire. L'objectif est d'intégrer à chaque concept de véhicule les composants hybrides les mieux adaptés, selon le principe du système modulaire « Le meilleur de l'hybride ». La BMW Concept X6 *ActiveHybrid* a été présentée au Salon international de l'Automobile de Francfort 2007. Combinant, dans ce *concept car*, le premier *Sports Activity Coupé* (coupé de loisirs polyvalent) au monde et la technologie hybride, BMW promet une expérience de conduite hors du commun, allée à une efficacité nettement accrue. Un des éléments-clés de la BMW Concept X6 *ActiveHybrid* est sa transmission active bi-mode, développée dans le cadre de la *Global Hybrid Corporation* (association entre BMW, Daimler et General Motors, en vue du développement du véhicule hybride). Cette transmission fait varier intelligemment l'interaction du moteur à combustion et des deux moteurs électriques, en fonction de la vitesse et de la charge de la voiture. La BMW Concept X6 *ActiveHybrid* associe en permanence le meilleur de deux mondes : elle peut fonctionner totalement à l'électricité ou avec la seule force du moteur à combustion, ou encore en combinant les deux. Ainsi, quelle que soit la vitesse (en ville, à faible allure ou pendant les longs trajets sur autoroute, à vitesse soutenue), la réduction de la consommation, et, par là-même, celle des émissions de CO₂, peuvent atteindre les 20 %, à dynamisme égal,



© Benoit Decout/REA

Le concept car BMW série 7 *ActiveHybrid* au Mondial de l'Automobile 2008.

comme nous l'avons déjà mentionné plus haut. Le vaisseau amiral de BMW, la nouvelle Série 7, a, lui aussi, été présenté en variante hybride au Mondial de l'Automobile 2008 de Paris. L'objectif poursuivi, au moyen de l'intégration de la technologie semi-hybride, est d'aboutir à une grande aptitude à l'utilisation quotidienne, alliée à un dynamisme inégalé et à une augmentation de l'efficacité pouvant aller jusqu'à 15 %. Pour BMW, les technologies hybrides sont une des solutions offertes par la stratégie BMW *EfficientDynamics*, qui permettent d'augmenter nettement l'efficacité des automobiles, tout en offrant un dynamisme de conduite inédit dans ce segment concurrentiel. Les deux premiers modèles BMW *ActiveHybrid* (X6 et Série 7) seront tous les deux associés au moteur V8, avec la technologie *Twin Turbo* et une injection directe haute précision (HPI) développant 407 ch (300 kW) à 5 500 tr/min, et 600 Nm à partir de 1 750 tr/min.

BMW *CleanEnergy*, c'est le plaisir de conduire sans produire d'émissions nocives. BMW a d'ores et déjà atteint cet objectif avec la BMW Hydrogen 7, première berline de luxe pouvant également fonctionner à l'hydrogène au quotidien. Depuis plus de 90 ans, BMW s'efforce de construire les meilleurs moteurs de leur époque, y compris sur le plan de l'efficacité. Depuis plus de 25 ans, nos ingénieurs s'intéressent à l'hydrogène et aux technologies à mettre en œuvre pour exploiter cette source d'énergie alternative. Le moteur à explosion de conception nouvelle de la BMW

Hydrogen 7, qui peut également fonctionner à l'essence, en cas de besoin, transforme l'énergie contenue dans l'hydrogène, en force motrice par simple pression sur un bouton ou de manière automatique. Le seul effluent émis par ce type de moteur est de la vapeur d'eau. Le réservoir *high-tech*, à double paroi en acier inoxydable, dans lequel l'hydrogène est stocké à l'état liquide (à -250° C) est, lui aussi, le fruit d'un travail de développement intensif. L'effet de sa super-isolation sous vide équivaut à celui d'un cube de polystyrène expansé de 32 mètres de côté. Tous les composants ont été conçus de manière à garantir une sécurité optimale : le réservoir d'hydrogène résiste aux sollicitations les plus extrêmes, tandis qu'un système d'auto-surveillance est actif, même lorsque le moteur est coupé. Dernière innovation en date : un nouveau type de réservoir d'hydrogène faisant appel à une nouvelle structure en carbone permettant de réduire le poids de l'ensemble du système d'un tiers par rapport à celui des réservoirs cylindriques traditionnels, en acier. Sa forme, adaptable, lui confère un haut niveau de flexibilité permettant de réaliser d'importantes économies d'énergie. De plus, les systèmes auxiliaires sont intégrés à l'enveloppe du réservoir : celui-ci occupe ainsi moins de place dans la voiture, et l'entretien est beaucoup plus simple à effectuer. La conception modulaire du réservoir interne se concrétise, en outre, par un processus de production moins complexe qu'avec les réservoirs à hydrogène actuels. Avec seulement dix kilogrammes d'hydrogène, les véhicules équipés de ce type de réservoir pourraient

facilement parcourir plus de 500 kilomètres (contre 200 km, aujourd'hui). Les véhicules à hydrogène de BMW ont été testés en France par plus de 200 personnalités. Dans le reste du monde, 100 véhicules ont été confiés à des hommes politiques, à des économistes, scientifiques, à des journalistes et à des artistes, qui ont parcouru au total deux millions de kilomètres en Allemagne, en Belgique, en Suisse, au Royaume-Uni, en Chine, en France et aux Etats-Unis. Cette expérience a prouvé que la solution hydrogène était réellement une voie d'avenir pour l'industrie automobile, BMW s'engageant à n'utiliser que de l'hydrogène issu d'énergies renouvelables. C'est ainsi que son Altesse le Prince Albert de Monaco a utilisé un tel véhicule pour ses déplacements officiels dans la Principauté au cours de l'année 2008.

Nouvelle axe de recherche pour *EfficientDynamics* : le « Project i »

En parallèle à la phase hydrogène, le Groupe BMW expérimente, aujourd'hui, les véhicules électriques sur une grande échelle, souhaitant en tester l'usage quotidien auprès de populations volontaires.

C'est ainsi que la firme de Munich est actuellement le premier constructeur mondial d'automobiles haut de gamme à proposer une flotte de quelque 500 véhicules à propulsion exclusivement électrique, destinés à une utilisation privée au quotidien. La Mini E est propulsée par un moteur électrique de 204 chevaux (150 kW). Alimenté par une batterie lithium-ion performante, ce moteur transmet sa puissance aux roues avant presque sans bruit (et sans la moindre émission), par le biais d'un réducteur de vitesse à engrenage droit à train simple. La technique de batterie, spécialement développée en vue d'une utilisation sur automobile, permet une autonomie de près de 250 kilomètres (156 miles). La Mini E a été présentée, en première mondiale, les 19 et 20 novembre 2008, au Salon Automobile de Los Angeles. Dans le cadre du « Project i », elle est mise, dans un premier temps, à la disposition d'une sélection de clients privés et de clients d'entreprise américains, dans les Etats de Californie, de New York et du New Jersey. En Europe, une expérimentation comparable est en cours à Berlin, portant sur une flotte de cinquante véhicules. Dès que ce sera possible, cette expérience sera étendue à la ville de Paris.

Il est vrai que la propulsion électrique de la Mini E affiche un couple maximal de 220 newtons-mètres, et qu'elle permet une accélération ininterrompue, de 0 à 100 km/h, en 8,5 secondes. La vitesse maximale est limitée, électroniquement, à 152 km/h. Un réglage du train roulant, spécialement adapté à la répartition des charges sur ce modèle, contribue à lui conférer une agilité « typiquement Mini » et une maniabilité remarquable.

Avec la Mini E, le Groupe BMW poursuit son travail systématique de mise au point de solutions aptes à réduire la consommation d'énergie et les émissions en conduite sur route. Le Groupe BMW met à profit sa compétence technologique unique dans le domaine des systèmes de propulsion pour développer un concept de véhicule permettant d'éviter les émissions, sans avoir à renoncer au plaisir de conduire. La mise en circulation de plus de 500 automobiles dans des conditions d'utilisation au quotidien, va permettre de recueillir des renseignements concrets et représentatifs sur la viabilité du prototype. Leur analyse va générer un précieux savoir-faire, qui pourra être exploité dans le processus de développement des véhicules de série. Dans le cadre de sa stratégie d'entreprise « *Number ONE* », le Groupe BMW vise, à moyen terme, la production en série d'automobiles à propulsion strictement électrique. C'est dans cette même perspective que s'inscrit, au sein du « Project i », le développement de concepts innovants pour la mobilité dans les grandes agglomérations, là encore, avec une composante de propulsion exclusivement électrique. Futur projet s'inscrivant dans ce programme, la « Megacity », un véhicule destiné à la mobilité urbaine pouvant recevoir, soit un moteur à essence ou diesel conventionnel, soit un moteur 100 % électrique. Ces véhicules, qui apparaîtront sur le marché en 2012, apporteront une réponse aux besoins de déplacements urbains décarbonés. Cette offre sera complémentaire aux autres solutions proposées par BMW, tels que le moteur à explosion (qui connaîtra de nouveaux développements et de nouvelles améliorations), le moteur électrique (toujours plus puissant et dynamique), le moteur hybride et, enfin, le moteur à hydrogène. Preuve (s'il en était besoin) que l'automobile n'a pas fini de susciter bien des passions, et que son avenir est enchanteur !

La batterie lithium-ion de dernière génération, spécialement développée pour la Mini

La phase « véhicule électrique » représentera une évolution importante pour l'industrie automobile.

Chez BMW, les essais portent sur la Mini. Basé sur la version actuelle, le modèle électrique est lancé en version biplace. L'espace qui, sur le modèle de série, revient aux passagers arrière est ici réservé à la batterie lithium-ion. Cette batterie dispose d'une capacité totale de 35 kilowattheures (kWh), et fournit au moteur électrique un courant continu d'une tension nominale de 380 volts. Elle est composée de 5 088 éléments, assemblés en 48 modules. Ces modules se répartissent en trois blocs occupant un minimum d'espace dans l'habitacle du véhicule.

La conception des éléments de la batterie s'appuie sur un principe technologique qui a fait ses preuves dans l'alimentation des téléphones mobiles et des ordinateurs portables. La batterie lithium-ion de la Mini E

peut être raccordée à toute prise de courant conventionnelle du secteur. Son temps de charge dépend de l'intensité et de la tension du courant distribué par le réseau. Aux Etats-Unis, une batterie complètement déchargée peut être très rapidement rechargée à l'aide d'une *wall-box* (ou boîtier mural), fournie avec le véhicule. Installé dans le garage du client, cet équipement fonctionne avec une tension plus élevée (380 V), ce qui réduit sensiblement le temps de charge : deux heures et demie suffisent pour recharger complètement la batterie.

Rouler à l'électricité : fiabilité, économie, absence d'émissions

Un prélèvement maximum, sur le réseau, de 28 kWh suffit à recharger complètement la batterie. Si l'on rapporte ce chiffre à l'autonomie du véhicule, cela représente 1 kilowattheure pour parcourir 5,4 miles (environ 8,7 km). Outre son absence d'émissions, la Mini E présente donc également un net avantage économique par rapport à une automobile dotée d'un moteur à explosion conventionnel.

La batterie haute performance alimente un moteur électrique, qui se charge de transformer l'énergie en une agilité enthousiasmante. Ce moteur, placé en position transversale sous le capot avant, dispose, dès le départ, de tout son pouvoir d'accélération. Cela permet ainsi à la Mini E de faire preuve d'une spontanéité fascinante. L'expérience de conduite, intense, se caractérise, par ailleurs, par une dynamique de décélération étroitement liée au mouvement de la pédale d'accélérateur. Dès que le conducteur lève le pied, le moteur électrique prend la fonction d'un alternateur ; cela engendre un couple de freinage et le courant, qui est produit par l'énergie cinétique, sert à recharger la batterie du véhicule. Le concept permet un remarquable agrément de conduite, notamment à allure moyenne, lorsque la vitesse fluctue continuellement. En ville, près de 75 % de toutes les décélérations peuvent être effectuées sans l'aide du système de freinage. L'exploitation intensive

de ce système de récupération de l'énergie par le moteur peut permettre d'accroître l'autonomie du véhicule de près de 20 %.

A travers toutes ces évolutions technologiques, BMW poursuit sa mission, qui est d'améliorer sans cesse les performances de ses moteurs et de réduire sans concessions les émissions nocives.

Pour s'en convaincre, il suffit de lire le rapport réalisé par la très sérieuse Agence française de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Selon cette agence, BMW a obtenu, en 2008, la baisse la plus spectaculaire en matière de rejets de CO₂, en parvenant, en un an, à les réduire de 21 grammes pour atteindre une moyenne de 145 grammes/km.

Mieux encore : depuis 2006, BMW a diminué de 19 % les rejets de gaz carbonique issus de ses moteurs (à comparer aux -7 % et -10 %, affichés par les deux autres groupes automobiles allemands concurrents de BMW). Grâce au programme *Efficient Dynamics* développé par BMW depuis 2002, la marque est désormais au niveau des constructeurs généralistes, producteurs de petits véhicules, avec un taux moyen d'émissions de 156 grammes de CO₂ au kilomètre (en Europe).

Quant aux « Mini », la marque figure, en 2008, en tête du palmarès des constructeurs les plus efficaces en terme de réduction d'émissions de CO₂, avec une baisse de 19,65 % entre 2006 et 2008 (et une moyenne, pour sa gamme, de 138,6 gr/km), ce qui la place devant BMW (15,6 %), Smart (10,5 %), Audi (7,1 %) et Alfa Romeo (4,6 %).

Ce palmarès établi par l'Autorité Fédérale Allemande des Transports (*German Federal Motor Transport Authority*) confirme le classement établi par l'ADEME, (Agence française de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), qui place le Groupe BMW, propriétaire de la marque Mini, en tête des constructeurs les plus performants dans la réduction des rejets de CO₂.

Ces progrès ont été rendus possibles grâce au programme *Minimalism*, comportant le *Start and Stop*, la régénération d'énergie au freinage ou, encore, l'indicateur de changement de rapport ; des technologies installées en série sur quasiment tous les modèles de la gamme BMW.

L'engagement de l'État dans la recherche et l'innovation

LES STRATÉGIES DES ACTEURS

Le Grenelle de l'Environnement et la politique industrielle ont donné une nouvelle dynamique à l'engagement de l'État dans la recherche et l'innovation sur le véhicule du futur. Cet engagement est effectif depuis longtemps (il remonte au moins aux années quatre-vingts), mais il a connu un essor considérable depuis les années 2000, qui ont été marquées par de nombreuses modifications des conditions réglementaires et organisationnelles de cet engagement...

par **Jean-Louis LÉONARD***

J'évoquerai, successivement, les dispositifs d'aide existants et leurs modalités, le programme qui permet la mise en cohérence de ces différentes actions (le Prédit) et, enfin, les grandes thématiques du Grenelle de l'Environnement, ainsi que son impact escompté.

DES MODALITÉS DIVERSIFIÉES, QUI CIBLENT TOUTES DES MAILLONS DE LA CHAÎNE DE PROGRÈS

Le crédit d'impôt

Sur le plan budgétaire, le premier engagement de l'État en faveur de la recherche se concrétise par le crédit d'impôt recherche (CIR). Les conditions de son attribution (assiette, taux) ont été sensiblement élargies par la loi de finance 2008 et son volume annuel a fortement augmenté depuis (il atteint près de 4 milliards d'euros

en 2009). C'est bien, aujourd'hui, l'instrument privilégié pour soutenir la recherche privée. Comme il est assis sur les dépenses de Recherche & Développement (R&D) des entreprises, il intéresse tout particulièrement (mais pas seulement) les grandes entreprises.

Le MinEIE et les Pôles de compétitivité

Compte tenu de la place particulière de l'industrie automobile dans l'économie française, le ministère chargé de l'Industrie est, traditionnellement, le premier porteur de l'engagement de l'État en matière de R&D. Son implication a été profondément remaniée, en 2005, sous l'impulsion gouvernementale, avec la création des Pôles de compétitivité. L'appel à projets lancé conjointement par le Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi (MinEIE) et la Délégation interministérielle à l'aménagement et à la compétitivité

* Député de Charente-Maritime, président du Prédit (programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres).



© Didier Maillac/REA

Véhicules « Gecko » et « Impact », réalisés par des élèves de l'école « ESPERA Sbarro » de Montbéliard, partie prenante du pôle de compétitivité « Véhicule du futur ».

des territoires (Diact), en 2005, a suscité des dynamiques régionales très importantes, qui ont conduit à la labellisation de 67 pôles (71 aujourd'hui). Depuis 2006, huit appels à projets ont été lancés, sans orientations thématiques particulières. La sélection des projets est assurée par un groupe de travail interministériel, et le budget *ad hoc*, coordonné au sein du Fonds Unique Interministériel, provient principalement du ministère chargé de l'Industrie (Fonds pour la compétitivité des entreprises), mais aussi des ministères sectoriels concernés. Les résultats du huitième appel étaient attendus dans le courant du mois de juin 2009 (résultats non encore connus à la date de rédaction de cet article), mais les sept premiers ont déjà permis de sélectionner quelques 600 projets, et d'attribuer 730 millions d'euros de subventions, auxquels il faut ajouter les participations des collectivités territoriales (les pôles de compétitivité ou leurs membres peuvent également soumettre des projets à Oseo ou à l'Agence Nationale de la Recherche – l'ANR). L'accroissement important de l'engagement des collectivités territoriales (Régions, Départements, Collectivités locales) dans la R&D, au nom du développement économique des régions concernées, est une des grandes évolutions de cette décennie. Dans les pôles de compétitivité, les collectivités territoriales interviennent à la fois dans le soutien structurel (investissements en bâtiments ou équipements de recherche) et dans le soutien aux projets eux-mêmes. En ce qui concerne les transports terrestres, 9

pôles sont totalement ou fortement impliqués, dont 6 concernent l'automobile : implication totale (Mov'eo en Île-de-France et en Haute-Normandie, Véhicule du futur en Alsace-Franche Comté, Automobile Haut de Gamme en Pays de la Loire et Mobilité et transports avancés en Poitou-Charentes, en cours de fusion avec Mov'eo) ou partielle (System@tic en Île de France, et I-trans en Nord-Pas de Calais). Mais les progrès apportés aux véhicules peuvent provenir de bien d'autres pôles, qui sont concernés par des technologies de base (les matériaux, par exemple), ou par des secteurs d'activité proches (aéronautique, par exemple).

Oseo

Oseo a également été constituée en 2005, à partir de deux entités préexistantes : l'Anvar, Agence française de l'innovation, et la Banque pour le Développement des Petites et Moyennes Entreprises (BDPME). Oseo soutient le développement des PME, à travers leurs besoins de financement, leurs projets d'innovation ou même le personnel nécessaire au développement d'une activité nouvelle. Les soutiens qu'elle leur apporte, prennent principalement la forme de prêts ou d'avances remboursables. Oseo a également intégré, à son activité, les soutiens attribués, à partir de 2005, à de grands projets industriels par l'Agence de l'innovation industrielle,

dont la cible a été modifiée, de telle sorte qu'elle concerne aujourd'hui des projets de taille plus réduite, portés par des entreprises de taille moyenne (procédures du programme Innovation Stratégique Industrielle – ISI).

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche (MESR)/Agence Nationale
de la Recherche (ANR)

Depuis 2005, le ministère chargé de la Recherche a recentré son activité sur le pilotage général de la recherche en France, à travers sa tutelle sur les grands organismes et les universités, ainsi que sur l'Agence nationale de la recherche (ANR), désormais en charge des financements sur projet. Le MESR a élaboré récemment la Stratégie nationale de recherche et d'innovation (SNRI). Créée en 2005, l'ANR est une agence de moyens, finançant des projets à la fois de recherche de base, voire fondamentale, et de recherche appliquée, notamment en encourageant des partenariats entre recherche publique et recherche privée. A la différence de l'intervention du ministère chargé de l'Industrie, celle de l'ANR vise des recherches plus en « amont », avec des retombées à moyen et long termes, même si l'industrie est très impliquée dans les projets coopératifs. Le budget annuel de l'ANR, d'environ 900 M€, couvre une soixantaine de programmes. En ce qui concerne le domaine des transports, l'ANR pilote actuellement un programme dédié, intitulé VTT (véhicules pour les transports terrestres), qui couvre deux grandes thématiques : « énergie & environnement », d'une part, et « qualité & efficacité des systèmes de transport », d'autre part. Mais d'autres programmes, bien que non dédiés aux transports, peuvent aussi y concourir, notamment, en ce qui concerne les véhicules individuels : Stock-E (pour le stockage de l'énergie embarquée), Pan-H (pour l'hydrogène et les piles à combustibles), Villes durables (pour la place de l'automobile dans les villes et les nouveaux services de mobilité).

L'Ademe

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie existe sur ce périmètre thématique depuis 1990. Placée sous la tutelle conjointe du ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat (MEEDDM) et du MESR, elle a en charge le déploiement, dans les territoires et dans les milieux économiques, de la politique environnementale de l'État. Dans le cadre de cette mission, l'Ademe soutient des projets de recherche appliquée visant à réduire les impacts énergétiques et environnementaux des transports, soit *via* la technologie des véhicules, soit à travers l'organisation, soit par une action sur les com-

portements et les pratiques des usagers. Par-delà ses propres programmes, l'Agence est parfois appelée à mettre en œuvre des programmes exceptionnels, décidés par le Gouvernement en vue d'accélérer le rythme d'innovation. Ce fut notamment le cas du Plan véhicules propres et économes, décidé en septembre 2003 par le Premier ministre Jean-Pierre Raffarin, et mis en œuvre, au cours des années 2004 et 2005, par l'Ademe au moyen d'un budget de recherche d'un montant de 40 M€. C'est encore le cas, depuis l'été 2008, avec le Fonds pour des démonstrateurs, créé à la suite du Grenelle de l'Environnement (voir plus bas) et doté de 400 M€ de budget. Ce fonds vise à accroître l'efficacité énergétique et à développer les nouvelles technologies de l'énergie (dont les véhicules décarbonés).

Le MEEDDM

On finira ce parcours avec le ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat, dont l'intervention en faveur de la recherche et de l'innovation est également significative. Cette intervention se concrétise, tout d'abord, à travers le pilotage d'un réseau scientifique et technique dense et très lié aux territoires, avec, pour ce qui concerne le secteur des transports, l'Institut national pour la recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS), le Laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC) et ses huit centres techniques, répartis sur tout le territoire national, parfois secondés par des laboratoires régionaux. Avec l'intégration de la politique de l'énergie dans son champ de compétence, le MEEDDM accroît son implication à travers le pilotage des grands organismes de recherche de ce domaine, notamment, le CEA et l'IFP. Parallèlement à ce rôle de tutelle ou d'orientation, le MEEDDM intervient également en finançant des projets relevant de son périmètre de compétence. Ces projets sont très directement liés aux politiques publiques : ils visent soit à éclairer celles-ci, soit à expérimenter les outils de leur mise en œuvre. Pour ce qui concerne les véhicules individuels du futur, cette intervention a porté notamment sur le domaine de la sécurité routière. On notera enfin que le MEEDDM est très fortement engagé dans le Prédit (voir ci-après), dont il assure notamment le secrétariat permanent.

Un dispositif de coordination : le Prédit

Comme le montre notre énumération, les modalités de l'engagement de l'État dans la recherche et l'innovation sont diverses. Je me suis limité au niveau national, mais on pourrait ajouter les dispositifs qui opèrent à l'échelle européenne, principalement le Programme cadre de recherche et de développement (PCRD) et

Euréka, qui sont également des formes de l'engagement de l'État français. L'ensemble de ce « paysage » est parfois considéré comme trop complexe ; il contraindrait les acteurs de la recherche à une « gymnastique » excessive. Je crois cependant que cette diversité a une grande vertu : celle de couvrir toute la chaîne du progrès, depuis la recherche de base (y compris socio-économique) jusqu'à l'expérimentation, en passant par la recherche/ développement, les démonstrateurs et les prototypes. Mais une condition d'efficace de cette diversité est la coordination, la mise en cohérence de ces divers maillons ; tel est l'objectif auquel répond le Prédit, le Programme de Recherche et d'Innovation dans les Transports terrestres. Il s'agit d'une coordination souple, qui s'appuie sur un protocole d'accord signé pour des périodes de 5 ans, et qui laisse à chacun la maîtrise de ses décisions en matière de financement de projets. Le protocole du Prédit 4 (2008-2012) a été signé en 2008 par le ministre chargé du Développement durable et le secrétaire d'État aux Transports, la ministre de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi et le secrétaire d'État à l'Industrie, la ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, la directrice générale de l'ANR, la présidente de l'Ademe et le président d'Oséo. Ce protocole porte sur la coordination d'actions de soutien à la recherche et à l'innovation, représentant un montant total de 400 M€ sur 5 ans. Cette coordination s'exerce de la définition des orientations générales jusqu'à la diffusion des résultats, en passant par les phases de programmations annuelles et leur mise en œuvre, d'expertise des projets, de suivi et de capitalisation des résultats. Le champ de ce programme couvre l'ensemble des transports terrestres (routier et ferroviaire) et fluvial, de marchandises comme de passagers, individuels et collectifs. Ses finalités portent sur les technologies et les services, ainsi que sur les connaissances et les outils pour les politiques publiques. Les ministères et agences se sont accordés sur 6 priorités thématiques, qui structurent par conséquent ce programme : Énergie et environnement, Qualité et sécurité des systèmes de transport, Mobilités dans les régions urbaines, Logistique et transport de marchandises, Compétitivité de l'industrie des transports et Politiques de transport.

DES PRIORITÉS THÉMATIQUES ASSEZ CLAIRES, AUJOURD'HUI DOMINÉES PAR LES ENJEUX ÉNERGÉTIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

Compte tenu de la qualité des acteurs réunis et du travail important qui a conduit au protocole du Prédit 4, on peut légitimement considérer que ces priorités expriment et structurent l'engagement de l'État dans la recherche et l'innovation pour les transports terrestres ; je vais maintenant les détailler, en centrant mon propos sur le véhicule individuel du futur :

– Énergie et environnement

Il s'agit là, évidemment, de la grande priorité du moment et le Grenelle de l'environnement a donné une impulsion nouvelle à l'engagement de l'État dans la R&D orientée par ces enjeux, puisque le Président de la République a annoncé, à l'issue du Grenelle, un effort supplémentaire de 1 milliard d'euros, sur 4 ans, dans ce domaine. Déjà mobilisateur de 50 % des crédits attribués dans le cadre du Prédit 3 (2002-2007), ce domaine voit son centre de gravité se déplacer des enjeux de pollutions locales, qui restent cependant tout à fait d'actualité (oxydes d'azote et particules, ozone, bruit), vers les enjeux climatiques et la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le moteur thermique, qui domine encore les marchés pendant une certaine période, peut gagner en sobriété, notamment à travers le *downsizing* (procédé consistant à réduire la cylindrée, en ajoutant éventuellement une puissance additionnelle grâce à la turbo-compression) et l'hybridation douce (alternateur-démarrateur et récupération de l'énergie de freinage). Mais la cible principale de la R&D, en la matière, est désormais le véhicule décarboné rechargeable, qu'il soit tout électrique ou hybride. Au-delà de l'activité « courante » coordonnée dans le Prédit, qui doit se focaliser plus qu'auparavant sur ce domaine, le Grenelle a conduit à la mise en place d'un fonds destiné à des démonstrateurs : plusieurs projets sont déjà en cours d'engagement, à la suite d'un premier appel à manifestations d'intérêt, lancé par l'Ademe en 2008, et d'autres projets restent à venir. Une autre impulsion consécutive au Grenelle est la création de plateformes d'innovation, qui sont des concentrations de compétences et d'infrastructures visant à faire sauter les principaux verrous. Deux projets avancent, qui concernent le véhicule individuel : Movéo Dege (sur les essais de véhicules électriques et hybrides) et Steeve (sur le stockage de l'énergie embarquée). Au total, comme l'a annoncé le Président de la République au dernier Salon de l'Auto, l'État apportera 400 M€ sur 4 ans pour le progrès des véhicules décarbonés. Cet effort est structuré au sein d'un plan, et il bénéficie de l'appui d'un coordinateur interministériel, M. Jean-Louis Legrand. Il comporte aussi une réflexion, en cours, sur les infrastructures de recharge et les dispositifs destinés à susciter la constitution du marché, notamment à travers des achats coordonnés entre gestionnaires publics et privés de flottes de véhicules professionnels.

– Sécurité routière

La sécurité routière était, à la fois, un des grands chantiers du dernier septennat de Jacques Chirac et une des trois priorités du Prédit 2002-2007. La politique de contrôles/sanctions a permis d'obtenir des résultats très significatifs, mais l'objectif de passer au-dessous de 3 000 tués sur les routes et de maintenir durablement ce

résultat, suppose que les véhicules et leurs interactions (entre eux et avec l'infrastructure) continuent de s'améliorer. La sécurité passive ayant pratiquement atteint ses limites (ceintures de sécurité, airbags, structure des véhicules), la recherche concerne aujourd'hui la sécurité active, celle qui vise la prévention des accidents par l'information ou l'alerte du conducteur, ou la réduction de leur gravité, pour les occupants comme pour les autres victimes (piétons, notamment), par des dispositifs de freinage d'urgence ou d'adaptation morphologique (mouvement du capot atténuant le choc, dans les cas de renversement d'un piéton, par exemple). Deux questions se posent, aujourd'hui, en ce qui concerne la diffusion de ces technologies de sécurité active, se traduisant par une assistance apportée au conducteur, voire par une prise en main totale du véhicule : les responsabilités des constructeurs, des équipementiers ou des garagistes ne risquent-elles pas de se trouver engagées, aux côtés de celle des conducteurs ? Une diffusion massive de ces technologies est-elle compatible avec les tendances actuelles à la réduction des prix ?

grès en matière de transports. Il s'agit, en effet, de technologies diffusantes : localisation, capteurs, caméras vidéo embarquées, information du conducteur, technologies de communication (GSM, Wifi, radio...), automatismes ; tout ceci s'accompagnant de calculateurs et de multiples logiciels. Globalement, la part de ces systèmes embarqués dans la valeur ajoutée des véhicules et dans l'innovation s'est considérablement accrue, depuis déjà deux décennies, et ce mouvement est loin d'être terminé (voir, sur ce sujet, l'ouvrage de synthèse réalisé par M. Xavier Apolinariski (du CEA) et publié par le Prédit à la Documentation française). Les usages de ces technologies sont multiples : gestion de l'énergie, diagnostics internes, sécurité, gestion du trafic, régulation et orientation des flux, informations diverses apportées au conducteur (offre de stationnements, inter-modalité, services divers). Le soutien de l'État aux recherches dans ce domaine est justifié, à la fois, d'un point de vue de politique des transports et d'un point de vue de compétitivité des entreprises.

– Des véhicules intelligents et communicants

Cette thématique n'apparaît pas en tant que telle dans la structure de programmation du Prédit 4, car elle est désormais présente dans plusieurs des champs de pro-

– Les véhicules du futur, les systèmes de transport, la société

Les points de vue technologiques décrits ci-dessus ne peuvent être correctement orientés sans une réflexion approfondie portant, à la fois, sur l'évolution prévisible



© Jean-Claude Moschetti/REA

Panneau routier : aire de covoiturage.

ou souhaitée de la mobilité et de l'organisation des déplacements, et sur les politiques publiques nécessaires pour les impulser ou les accompagner. Les défis énergétiques et environnementaux, ainsi que les problèmes de congestion du réseau routier, conduisent inéluctablement à un développement de la multimodalité (un jour, j'utilise ma voiture, le lendemain, un transport collectif...) et de l'intermodalité (d'abord, ma voiture ou un vélo, puis un transport collectif, puis un vélo ou la marche à pied...) : nous sommes et nous serons, tous, de plus en plus, multimodaux et intermodaux. D'où l'importance des technologies, des aménagements et des services qui rendront plus faciles, agréables (voire utiles) ces enchaînements et ces interfaces. Une autre évolution, liée à la précédente, concerne le statut des véhicules et l'émergence du libre service, ou du véhicule partagé. Il s'agit encore (et il s'agira probablement longtemps) d'une niche, mais les succès récents du vélo, et le projet parisien en la matière, peuvent augurer d'une place moins marginale de ces dispositifs dans l'offre de transport en milieu urbain. La recherche et l'innovation doivent être présentes pour précéder et pour accompagner ces évolutions sociétales, notamment en éclairant les politiques publiques sur les mesures à prendre dans les domaines de la tarification

et de la réglementation. Une recherche prospective conduite dans le cadre du Prédit 3 a montré que l'objectif du «facteur 4» (consistant à diviser par quatre nos émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2050, par rapport à celles constatées en 1990), ne pouvait être satisfait qu'à hauteur de 50 % (ou légèrement plus) par le seul jeu des progrès technologiques. Le gain restant est donc à trouver dans l'évolution des comportements individuels et dans la mise en place d'organisations adéquates. Comment organiser une mobilité plus sobre, sans pénaliser l'économie, ni accroître les inégalités ? : voilà une question à laquelle la recherche doit aider à répondre, et qui concerne, aussi, le véhicule individuel du futur.

J'espère avoir montré que l'engagement de l'État dans tous ces domaines est conséquent. Cet engagement est incontournable (et tous les pays industrialisés font de même), tant le secteur des transports est, à la fois, un grand secteur industriel et économique, un élément central du fonctionnement de nos sociétés et, du fait de ses implications dans les impacts énergétiques et environnementaux, un secteur clé pour les équilibres que nous avons à trouver et à construire, afin de répondre aux objectifs et aux impératifs du développement durable.

Le pôle Mov'eoTEC

LES STRATÉGIES
DES ACTEURS

Mov'eo est aujourd'hui en France un des pôles de compétitivité les plus prometteurs. Mov'eoTEC, sur le site de Versailles-Satory, « grand Institut de la mobilité durable dédié au développement du véhicule décarboné », en est le projet phare. Il s'inscrit désormais dans le cadre du plan du Grand Paris, annoncé officiellement par le Président de la République, le 29 avril 2009...

par **Guy BOURGEOIS***

Mov'eo n'existerait pas si deux pôles de compétitivité, sélectionnés en Juillet 2005, Normandy Motor Valley (réparti entre la Haute et la Basse Normandie) et VESTAPOLIS (concentré sur Versailles-Satory) n'avaient pas fusionné. Mais ces deux pôles n'auraient pas pu fusionner, s'ils n'avaient d'abord existé...

L'occasion m'est donnée, aujourd'hui, de raconter l'histoire de ce pôle de compétitivité, telle que je l'ai vécue, en première ligne, depuis 2003. Il n'est pas de projet de cette ampleur, qui ne soit avant tout un projet collectif, fédérant énergies et volontés. Mon rôle aura été, pour sa partie la plus facile, de fédérer les énergies, et pour la partie la plus prenante et ingrate, de lever un à un les nombreux obstacles placés en travers de notre route, et sur lesquels nous avons à plusieurs reprises failli trébucher.

DU LIVIC À VESTA

Cette histoire commence il y a dix ans, en 1999, année où une petite équipe commune à l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS) et au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), emmenée par Jean-Marc Blosseville (de l'INRETS) et Jacques Ehrlich (du LCPC), décide de s'installer sur le site de Versailles-Satory pour y créer un nouveau laboratoire de recherche commun aux deux instituts, dont le nom annonce le programme futur : le Laboratoire sur les Interactions Véhicules-Infrastructures-Conducteurs (LIVIC). Le choix de Satory résultait d'une recherche d'implantation effectuée par les deux hommes, qui voulaient que leur laboratoire puisse dis-

poser de pistes d'essais ; le GIAT-Industries (aujourd'hui, NEXTER), un peu esseulé sur le plateau de Satory, leur avait ouvert grand ses portes.

C'est dans ce contexte que le PREDIT (le Programme de Recherche et d'Innovation pour les Transports Terrestres) avait lancé un grand programme de recherche doté de 15 M€, l'ARCOS (Action de Recherche pour une Conduite Sécurisée), qui a pu, durant quatre ans, porter une soixantaine d'actions de recherches regroupant un panel impressionnant de partenaires publics et privés. Dans la foulée d'ARCOS, un autre grand projet, le LAVIA (Limiteur assujettissant à la vitesse autorisée), piloté par le LIVIC, avait été lancé. On retrouve aujourd'hui, réunis dans Mov'eo, tous les partenaires qui se sont rassemblés, au fil du temps, autour de ces projets.

En décembre 2002, la priorité est à la Sécurité routière ; c'est là un des grands projets du Président de la République (Jacques Chirac) et l'on assiste à une véritable mobilisation générale. Le Comité Interministériel de Sécurité Routière (CISR) du 18 décembre 2002, resté célèbre dans les mémoires par l'instauration du contrôle/sanction automatisé (les fameux « radars »), avait également retenu un important programme de recherche, dans le cadre duquel une commande précise avait été passée : évaluer la possibilité de faire évoluer les pistes d'essai de Versailles-Satory (historiquement dédiées aux activités militaires) vers une infrastructure de recherche civile mobilisable pour les besoins de la sécurité routière.

C'est ainsi que j'ai fait la connaissance du site de Versailles-Satory : en effet, ayant été nommé Directeur

* Directeur Général de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS).

général de l'INRETS en janvier 2003, ma lettre de mission me demandait de prendre ce dossier en charge. Avec l'équipe du LIVIC, les principaux partenaires d'ARCOS ont été remis au travail, si bien qu'au printemps 2004, j'étais en mesure de remettre à mon Conseil d'administration – et donc, par ce canal, à la fois aux partenaires industriels qui en sont membres, et aux ministères concernés – le projet Versailles Sécurité Technologies Avancées, dont l'acronyme, VESTA, est aussi le nom de la déesse romaine chargée de veiller sur la sécurité des foyers.

DE VESTA À VESTAPOLIS

Le rapport VESTA suivait tranquillement son chemin dans les circuits interministériels quand, à l'automne 2004, ce fut le branle-bas de combat : le Gouvernement venait de lancer l'appel d'offres sur les pôles de compétitivité et, de l'avis concordant des trois ministères concernés (Équipement, Recherche et Industrie), VESTA constituait une base très solide pour le lancement d'un projet de pôle de compétitivité consacré à la sécurité routière.

Aujourd'hui, les pôles de compétitivité sont bien installés dans le paysage. Mais j'invite nos lecteurs à se replonger dans l'ambiance de cette fin d'année 2004. L'appel d'offres sur les pôles de compétitivité requérait, tout à la fois, des concentrations territoriales fortes (les *clusters*) et des bases géographiques larges. Au sein du Gouvernement, le débat était vif entre les tenants d'un très petit nombre de pôles de compétitivité très puissants, et les partisans d'une ouverture beaucoup plus large à des initiatives de toute taille. Le Conseil régional de l'Île-de-France avait fait savoir qu'il soutiendrait un petit nombre de pôles puissants – parmi lesquels le projet du futur System@tic était donné gagnant, avant même d'avoir été rédigé. Le Gouvernement avait, en outre, spécifié très clairement que les projets de pôle de compétitivité devaient être portés par des industriels. Or, la vive concurrence qui régnait entre PSA-Peugeot Citroën et Renault n'incitait ni l'un, ni l'autre à vouloir jouer le premier rôle.

Bref, toutes les conditions étaient réunies pour que le projet de Satory n'ait aucune chance. Et pourtant...

Il reçut d'abord deux soutiens de poids : d'une part, celui de VALEO, qui, ayant décidé de redéployer ses partenariats de recherche, s'était rapproché de l'INRETS et voyait dans le cadre nouveau des pôles de compétitivité une réponse idéalement en phase avec sa nouvelle stratégie et, d'autre part, celui du Conseil général des Yvelines, pour lequel le soutien à la recherche et à l'innovation de l'industrie automobile constituait l'axe central de sa politique économique. Après avoir fortement contribué à faire venir dans les Yvelines le Technocentre de Renault et le centre de design avancé de PSA Peugeot-Citroën, le Conseil général

acceptait d'apporter un très fort soutien à un projet, qui cadrerait parfaitement avec sa politique. Le soutien du maire de Versailles était lui aussi acquis, Satory étant le seul lieu disponible pour le développement d'activités économiques sur sa commune (mais, on le verra, sa position n'allait pas être des plus simples, au cours des débats qui allaient suivre).

Nous nous étions fixés l'objectif de vaincre les réticences du Conseil régional. Présenter notre dossier sans son soutien nous paraissait impossible. Il nous fallait franchir trois obstacles : faire accepter un sixième projet (alors que le Conseil régional avait fait savoir qu'il s'en tiendrait à cinq), présenter un projet destiné à être implanté dans l'Ouest francilien, alors que System@tic était donné gagnant, et que la consigne était le rééquilibrage vers l'Est et, surtout, défendre un projet de soutien à l'automobile, alors que les Verts, qui ne voulaient pas en entendre parler, venaient de faire leur entrée au Conseil régional...

Notre stratégie était d'enrichir le projet, en l'élargissant au-delà de sa seule dimension automobile : le thème allait devenir la mobilité urbaine, et s'élargir. C'est alors que VESTA est devenu VESTAPOLIS...

En janvier 2005, le projet reçut deux nouveaux soutiens, déterminants pour la suite : ceux de l'Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ) et de VEOLIA Transport. La première apportait dans la corbeille l'Hôpital Raymond Poincaré de Garches, ainsi que son action, conjointe avec l'INRETS, de prise en charge de la mobilité des personnes handicapées ; le second y apportait, bien entendu, les transports collectifs.

Jusqu'au printemps, au rythme d'une réunion hebdomadaire (tous les lundis soir) à la mairie de Versailles, le projet VESTAPOLIS a été rédigé, discuté, amendé, jusqu'à sa version finale, qui put être déposée en temps et en heure. Dans la dernière ligne droite, il nous fallait collecter des lettres de soutien. Les équipes de Renault, qui s'étaient finalement bien impliquées dans la rédaction du projet, étaient assurées que la lettre de soutien de leur groupe ne tarderait pas à arriver ; ce fut en réalité la dernière à le faire, in extremis. Les équipes de PSA-Peugeot-Citroën avaient veillé à ce que rien, dans le projet, ne puisse indisposer leur groupe. Elles furent les premières surprises de la rapidité de l'arrivée de sa lettre de soutien (le fonctionnement des grands groupes industriels réserve parfois des surprises...)

La seule lettre de soutien qui manquait vraiment, était celle du Conseil régional de l'Île-de-France. Pourtant, VESTAPOLIS avait fortement remonté la pente, notamment grâce à sa participation active aux assises de l'automobile organisées par l'ARD (Agence régionale de Développement), mais pas assez, toutefois, pour faire fléchir les oppositions internes. Le Préfet de Région accompagna le dossier d'une lettre de soutien, qui recommandait vivement au Gouvernement de passer outre l'opposition du Conseil régional.

Le 12 juillet 2005, le verdict tombait : VESTAPOLIS était labellisé. Le même jour, l'Assemblée générale

constitutive de l'association qui allait gérer le pôle, se réunissait, et j'étais porté à sa présidence. Sur les 85 pôles de compétitivité qui avaient réussi leur examen de passage, VESTAPOLIS était le seul à déroger à deux des conditions posées : a) il ne bénéficiait pas du soutien de son Conseil régional ; b) il n'était pas présidé par un industriel...

DE VESTAPOLIS À MOV'EO

La naissance de VESTAPOLIS fut célébrée en grande pompe : les membres du Gouvernement s'étaient répartis les rôles, et c'est M. Gilles de Robien, le ministre de l'Équipement (chargé de la sécurité routière), qui vint, en personne, sur le site de Satory lui donner son caractère officiel. Il annonça alors ce que la lettre officielle du Premier ministre allait confirmer, quelques jours plus tard : VESTAPOLIS était invité à se rapprocher de Normandy Motor Valley.

Le 30 août 2005, à Reims, le Président de la République avait invité le ban et l'arrière-ban des responsables des pôles de compétitivité naissants à interrompre leurs vacances pour participer à une réunion solennelle de lancement. C'est là que j'ai rencontré, pour la première fois, Jean-Dominique Wagret, le Président de Normandy Motor Valley : nous ne savions, ni l'un, ni l'autre, ce jour-là, que c'était le début d'une aventure commune, et que nous allions vivre ensemble de grands moments !

Il nous était demandé de nous rapprocher : nous allions, donc, nous rapprocher... Très vite, il est apparu que nos deux pôles allaient travailler sur un thème commun, l'énergie embarquée, et plus particulièrement sur les véhicules hybrides. Nous avons donc élaboré un protocole d'accord, que nous avons joint aux projets de contrats-cadres que nous devions élaborer, et dont la signature officialiserait le démarrage des pôles, en leur apportant le nerf de la guerre, j'ai nommé les financements publics.

Et c'est là qu'un véritable coup de tonnerre retentit, dans un ciel demeuré jusqu'alors parfaitement serein : au terme de leur procédure d'élaboration, la liste des contrats-cadres finalisés des 85 pôles labellisés était diffusée. Or, elle ne comportait que 83 noms : les deux absents n'étaient autres que... VESTAPOLIS et Normandy Motor Valley ! Cela, sans la moindre explication !...

Le seul message que Jean-Dominique Wagret et moi-même reçûmes alors, était que nous allions bientôt être convoqués à une réunion de clarification. Cette explication eut lieu dans le bureau du Directeur général de l'Industrie : « Vous n'avez pas bien interprété la lettre de notification que vous avait adressée le Premier ministre : il vous était demandé non pas de vous rapprocher, mais de fusionner ». La seule chose sur laquelle nous sommes tous tombés instantanément d'accord, c'est que personne, mais strictement personne, n'avait

interprété la lettre du Premier ministre de manière correcte...

Je dois avouer que je n'ai jamais réussi à élucider ce qui s'était réellement passé. Mon interprétation est qu'au terme de la procédure de labellisation, nos hautes autorités ont réalisé que la France venait de se doter de cinq pôles de compétitivité dédiés à l'automobile, sur onze pôles dédiés aux transports. Cela ne faisait pas très sérieux, en regard de l'importance de l'automobile en France, qui n'avait manifestement pas réussi à promouvoir un seul grand pôle, qui eût un rayonnement international. Parmi ces cinq pôles, deux étaient géographiquement voisins, et ils avaient déjà commencé à travailler ensemble : il suffisait donc de les fusionner. Nous allions donc être convoqués à nouveau, quelques jours après, afin d'engager ce processus de fusion.

Normandy Motor Valley avait commencé à fonctionner, l'association porteuse du pôle ayant déjà reçu notamment les subventions promises par les deux régions normandes. En revanche, VESTAPOLIS était paralysé avant même d'avoir commencé à exister : nous ne recevions aucune subvention tant que nous n'aurions pas fusionné...

Là encore, j'invite nos lecteurs à se replonger dans l'ambiance du moment : nous venions, au terme d'une année de travail intense, tant du côté de Normandy Motor Valley que de celui de VESTAPOLIS, de créer deux associations, avec leurs statuts, leur conseil d'administration, leurs programmes de travail... et la première commande que nous passaient les pouvoirs publics, c'était l'injonction de fusionner...

Or, cette fusion créait un grave déséquilibre entre PSA-Peugeot-Citroën et Renault. Normandy Motor Valley était un « pôle Renault » ou, tout du moins, il était perçu comme tel, alors que VESTAPOLIS avait réussi à établir un équilibre entre les deux constructeurs français. La fusion générait donc un pôle « Renault ». Inacceptable, pour PSA-Peugeot-Citroën, qui « contreproposait » alors un mariage à trois : il suffisait d'étendre la fusion à « Véhicule du Futur », le pôle alsacien, perçu, quant à lui, comme étant « le pôle PSA-Peugeot-Citroën ». L'idée n'était pas dépourvue de pertinence, mais elle finit de semer la confusion dans les esprits.

Le Directeur général de l'Industrie convia donc tous les protagonistes à une grande réunion (à laquelle chacun devait arriver muni d'un mandat clair), qui devait être décisive. Elle apporta deux informations très précieuses : le Conseil régional d'Île-de-France ne soutiendrait le pôle issu de la fusion que si, et seulement si, il recevait le label de pôle mondial ; PSA-Peugeot-Citroën ne s'opposerait pas au processus de fusion et, conformément à sa position constante, il participerait au pôle, mais sans prendre la moindre responsabilité dans sa structure de gouvernance. On pouvait alors décider de mettre en place un comité de fusion, tenu de rendre ses conclusions dans les meilleurs délais possibles.

Je ne me mets que rarement en colère, mais là, je me suis lâché : il nous fallait, sans aucune aide, avec seulement la bonne volonté de quelques volontaires débordants,



© D.R.

La signature du contrat cadre de Mov'eo, le 19 janvier 2006, par Nicolas Sarkozy, ministre d'Etat, Jean-Dominique Wagret, président de Normandy Motor Valley, et Guy Bourgeois, Président de Vestapolis.

dés, gérer un processus d'une rare complexité ; j'ai donc dit haut et fort que, soit les pouvoirs publics finançaient un contrat d'assistance technique pour mener à bien ce processus de fusion, soit je prenais enfin des vacances amplement méritées ! Cette colère a conduit au déblocage des 80 000 euros, qui ont permis la mise en place de l'indispensable assistance technique...

Le comité de fusion s'est mis au travail. Un véritable cauchemar : en dépit de toutes les bonnes volontés, comment faire travailler ensemble un groupe aussi hétérogène, constitué de deux sous-groupes qui étaient partis dans des directions différentes ? Nous avons, d'un côté, un *cluster* très concentré sur une zone géographique limitée, organisé autour de la gestion d'un très grand moyen d'essais mutualisé, les pistes de Satory, et, de l'autre, un réseau réparti sur le territoire de deux régions – deux sous-groupes qui avaient fait des choix de gouvernance très différents (dans VESTAPOLIS, la Ville de Versailles et le Conseil général des Yvelines étaient membres de droit du Conseil, tandis que du côté de Normandy Motor Valley, ce rôle était dévolu aux deux régions normandes).

Un peu avant les vacances de Noël, Jean-Dominique Wagret et moi-même, nous prîmes ensemble la décision qui allait sortir le dispositif de l'ornière. Nous étions accusés, de façon insidieuse, l'un et l'autre, de nous opposer au dispositif de fusion, pour des raisons d'ambition personnelle. Il nous fallait réagir : nous

avons mis le marché entre les mains du consultant que nous étions en train de mettre au travail. La proposition de fusion devait être prête au début du mois de janvier, après avoir été préparée par le maximum possible de discussions bilatérales avec les membres du comité de fusion et, début janvier, nous allions pouvoir retourner la situation : Jean-Dominique et moi, nous mettrions la proposition de fusion sur la table, et ceux qui n'étaient pas d'accord devraient le dire, l'expliquer et proposer leurs propres solutions.

La mécanique a très bien fonctionné : au-delà même des espérances. Notre consultant avait fait un travail remarquable de précision et de finesse. Nous avons même réussi à trouver un nom : Movéo, qui deviendrait, un peu plus tard, pour de subtiles questions de droits de propriété intellectuelle : Mov'eo ... et nous avons pu commencer à délivrer un message d'optimisme.

Et c'est là qu'est intervenu un événement inattendu : Nicolas Sarkozy, alors ministre d'État, ministre de l'Intérieur et de l'Aménagement du territoire et, à ce titre, ministre des pôles de compétitivité, avait fait savoir qu'il se rendrait en Normandie le 19 janvier 2006 et qu'à cette occasion, il voulait signer le protocole constitutif de Mov'eo !

Cette annonce eut l'effet escompté : les dernières divergences étant levées, les derniers documents furent rédigés en un temps record, si bien que le 19 janvier,

comme prévu, la création de Mov'eo était officiellement actée par le ministre d'Etat en personne.

MOV'EO SE MET EN ORDRE DE MARCHÉ

Certes, la naissance de Mov'eo était officiellement annoncée. Mais, provisoirement, plusieurs difficultés avaient été soigneusement mises de côté.

Tout d'abord, Mov'eo n'avait pas de Président. La règle du jeu voulait que ce soit un industriel qui présidât un pôle de compétitivité. Or, ni PSA-Peugeot-Citroën, ni Renault n'en voulaient. L'hypothèse d'une présidence par Valéo circulait sous le manteau, mais sans provoquer l'enthousiasme des deux constructeurs nationaux. Comme il fallait bien faire marcher le dispositif, nous avons prévu, dans le contrat avec l'Etat, que, tant que l'assemblée générale de Mov'eo n'aurait pas élu son président, Jean-Dominique Wagret et moi-même en serions les co-présidents. Pendant six mois, notre attelage a su fonctionner : nous avons mis en place toutes les structures opérationnelles de Mov'eo, à partir de la petite structure dont s'était dotée Normandy Motor Valley ; VESTAPOLIS, en tant que structure associative, continuait à fonctionner, si bien que nous avons pu parer au plus pressé. Et, un beau jour du printemps 2006, une « fumée blanche est sortie de la cheminée » du bureau dans lequel s'étaient enfermés les responsables du GIE Renault-PSA : la présidence de Mov'eo allait pouvoir être confiée à Jacques Lacambre, qui allait bientôt quitter la direction du Technocentre de Guyancourt pour une retraite bien méritée, mais qui était prêt à reprendre du service actif ; ce ne serait donc pas Renault qui présiderait Mov'eo, mais un ancien de Renault qui avait su, tout au long de sa carrière, se créer des liens d'estime et d'amitié au sein du groupe concurrent (soupirs de soulagement, dans les ministères...). La deuxième difficulté se situait dans le champ scientifique. Dans la dernière ligne droite, le comité de fusion avait voulu rajouter aux trois « domaines d'actions stratégiques » (les « DAS », qui structurent scientifiquement Mov'eo – l'énergie, la sécurité routière et les services de mobilité) un quatrième DAS, la mécatronique. Un axe fort s'était constitué autour de Renault et de Valéo, qui allait grandement dans le sens de cette idée. Il n'y avait pas de difficulté de fond, mais un grand risque de voir brusquement déséquilibré le travail laborieusement accompli par le comité de fusion. En effet, le Conseil général des Yvelines soutenait, par ailleurs, le développement du Pôle mécatronique du Mantois, qui n'était pas entré dans la cartographie de Mov'eo et, par ailleurs, l'équilibre entre les deux Normandies et l'Île-de-France était encore bien fragile. Le problème trouva sa solution dans le bureau du Président du Conseil général des Yvelines, qui se rallia à la position des industriels : la recherche en mécatronique se ferait sur le site de Versailles-Satory, et les développements industriels ultérieurs seraient localisés dans le Mantois, qui

aurait vocation, le moment venu, à constituer un nouveau site au sein de Mov'eo.

Et puis, l'arrivée du DAS Mécatronique permettait un bon accord entre les industriels : Renault, très engagé depuis la constitution de la Normandy Motor Valley, présiderait le DAS Energie et Valéo, le DAS Mécatronique, tandis que PSA acceptait finalement la présidence du DAS Sécurité Routière, et que VEOLIA Transports prenait en charge le DAS Services de Mobilité. L'équilibre trouvé était parfait : tout était pour le mieux, dans le meilleur des mondes possibles... Restait la troisième difficulté : l'équilibre entre les collectivités territoriales. L'accord sur le contrat cadre n'avait été donné que du bout des lèvres. Les collectivités territoriales fondatrices de Normandy Motor Valley et de VESTAPOLIS étaient devenues, ensemble, les collectivités territoriales fondatrices de Mov'eo ; elles étaient représentées, de droit, au sein de son Conseil d'administration, dans un collège *ad hoc*. Pour Normandy Motor Valley, il s'agissait des deux Conseils régionaux normands. Pour VESTAPOLIS, il s'agissait du Conseil général des Yvelines et de la Ville de Versailles. Il fallait évidemment y ajouter le Conseil régional d'Île-de-France. Mais fallait-il, pour autant, faire une place aux Conseils généraux et aux Villes normandes ? Normandy Motor Valley apportait dans la corbeille des comités régionaux, chargés d'animer la vie du pôle dans chacune des deux régions. Tandis que VESTAPOLIS apportait le Comité de site de Versailles-Satory. Le compromis consista en l'introduction d'un « comité régional » en Île-de-France et de comités de site, là où la nécessité s'en ferait sentir. Un comité territorial devait chapeauter le tout et permettre à tous de disposer d'une vue synthétique de l'activité du pôle dans les trois régions.

Il nous aura fallu de longs mois de négociations et une modification de nos statuts pour que nous puissions mettre l'ensemble en bon état de marche. Les représentants normands ne comprenaient pas notre attachement, en Île-de-France, pour les comités de site (après celui de Versailles-Satory, celui de Rueil-Malmaison, autour de l'IFP et un autre, nouveau, autour de la ville nouvelle de Cergy-Pontoise, avaient vu le jour). Le Conseil régional d'Île-de-France ne voulait pas que l'action francilienne se résumât à ces trois seuls sites. La disparition du site de Versailles-Satory était un véritable *casus belli* pour le Conseil général des Yvelines et la Ville de Versailles. L'idée salvatrice consista en la création, en Île-de-France, d'un comité régional, dont la mission consisterait à prendre en charge l'animation du réseau des PME. Ce comité pouvait ainsi avoir une véritable utilité et donc une authentique légitimité, sans apparaître, pour autant, aussitôt en conflit avec les comités de site.

Notre organisation territoriale est née dans la douleur. Mais, aujourd'hui, elle fonctionne parfaitement bien. L'équilibre est établi entre les comités régionaux et les comités de site d'Île-de-France. Le comité territorial labellise les « projets territoriaux structurants » : c'est un

lieu d'échange entre les responsables des comités régionaux. Ce modèle s'est en tout cas avéré suffisamment convaincant pour que, le moment venu, la fusion entre Mov'eo et MTA se soit réalisée dans ce cadre, en toute sérénité.

L'ÉMERGENCE DE MOV'EOTEC

Au printemps 2006, la vie du pôle s'était organisée, rythmée par les appels d'offres du FUI, les réunions des DAS et celles du « comité opérationnel » chargé de labelliser les projets. Le Comité de site de Versailles-Satory devait veiller au bon déploiement sur le site des projets, prévus dans le cadre de VESTAPOLIS et repris par Mov'eo. C'est de ces projets qu'allait émerger, progressivement, ce qui allait devenir Mov'eoTEC.

Le premier acte, majeur, fut la création du Centre d'Expertise et de Recherche pour la Mobilité des Handicapés (le CEREMH). L'UVSQ (avec, en son sein, la Fondation Garches) et l'INRETS, qui avaient engagé le mouvement, furent vite rejoints par l'AFM (Association Française contre les Myopathies) et l'APF (Association des Paralysés de France). On découvrait le retard français en la matière : alors que le Danemark exporte 80 % de sa production de matériels d'assistance à la mobilité des handicapés, la France importe 80 % de ses besoins. Moins de 2 000 handicapés, en France, valident chaque année un permis de conduire adapté, alors qu'ils sont 4 000 à le faire, en Belgique. L'enjeu est donc tout autant économique que social et ce, d'autant plus que la population européenne vieillit et que les aides à la conduite, qui auront été inventées afin d'aider des personnes handicapées seront fort utiles à certaines personnes âgées.

Le CEREMH est un enfant de Mov'eo ; mais il était impossible que l'association qui gère Mov'eo, assure également sa gestion : alors que faire ?

Pour régler ce problème, Mov'eo invente alors le concept de « projet territorial et structurant », qui pourra bénéficier du label du pôle de compétitivité. Un projet territorial et structurant doit s'inscrire dans les finalités d'un pôle, être ancré dans un territoire, rassembler des membres du pôle concerné et disposer d'une structure autonome ; le nôtre pouvait, dès lors, recevoir le label du pôle Mov'eo et bénéficier de son concours, en tant que de besoin et dans toute la mesure du possible. Le 20 décembre 2007, à Versailles, après plusieurs mois de gestation, le CEREMH, premier projet territorial et structurant de Mov'eo, qui avait été labellisé solennellement par le conseil d'administration de Mov'eo réuni au grand complet, prend son envol : son objectif est de s'installer à coté des pistes de Satory et d'y déployer une plateforme d'essais de fauteuils roulants : ainsi, un handicapé pourra être pris en charge par le CEREMH et essayer, sur place, les fauteuils roulants et les aides à la conduite les mieux adaptées à son handicap. Ce service n'existe nulle part ailleurs en France : les informations

qu'il recueillera seront particulièrement précieuses pour définir les programmes de recherche et d'expérimentation qui alimenteront, à leur tour, la filière d'innovation, qui va ainsi pouvoir se mettre en place.

Tous les acteurs de ce projet reconnaissent volontiers qu'il n'aurait jamais existé sans le pôle de compétitivité. En parallèle, un deuxième projet prenait corps. Les porteurs des projets de recherche dédiés à la mécatronique s'étaient très bien organisés au sein du DAS correspondant, si bien que le portefeuille des projets de recherche (labellisés, puis financés par le FUI) devenait conséquent. Pour les exécuter, il fallait rassembler les moyens d'essais et d'expérimentation nécessaires. Satory était l'endroit tout désigné pour cela, en raison de la complémentarité qu'apportaient ses pistes d'essais. Ce regroupement est à l'origine de Mov'eoTronics.

Un groupe de travail se mit en place pour passer de l'idée au projet. Le modèle du CEREMH pouvait-il servir ? Seulement en partie. Mov'eoTronics devait permettre la mutualisation de tout ce qui pourrait l'être, tout en permettant aux partenaires de protéger leurs biens propres (équipements, propriétés et secrets industriels). Mov'eo se trouvait confronté à cette question de la frontière entre ce qui peut être mis en commun et ce qui ne peut pas l'être. La réponse à cette question est cruciale : que le moindre doute vienne à s'instiller entre les partenaires, et c'est tout l'équilibre de la confiance mutuelle qui se rompt, chacun repartant de son côté... Le projet devient dès lors un projet de bâtiment, qui s'organise autour d'espaces partagés et d'espaces protégés, doublé d'un projet de structure juridique susceptible de porter les parties mutualisées, tout en hébergeant les parties privées. Le groupe de travail soupesait les avantages et inconvénients des trois options juridiques possibles (une association loi de 1901, une filiale commune ou un GIE), quand un nouvel outil fit son apparition dans le paysage : la fondation universitaire partenariale, rendue possible depuis l'adoption de la loi LRU (loi relative aux libertés et responsabilités des Universités), donnant l'autonomie aux universités et leur ouvrant un accès simplifié au dispositif des fondations d'utilité publique et, surtout, à leurs mécanismes privilégiés de financement.

Le processus de création de la fondation Mov'eoTronics pouvait alors s'engager autour de ses principaux partenaires. Cette création serait portée, comme le veut cette loi, par l'Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines.

Le troisième projet reçut le nom de Mov'eoLab. Il reprenait le fil tissé par VESTAPOLIS et les projets ARCOS et LAVIA. L'idée était de concentrer sur les (et autour des) pistes d'essais de Satory les moyens d'essais et d'expérimentation permettant de développer les concepts de sécurité active et d'interactions entre les véhicules, ainsi qu'entre les véhicules et les infrastructures. La mise au point des capteurs et des actionneurs, qui sont le fondement de la sécurité active, puis de leur qualification, constitue un enjeu majeur dans la compétition internationale pour « la route intelligente et

communicante». Un ensemble de moyens d'essais était imaginé, parmi lesquels l'instrumentation des pistes permettant de collecter, de rassembler et de traiter, dans des conditions optimales de rapidité et d'efficacité, les données des expérimentations effectuées sur les pistes, et un banc de tests (dits «de pré-crash») destiné à mettre au point les outils d'évitement des accidents.

Mov'eoLab générait à son tour des besoins immobiliers, qui s'ajoutaient à ceux du CEREMH et de Mov'eoTronics, mais aussi ceux d'un certain nombre de candidats à l'installation sur le site.

La décision d'implanter des laboratoires de l'INRETS sur le site de Versailles-Satory avait été prise, le 14 octobre 2005, par le Comité Interministériel d'Aménagement et de Compétitivité des Territoires (CIACT), celui-là même qui labellisait les pôles de compétitivité. Le schéma directeur des implantations de l'INRETS entérinait la décision de fermer son centre historique et son siège social d'Arcueil, de transférer son siège social à Lyon et de répartir ses laboratoires entre Versailles-Satory – alors siège de VESTAPOLIS – et Marne-la-Vallée – siège du pôle de compétitivité «Ville et Mobilité Durables», qui deviendra ultérieurement Advancity. L'échéance se rapprochait : il devenait de plus en plus urgent de trouver une solution immobilière pour l'INRETS.

C'est dans ce contexte qu'un nouveau candidat de poids à une installation sur le site de Versailles-Satory fit son apparition : l'ESTACA, une école d'ingénieurs formant aux métiers de l'automobile et de l'aéronautique, qui se trouvait à l'étroit sur son site de Levallois-Perret, et qui était désireuse d'élever le niveau de ses formations en développant ses laboratoires de recherche. Le rapprochement entre l'INRETS et l'ESTACA faisait sens en soi, l'un apportant la recherche et l'autre apportant ses étudiants ; ce rapprochement commençait à représenter une force de frappe considérable, aux côtés du CEREMH, de Mov'eoTronics et de Mov'eoLab.

Une à une, toutes les briques composant ce qu'il est convenu d'appeler un *cluster* avaient ainsi été rassemblées. Le nom de Mov'eoTEC s'imposa à tous, il s'agissait dès lors, au sens premier du terme, «d'occuper le terrain».

LA « BATAILLE DE SATORY »

On peut dire, sans exagérer, que 2007 aura été l'année décisive, celle de la «bataille de Satory». Car Mov'eo et Mov'eoTec n'étaient pas les seuls à lorgner sur cet espace de 35 ha idéalement situé...

Le précédent maire de Versailles, il y a une dizaine d'années, avait eu une parole qu'il avait qualifiée par la suite d'imprudente. Il avait déclaré vouloir faire de Satory le «huitième quartier de Versailles», capable d'accueillir quelque 10 000 habitants. Il est indéniable que les besoins de logements dans cette partie située dans l'Ouest de l'Île-de-France sont immenses et que, depuis

longtemps, les services compétents avaient inscrit le plateau de Satory parmi les grandes réserves foncières mobilisables : les services de l'ancien ministère de l'Équipement et du Logement se trouvaient, en fait, défendre deux politiques contradictoires entre elles.

NEXTER, anciennement GIAT-Industries, avait besoin d'argent. La cession, aux meilleures conditions financières possibles, de leurs terrains disponibles était un enjeu majeur. Deux parcelles avaient trouvé preneurs il y a quelques années : elles sont aujourd'hui occupées, l'une par Citroën Sports et l'autre, par Renault Trucks Défense. Une parcelle de 3,5 ha avait été vendue à UNIMO, filiale immobilière du Crédit agricole, qui avait conçu un superbe projet : le bâtiment TRIALYS. Mais, d'une façon étonnante, et même incompréhensible, UNIMO avait pris la décision de se retirer et de vendre son terrain à la société SOGARIS, qui voulait y construire une plateforme logistique.

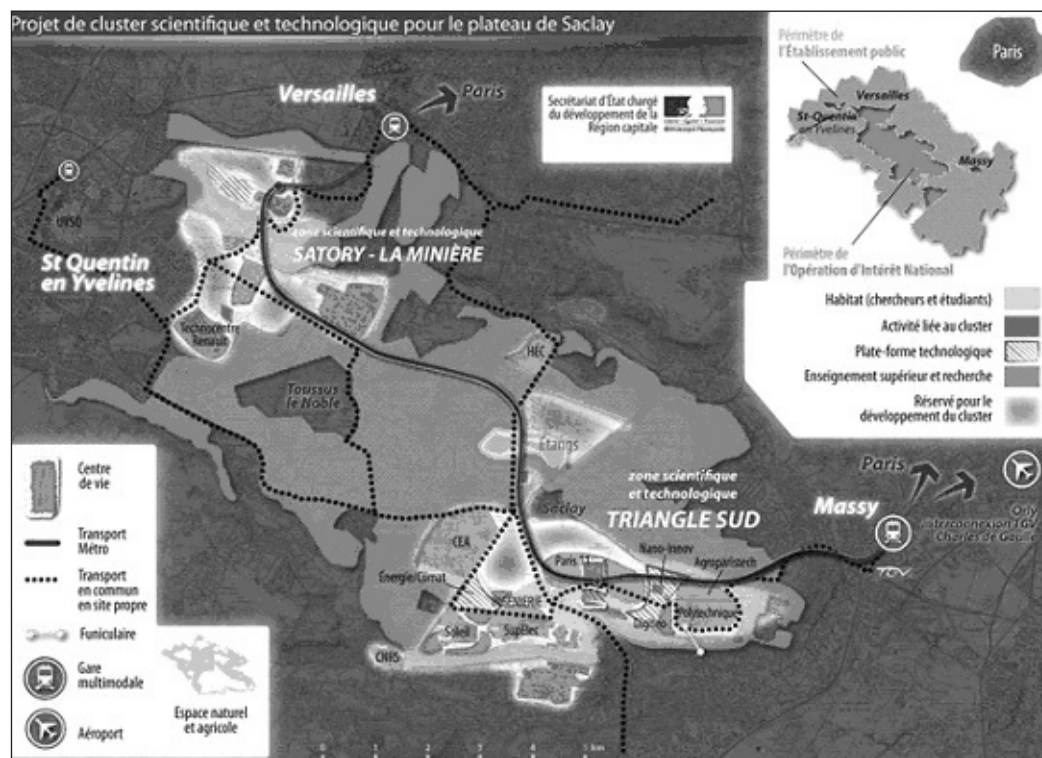
On ne réécrit jamais l'histoire. J'ai, pour ma part, tout fait pour essayer de convaincre UNIMO de reprendre, avec Mov'eoTEC, le projet TRIALYS ; il n'y avait pas beaucoup d'adaptations à faire. Mais c'était sans doute trop tôt. Je garde néanmoins la conviction que si UNIMO avait décidé de construire son bâtiment, Mov'eoTEC s'y serait installé dans la foulée. Mais le terrain devait changer de main, pour pouvoir porter un projet de plateforme logistique. Le maire de Versailles, pressé de redresser les finances de la Ville, avait donné son accord.

NEXTER avait également vendu une superbe parcelle de 11 hectares, située au centre du plateau, à Bouygues, qui voulait y commercialiser un ensemble de 100 000 m² de bureaux de haut standing, mais ne trouva pas preneur. Les avocats de Bouygues avaient trouvé une faille pour faire annuler la vente, et NEXTER recherchait un nouvel acquéreur.

Le tout se déroulait sur fond d'incertitudes militaires. Les réflexions sur le plan de restructuration des activités des industries militaires en Île-de-France allaient bon train, mais personne ne savait si le ministère de la Défense allait, ou non, garder ses terrains de Satory.

Si Mov'eo perdait ses pistes d'essai, si nous ne pouvions pas trouver le foncier nécessaire à nos installations, c'en aurait été fini de nos rêves. Une série de réunions de crise se tinrent, dont la plus mémorable d'entre elles, à la préfecture des Yvelines, en septembre 2007. J'y annonçais, dans une ambiance survoltée, que, dans le contexte que je viens de rappeler ci-dessus, il fallait considérer que Mov'eo, ne pouvant obtenir la moindre parcelle des terrains disponibles, était un pôle de compétitivité mort-né. Ce fut ma deuxième colère : elle fit beaucoup plus de bruit que la première et, celle-là, incontestablement, sauva Mov'eoTec et Mov'eo.

L'affaire remonta en arbitrage interministériel. Le Préfet de Région bloqua le projet de plateforme logistique de la SOGARIS, et prit un arrêté «zadant» les terrains disponibles à la construction : rien ne serait construit qui ne fût «mov'eocompatible». Le ministère de la Défense mettait à la disposition de l'INRETS, qui agi-



© D.R.

La carte officielle de l'OIN du plateau de Saclay, sur laquelle apparaît clairement le plateau de Satory.

rait pour le compte de Mov'eo, une parcelle de 18 000 m² pouvant accueillir Mov'eoLab, il affirmait sa volonté de conserver les pistes de Satory et en déléguait la gestion à NEXTER, à la condition expresse de la signature d'un accord de partage d'utilisation avec Mov'eo. Le ministère de la Défense faisait, en outre, savoir qu'il conserverait son implantation de Satory Est mais qu'il se séparerait, le moment venu, du « champ de manœuvre » de Satory Ouest, ouvrant ainsi des possibilités foncières importantes, une fois réalisée la dépollution pyrotechnique (très coûteuse) de ces terrains.

La « bataille de Satory » avait été gagnée !

Un peu plus tard, une excellente nouvelle vint définitivement consolider la victoire : l'annonce de la création de l'OIN (Opération d'Intérêt National) du plateau de Saclay, qui engloberait les territoires des communes de Versailles Grand Parc et de Saint-Quentin-en-Yvelines : l'ouest du plateau de Saclay serait un territoire de développement économique. A Mov'eo, désormais, d'avancer !

MOV'EOTEC, DE SA CRÉATION JUSQU'À LA CRISE ÉCONOMIQUE

Maintenant que la route est dégagée, il est temps de se lancer dans les projets immobiliers. Nous lançons une consultation auprès de l'ensemble des acteurs immobi-

liers présents (ou susceptibles de l'être) sur le plateau, et nous leur remettons notre cahier des charges fonctionnelles et techniques. SOGARIS, qui s'était résigné à abandonner son projet de plateforme logistique, décide alors de tenter un élargissement de sa gamme de compétence, et nous présente une très belle proposition : un premier bâtiment pour accueillir l'ESTACA, un second pour Mov'eotronics (mais le reste devrait trop se tasser : l'espace manque déjà...).

Les négociations avec le ministère de la Défense et NEXTER reprennent, et il apparaît possible d'étendre l'AOT concédée à l'INRETS à une nouvelle parcelle, contiguë à celle de SOGARIS. En démolissant un vieux hangar sous-utilisé, nous disposerons ainsi de l'espace nécessaire pour y construire un bâtiment, qui hébergera les laboratoires de l'INRETS.

Les discussions pour constituer les tours de table financiers nécessaires vont bon train. Le Conseil général des Yvelines annonce qu'il subventionnera Mov'eoTEC à hauteur de 20 M€, et financera la moitié du bâtiment de l'INRETS. L'affaire est menée tambour battant : un appel d'offres « conception-réalisation » est lancé ; le 1^{er} juillet 2008, le permis de construire est déposé. Madame Valérie Pécresse, ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, se rend sur place, le 24 septembre, pour « planter le premier arbre » qui viendra agrémenter le site. Le projet Mov'eoTec est publiquement présenté et, dans l'enthousiasme du moment, rendez-vous est pris pour l'inauguration du bâtiment de l'INRETS, au printemps 2009.

Car, en septembre 2008, malgré les nuages qui obscurcissent déjà l'horizon, la France ne sait pas encore qu'elle va brutalement entrer, à son tour, dans la crise économique.

En quelques semaines, tout se dérègle : la promesse de vente que NEXTER allait signer pour céder son terrain de 11 ha est suspendue *sine die* ; le montage financier de l'ESTACA ne résiste pas à l'effondrement de la valeur de son site de Levallois ; surtout, plus aucun industriel n'est en état de prendre une quelconque décision de financement. La création de la fondation Mov'eoTronics est suspendue, les discussions sur le financement des équipements scientifiques sont bloquées. Bref, la crise agit sur Mov'eoTec comme un coup de frein brutal, à l'entrée d'une zone sans visibilité. Seule la construction du bâtiment de l'INRETS se poursuit...

MOV'EOTEC, DES ETATS GÉNÉRAUX DE L'AUTOMOBILE AU PROJET DU GRAND PARIS

Le Plan de relance de l'économie française et les Etats généraux de l'automobile vont sauver Mov'eoTEC. Pendant les vacances de Noël 2008, les acteurs de Mov'eo vont répondre (pas toujours de façon très coordonnée, il faut bien le reconnaître) à cette question, que leur pose le Gouvernement : si l'on retient l'hypothèse que la sortie de la crise se fera par l'innovation, quels investissements de recherche et développement proposez-vous, qui soient susceptibles d'être opérationnels immédiatement ?

Les mêmes acteurs avaient été fortement mobilisés, l'été précédent, sur les thèmes du « Grenelle de l'Environnement ». Ils avaient contribué à convaincre le Gouvernement qu'il fallait compléter le dispositif des pôles de compétitivité par deux outils : le « fonds démonstrateur » de l'ADEME et les plateformes de moyens d'essais mutualisés. L'ADEME avait lancé ses premiers appels d'offres pour des véhicules « décarbonés », et le ministère chargé de l'Industrie avait fait de même, en liaison avec la Caisse des Dépôts et Consignations, avec un premier appel d'offres destiné à recueillir les avant-projets de plateforme.

Mov'eo avait décidé de tenter sa chance, et avait déposé deux projets de plateforme. Le premier, Mov'eoDEGE, était proposé par les partenaires de Mov'eoTronics, tandis que le second, QUASPER, était porté par les partenaires de Mov'eoLab. Même si cela n'est pas apparu très clairement dans les débats publics des Etats généraux de l'automobile, les partenaires de Mov'eo tirèrent tous dans le même sens, et suggérèrent aux pouvoirs publics de donner un grand coup d'accélérateur à tous les projets que le pôle de compétitivité avait mis en gestation, mais que la crise économique venait de mettre en sommeil.

C'est donc avec une grande satisfaction que Mov'eo apprenait, le 5 février 2009, que ses deux projets de pla-

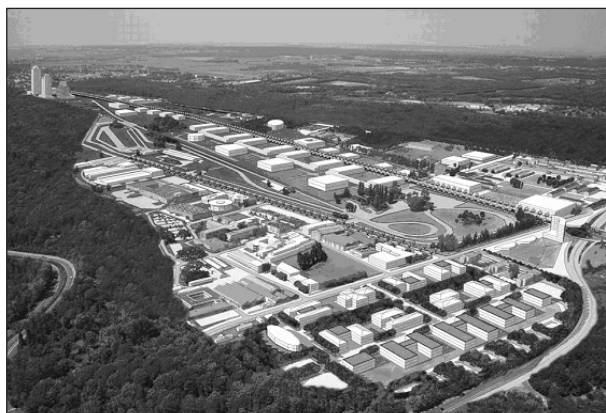
teformes avaient été présélectionnés. Le Gouvernement avait reçu plus de 80 propositions, il avait décidé d'en sélectionner 35 : Mov'eo voyait ses deux projets retenus, et il s'agissait des deux projets de Mov'eoTec destinés à être implantés sur le plateau de Satory. L'optimisme était de retour.

Une nouvelle fois, il fallait se remettre au travail : il fallait transformer les avant-projets en projets, les décrire en détail, dans leurs dimensions scientifique, technique, organisationnelle et financière.

En ce qui concerne Mov'eoDEGE (plateforme relevant les Défis du Grenelle de l'Environnement), il s'agit de concrétiser une des propositions du COMOP (Comité opérationnel) Recherche du Grenelle de l'Environnement : doter la France d'une plateforme destinée à mettre au point (et à qualifier) les chaînes de traction pour les véhicules électriques et hybrides. Cette plateforme, dont les contours et les contenus ont été abondamment débattus avec les constructeurs et les équipementiers, sera portée par un consortium public, regroupant l'IFP (Institut Français du Pétrole), l'INRETS, l'UVSQ et le CETIM (Centre Technique des Industries Mécaniques). C'est un projet évalué à 35 M€.

QUASPER (pour QUALification des Systèmes de PERception) est une plateforme commune à Mov'eo et à System@tic. Elle vise à développer les systèmes de perception à des fins de défense (pour System@tic) et à des fins de sécurité routière (pour Mov'eo). THALES et SAGEM sont les chefs de file pour l'industrie, tandis que le CEA-LIST, l'INRIA et l'INRETS constituent le noyau dur de la recherche publique. Il s'agit d'un projet d'une valeur de 12 M€.

En mars 2009, le Cabinet de Christian Blanc, Secrétaire d'Etat en charge des projets du Grand Paris, vient faire une visite approfondie du site : il passe commande d'un dossier de présentation très complet de Mov'eoTEC, pour la fin du même mois. Les visites sur le site se multiplient. Le Cabinet du ministre veut manifester la solidité de nos projets. Il y a anguille sous roche...



© D.R.

La vision du plateau de Satory, à terme, proposée par M. Panerai, architecte de l'OIN.

Le 29 avril 2009, le Président de la République rend public son projet pour le Grand Paris. Le plateau de Saclay est confirmé dans sa vocation de devenir la locomotive scientifique de la France. Le plateau de Saclay s'étendra bien jusqu'à Versailles-Satory, englobant Mov'eoTEC, annoncé comme « un grand Institut de la mobilité durable dédié au développement du véhicule décarboné ». Une ligne de métro automatique reliera Mov'eoTec non seulement à la Défense et à Paris, mais aussi aux deux aéroports d'Orly et de Roissy/Charles-de-Gaulle.

Les plans de M. Panerai, l'architecte qui avait travaillé au projet de l'OIN pour Satory, peuvent être ressortis des cartons, et être présentés à celles et ceux qui veulent

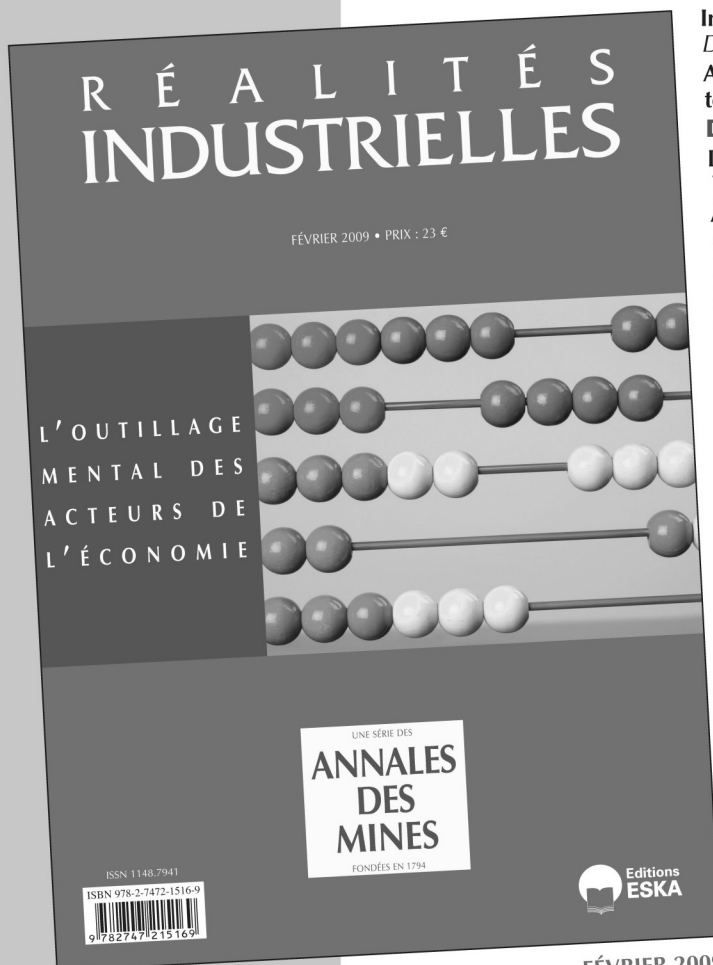
imaginer ce que pourra être le plateau de Satory d'ici quelques années.

L'inscription solennelle de Mov'eoTEC dans le projet du Grand Paris est le meilleur remerciement public qui puisse être donné à toutes celles et à tous ceux qui, depuis le sommet de l'Etat jusqu'au plus profond de nos entreprises et laboratoires de recherche, ont donné le meilleur d'eux-mêmes. Plus rien ne pourra arrêter la dynamique enclenchée. Mov'eoTEC est aujourd'hui solide, grâce à ses projets, bien entendu, mais aussi, et plus encore peut-être, grâce à ses réseaux de solidarité et d'amitié. Ensemble, nous sommes fiers de porter une vision de la France qui veut et de la France qui peut.

R É A L I T É S INDUSTRIELLES

une série des Annales des Mines

L'OUTILLAGE MENTAL DES ACTEURS DE L'ÉCONOMIE



Éditorial – Pierre Couveinhes

Introduction – Jean-Claude Dumas, Gérard Gayot, Philippe Minard et Didier Terrier

Avant-propos : Pour un rapprochement entre chercheurs en gestion et historiens de l'économie – Claude Riveline

Des catégories aux pratiques

L'outillage mental des changeurs, en France, à la fin du Moyen Age – Yves Coativy

À chacun, sa vision des affaires. Marchands de la mer et de l'intérieur (Bretagne-Castille-Andalousie, XVI^e siècle) – Jean-Philippe Priotti

L'orfèvrerie-joaillerie et l'estimation de la valeur des bijoux dans le Saint-Empire romain germanique du début du XVII^e siècle : l'affirmation et l'organisation d'une spécialisation marchande – Vincent Demont

Les représentations de l'ordre économique

Nahrung, corporations et marché en Allemagne aux XVII^e et XVIII^e siècles : débats et renouvellements historiographiques – Guillaume Garner

Commerce réel et commerce pensé en Bretagne, à la fin du XVIII^e et au début du XIX^e siècle : contribution à l'histoire des mentalités négociantes (Nantes, Lorient, Brest, Morlaix et Saint-Malo, 1789-1817) – Karine Audran

Dire le refus des machines : pétitions ouvrières et représentations de l'ordre économique en France, en 1848 – François Jarrige

Métayer à la Casa Spalletti (de 1821 à 1922) : un parfait associé en affaires ? – Marie-Lucie Rossi

L'horizon intellectuel des patrons

La pensée économique d'Eugène Schneider (1846-1851) – Agnès D'Angio-Barros

« Mais ce que je vois avec un véritable effroi... » : Confessions d'Henri Sieber (1804-1882), négociant parisien au royaume duquel les grands industriels sont rois – Sylvie Vaillant-Gabet

Le banquier Armand Gommès : de la « myopie au désastre » à l'aveuglement intellectuel – Christophe Lastécouères

Les mots pour le dire : les autobiographies des (très grands) hommes d'affaires contemporains – Catherine Vuillermot

Quand l'État pense l'économie

L'enquête statistique de l'archiduc d'Autriche Joseph Rainer en Bohême (1806) – Fanny Billod

La productivité, nouvel indicateur d'une économie en expansion (France, années 1950) – Régis Boulat

L'outillage mental des rapporteurs de la Commission de vérification des comptes des entreprises publiques (1948-1976) – Daniel Berthereau

Le dossier a été coordonné par Jean-Claude Dumas

BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions ESKA, 12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35 - <http://www.eska.fr>

Je désire recevoir exemplaire(s) du numéro de **Réalités Industrielles février 2009 « L'outillage mental des acteurs de l'économie » (ISBN 978-2-7472-1516-9)** au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom Prénom

Adresse

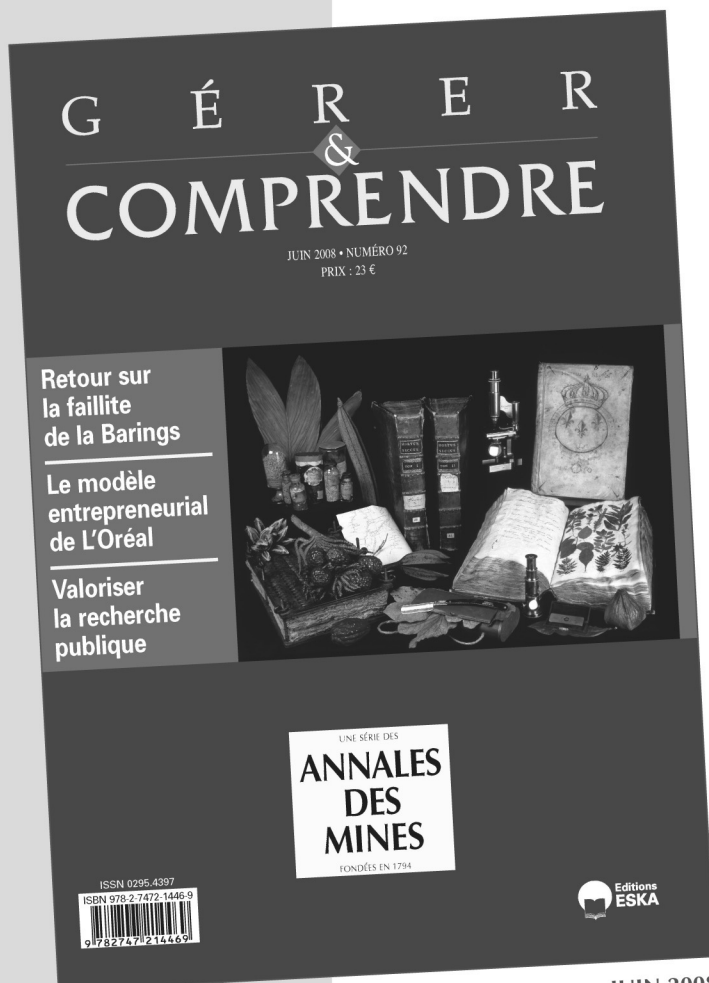
Code postal Ville

G É R & E R

COMPRENDRE

SOMMAIRE

- POUR UNE AUTRE THÉORIE DE LA DÉCISION :
RETOUR SUR LA FAILLITE DE LA BANQUE
BARINGS ET DE SA HIÉRARCHIE
Par Yves-Marie ABRAHAM et Cyrille SARDAIS
- LA GESTION DES SENIORS EN ENTREPRISE :
ENJEUX ET ESQUISSE DE SOLUTIONS
Par Olivier MEIER
- BATA : L'IMPOSSIBLE MUTATION
L'échec d'une stratégie de montée en gamme
Par Antony KUHN et Yves MOULIN
- LE MODÈLE ENTREPRENEURIAL DE L'ORÉAL :
SOURCE ET GENÈSE
Par Olivier BASSO, Alain FAYOLLE
et Thomas LEGRAIN
- RÉMUNÉRER LES TALENTS
Le salaire du sportif professionnel : exception
ou préfiguration ?
Par Pierre MIRALLES
- VALORISER LA RECHERCHE PUBLIQUE
Le rôle du facteur humain dans la vente
ou la cession de licences de brevets par
les universités
Par Dominique Philippe MARTIN et Lionel PUJOL
- Franck AGGERI
LA SINGULARITÉ D'UNE ŒUVRE
À propos du livre de Lucien Karpik, *L'Économie des sin-
gularités*, Paris, Gallimard, 2007



JUIN 2008
ISSN 0295.4397
ISBN 978-2-7472-1446-9

BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions ESKA, 12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35 - <http://www.eska.fr>

Je désire recevoir exemplaire(s) du numéro de **Gérer & Comprendre juin 2008 - numéro 92 (ISBN 978-2-7472-1446-9)** au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom Prénom

Adresse

Code postal Ville

FOR OUR ENGLISH-SPEAKING READERS

THE PRIVATE AUTOMOBILE OF THE FUTURE

Editorial

Pierre Couveinhes

Foreword: Automobiles by 2030

Pierre-Franck Chevet

Energetic challenges

Energy and sustainable mobility

Olivier Appert

Given current needs in terms of mobility, people have turned toward a means of transportation that is both private and fast. As a consequence, cars now account for the majority of trips made in the world. The challenges raised by mobility are closely linked to energy issues...

Electricity, the energy of the future for private vehicles

Igor Czerny

Intense competition between electric motors, steam engines and internal combustion motors marked the first thirty years of the automobile era. After nearly vanishing due to competition from vehicles using products derived from petroleum, electric vehicles made an unsuccessful comeback during the 1990s. Like aces in the hole, they have come back again — the subject of research and in-depth experiments for validating the technical solutions and business model.

The prospects of natural gas vehicles in France and Europe

Jean-Marc Nicolle

Given the availability and environmental advantages of natural gas, several countries soon felt that natural gas vehicles (NGVs) were a logical way to respond to transportation needs while meeting up to the standards of sustainable development. Natural gas is now a genuine alternative to petroleum products, and NGVs are capable of using the current engine technology.

The development of biofuels

Alain Jeanroy

With respect to using renewable sources of energy for transportation, two major events have occurred a year apart: the signing in December 2007 by President Bush of the Energy Independence and Security Act, and the energy and climate agreement between the European Parliament and European Council, including a directive on boosting renewable sources of energy.

Trends in technology

The midterm prospects of an automobile for the general public

Philippe Hirtzman

Car-makers are facing a twofold challenge: possible hikes in gasoline prices and the risk of global warming. Under these conditions, how to compare the various sorts of motor technology that can be designed for private vehicles?

We have not heard the last of thermoelectric propulsion: A parts manufacturer's point of view

Guillaume Devauchelle

While newspapers often run headlines about "disenchantment" with the automobile, we might seem outdated when mentioning the progress to be expected from thermal vehicles. Neither traffic jams nor police radar nor taxes nor, for that matter, anti-automobile campaigns have managed to calm feelings. The debate about cars is intense. The automobile turns out to be anything but an "ordinary" product.

Might current debates not have overlooked safety?

Guy Maugis

In debates about the vehicle of the future, CO₂ emissions are the foremost topic by far. Without denying the importance of either global warming or the impact of urban pollution on health, we are surprised by the widespread indifference that leads to accepting the "ordinary" death toll on our roads weekend after weekend — not to mention the inflamed arguments about speed limits...

The tire industry and the context of "evolutionary vehicle technology": Impact and prospects

Jean-Marie Mus

Thanks to efforts in research and development, the friction of rolling tires has been cut in half over the past thirty years. However it still consumes a very significant part of a motor vehicle's energy: up to more than 20% for thermal vehicles and 30% for fully electric ones. There is still a potential for considerable progress. Besides, designing a system of wheels with an electric motor and suspension could represent a decisive technological breakthrough.

Toyota's hybrid technology

Michel Gardel

Toyota has laid down its approach to environmental questions by developing a hybrid motor technology. As a result, Toyota Prius, the first hybrid car to have been mass-produced worldwide, was put on the market in 1997. The third generation of the Prius has just come out...

Strategies

The electric car, the new axis of industrial policy

Grégoire Postel-Vinay

Between 1895 and 1914, the atmosphere in the newborn automobile industry was exciting and inventive. In many ways, it resembled the current atmosphere inside this industry as it undergoes a recession. Twenty years from now however, the winners in the race now under way might not at all be the parties that won out in the past.

In ten years, one out of three cars will be electric

Thierry Koskas and Patrick Pélat

The Renault-Nissan alliance has set as priority the development of an electric vehicle. This strategy provides it with the opportunity

RÉSUMÉS ÉTRANGERS

for making a pioneering breakthrough in the history of the automobile industry. The times are riper than ever for this type of vehicle, but several major issues must be addressed.

BMW: On the move toward less pollution and more pleasure!

Christophe Koenig

As part of its Efficient Dynamics Program, the BMW Group has systematically studied solutions for improving the performance of motor vehicles in terms of energy and the environment while still making driving a pleasure. The classical internal combustion engine, electric or hybrid vehicles... and even a hydrogen motor have been developed in parallel.

The government's commitment to research and innovation

Jean-Louis Léonard

French industrial policy and the Grenelle of the Environment, which assembled officials and organizations for a wide-ranging

discussion of environmental issues, have imparted a new driving force to the government's commitment to research on the vehicle of the future. Government interventionism in this field is not new. Though dating back to the 1980s, it has grown considerably since 2000, as the regulatory and organizational conditions underlying it have been modified.

The Mov'eoTEC pole

Guy Bourgeois

Mov'eo is one of France's most promising technology clusters. Located in Versailles-Satory, this Competitive Pole is a "major institute of sustainable mobility devoted to developing a carbon-free vehicle", its key project. This pole is now part of the Grand Paris Plan, which President Sarkozy officially announced on 29 April 2009.

AN UNSERE DEUTSCHSPRACHIGEN LESER

DAS AUTO DER ZUKUNFT

Leitartikel

Pierre Couveinhes

Vorwort : Das Automobil im Jahr 2030

Pierre-Franck Chevet

Die energetischen herausforderungen

Energie und nachhaltige Mobilität

Olivier Appert

Der gegenwärtige Mobilitätsbedarf hat zur Folge, dass allgemein schnelle und zugleich individuelle Transportmöglichkeiten favorisiert werden. So ist das Automobil zur Zeit das meistbenutzte Beförderungsmittel in der Welt. Die mit der Mobilität verbundenen Herausforderungen sind heute eng mit denjenigen der Energie verbunden ...

Die Elektrizität : die Energie der Zukunft für Personenkraftwagen

Igor Czerny

Die ersten dreißig Jahre der Automobilära wurden durch einen intensiven Wettbewerb zwischen Elektromotor, Dampfmaschine und Verbrennungsmotor geprägt. Nachdem das Elektroauto durch die Konkurrenz der von Erdölprodukten abhängigen Fahrzeuge fast verdrängt worden war, fand es in den 1990er Jahren vorübergehend zunehmende Beachtung. Heute kann es neue Trümpfe vorweisen und wird zum Gegenstand von eingehenden Studien und Versuchen, die darauf abzielen, den technischen und wirtschaftlichen Lösungen Anerkennung zu verschaffen.

Die Perspektiven des Erdgasautos in Frankreich und in Europa

Jean-Marc Nicolle

Aufgrund seiner Betriebsfähigkeit und seiner Vorteile für die Umwelt wurde das Erdgasauto in vielen Ländern sehr früh als eine logische Antwort auf den Bedarf an Transportmöglichkeiten angesehen, die mit nachhaltiger Entwicklung vereinbar sind. Erdgas stellt nunmehr eine wirkliche Alternative zu den Erdölprodukten dar und bietet gleichzeitig weiterhin die Möglichkeit, die klassischen Motor-Technologien zu nutzen.

Die Entwicklung der Bio-Kraftstoffe

Alain Jeanroy

Hinsichtlich der Nutzung erneuerbarer Energien im Transportwesen sind im Abstand eines Jahres zwei wichtige Ereignisse eingetreten : an erster Stelle handelt es sich um die Verkündung des Gesetzes zur Unabhängigkeit und Sicherheit in Energiefragen durch Präsident Bush (im Dezember 2007) und an zweiter Stelle um die politische Vereinbarung zwischen dem Europäischen Parlament und dem Europäischen Rat zum Energie- und Klimapakete mit im besonderen der Verabschiedung der Richtlinie zur Förderung der erneuerbaren Energiequellen ...

Die technologischen entwicklungen

Die mittelfristigen Perspektiven des Kraftfahrzeugs für das breite Publikum

Philippe Hirtzmann

Die Automobilindustrie hat eine doppelte Herausforderung zu bewältigen : die Perspektive teuren Erdöls und das Risiko der

Klimaerwärmung. Wie lassen sich in diesem Kontext die verschiedenen Antriebstechnologien vergleichen, die für Personenkraftwagen in Frage kommen ?

Das letzte Wort zum Verbrennungsmotor ist noch nicht gesprochen : der Standpunkt eines Ausrüsters

Guillaume Devauchelle

Zu einem Zeitpunkt wo das „Erkalten der Liebe“ zum Automobil oft Schlagzeilen macht, mag es etwas altmodisch klingen, immer noch von den Fortschritten zu reden, die man von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor erwarten kann. Doch haben weder Verkehrsstockungen, noch Radare, und weder die Steuern noch diverse Kampagnen gegen das Auto es vermocht, die Emotion zum Erlöschen zu bringen : über das Auto, das natürlich alles andere ist als ein banales Produkt, wird weiterhin lebhaft debattiert.

Droht die Sicherheit nicht, die große Vergessene der Debatte zu werden ?

Guy Maugis

In der Debatte über das Fahrzeug der Zukunft nimmt der CO₂ - Ausstoß bei weitem den ersten Platz ein. Ohne die Bedeutung der Klimaerwärmung oder die Auswirkungen der städtischen Luftverschmutzung auf die Gesundheit abstreiten zu wollen, ist man immer überrascht über die kollektive Gleichgültigkeit, mit der wir die zahlreichen „alltäglichen“ tödlichen Unfälle auf unseren Straßen, von einem Wochenende zum anderen, akzeptieren (ganz zu schweigen von den leidenschaftlichen Debatten über das Thema der Geschwindigkeitsbegrenzung ...)

Der Autoreifen im Kontext einer sich wandelnden Fahrzeugtechnologie : Auswirkungen und Perspektiven

Jean-Marie Mus

Dank den Anstrengungen in Forschung und Entwicklung wurde der Fahrwiderstand der Reifen in den vergangenen dreißig Jahren um die Hälfte verringert. Doch dieser Fahrwiderstand trägt weiterhin in einem beträchtlichen Ausmaß zum Energieverbrauch der Fahrzeuge bei : bis zu mehr als 20 % bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor, und bis zu mehr als 30 % bei Elektroautos. Es gibt hier also ein beträchtliches Fortschrittpotenzial. Überdies kann die Konzeption der elektrischen Systeme von Rädern, die Motor und Aufhängung integrieren, eine entscheidende technologische Neuerung einleiten ...

Die Hybridtechnologie von Toyota

Michel Gardel

Auf dem Gebiet der Motorisierung hat Toyota eine Politik der Umweltverträglichkeit verfolgt, die zur Entwicklung der Hybridtechnologie führte. Diese hat seit 1997 mit der Vermarktung des Toyota Prius konkrete Gestalt angenommen, dem ersten Hybridfahrzeug der Welt, das in Serie produziert wurde. Die dritte Generation des Prius ist gerade auf den Markt gekommen.

Die strategien der akteure

Das Elektroauto, der neue Horizont der Industriepolitiken

Grégoire Postel-Vinay

Von 1895 bis 1914 herrschte in der Automobilindustrie, die im Entstehen begriffen war, ein äußerst regsamer Erfindergeist. In mehrfacher Hinsicht trifft dies auch für die heutige Automobilindustrie zu, die sich in einer Krise befindet. Doch in etwa zwanzig Jahren könnten die Sieger des gegenwärtigen

Wettbewerbs ganz andere sein als diejenigen, die in der Vergangenheit zu den Ersten gehörten ...

In zehn Jahren wird jedes dritte Fahrzeug ein Elektroauto sein

Thierry Koskas und Patrick Pélat

Das Bündnis zwischen Renault und Nissan hat die Entwicklung des Elektroautos zur strategischen Priorität erklärt und gibt sich somit die Gelegenheit, zum Wegbereiter einer fundamentalen Neuerung in der Geschichte des Automobils zu werden. Der gegenwärtige Kontext ist äußerst günstig für den Erfolg dieses Fahrzeugtyps, doch es sind noch mehrere beträchtliche Herausforderungen anzunehmen ...

BMW : auf dem Weg zu weniger Schadstoffausstoß und zu mehr Spaß !

Christophe Koenig

Im Rahmen des „Efficient Dynamics-Programms“ untersucht die BMW- Gruppe systematisch die verschiedenen Lösungen, die dazu beitragen können, die energetischen Leistungen und die Umweltverträglichkeit der Fahrzeuge zu verbessern und gleichzeitig den Fahrkomfort zu bewahren : der klassische Verbrennungsmotor, das Elektro- oder das Hybridfahrzeug und selbst der Wasserstoffantrieb werden parallel entwickelt ...

Das staatliche Engagement für Forschung und Innovation

Jean-Louis Leonard

Die Umweltkonferenz „Grenelle de l'environnement“ und die Industriepolitik haben dem staatlichen Engagement für Forschung und Innovation auf dem Gebiet des Autos der Zukunft neue Dynamik verliehen. Dieses Engagement besteht schon seit langem (es geht mindestens bis zu den 1980er Jahren zurück), hat aber seit den Jahren um 2000 einen beträchtlichen Aufschwung genommen und zahlreiche Veränderungen der rechtlichen und organisatorischen Bedingungen dieses Engagements bewirkt ...

Das Kompetenznetz Mov'eo Tec

Guy Bourgeois

Mov'eo ist heute eins der vielversprechendsten Kompetenznetze in Frankreich. Mov'eoTEC, am Standort Versailles-Satory, „ grand Institut de la mobilité durable dédié au développement du véhicule décarboné“ (großes Institut für nachhaltige Mobilität zur Entwicklung des kohlenstofffreien Fahrzeugs) ist dessen Pilotprojekt. Es ist Bestandteil des Rahmenplans „Grand Paris“, der am 29. April 2009 offiziell vom französischen Präsidenten verkündet wurde ...

A NUESTROS LECTORES DE LENGUA ESPAÑOLA

EL COCHE INDIVIDUAL DEL FUTURO

Editorial

Pierre Couveinhes

Prólogo: El automóvil en el horizonte de 2030

Pierre-Franck Chevet

Los problemas energéticos

Energía y movilidad duraderas

Olivier Appert

Las necesidades de movilidad actuales hacen que los individuos busquen transportes a la vez rápidos e individuales. De esta manera, en nuestros días el automóvil representa la mayoría de los desplazamientos en el mundo. Actualmente, los problemas de la movilidad están estrechamente relacionados con los de la energía.

La electricidad: la energía del futuro para los vehículos individuales

Igor Czerny

Los primeros treinta años de la era del automóvil fueron marcados por una intensa competencia entre el motor eléctrico, la máquina de vapor y el motor de explosión. Tras haber casi desaparecido frente a la competencia de los vehículos que utilizan productos petroleros, el vehículo eléctrico realizó un retorno fallido en los años 1990. Hoy en día vuelve con nuevas ventajas y es objeto de estudios y experimentaciones profundas que buscan validar sus soluciones técnicas y modelo económico.

Las perspectivas del Gas Natural Vehicular en Francia y en Europa

Jean-Marc Nicolle

Gracias a su disponibilidad y a sus ventajas para el entorno, el Gas Natural Vehicular (GNV) surgió en muchos países como una respuesta lógica a las necesidades de transporte que respeten el desarrollo sostenible. El GNV aporta desde ahora una verdadera alternativa a los productos petroleros, al mismo tiempo que permite seguir utilizando las tecnologías de "motorización" clásicas.

El desarrollo de los biocombustibles

Alain Jeanroy

En materias de utilización de energías renovables para el transporte, dos eventos mayores se produjeron a un año de intervalo: en primer lugar se trató de la promulgación (en diciembre de 2007) por parte del presidente Bush de la ley relativa a la independencia y a la seguridad energética y, en segundo lugar, del acuerdo político entre el Parlamento y el Consejo europeo sobre el paquete energía/clima; especialmente con la adopción de la directiva relativa a la promoción de las fuentes de energía renovable.

Las evoluciones tecnológicas

Las perspectivas a medio plazo del coche popular

Philippe Hirtzman

La industria del automóvil se ve confrontada a un desafío doble: la perspectiva del petróleo caro y el riesgo del calentamiento climático. En este contexto, ¿cómo comparar las diferentes tecnologías de propulsión posibles para los vehículos individuales?

La propulsión térmica no ha dicho su última palabra: el punto de vista de un fabricante de equipos

Guillaume Devauchelle

En una época en la que un cierto "desamor" por el coche se ha apoderado de los titulares de los diarios, puede parecer anticuado seguir evocando los progresos que se esperan en materias de vehículos de propulsión térmica. No obstante, ni los atascos ni los radares ni los impuestos ni las diferentes campañas anti-automóviles han logrado calmar la emoción: el debate en torno al automóvil sigue vivo, ya que de toda evidencia puede ser todo lo que se quiera pero no es un producto banal.

La seguridad, ¿no corre el riesgo de ser la gran olvidada del debate sobre el automóvil?

Guy Maugis

En el debate sobre el vehículo del futuro, las emisiones de CO₂ ocupan el primer lugar. Sin querer negar la importancia del calentamiento climático ni el impacto de la contaminación urbana sobre la salud es sorprendente constatar la indiferencia colectiva con la que aceptamos las decenas de muertes "ordinarias" en nuestras carreteras, cada fin de semana (sin mencionar los debates apasionados sobre las limitaciones de velocidad.)

El neumático en un entorno de "tecnología de vehículo evolutivo": impactos y perspectivas

Jean-Marie Mus

Gracias a los esfuerzos de investigación y desarrollo realizados, la resistencia al rodamiento de los neumáticos ha sido reducida en un 50% desde hace unos treinta años. Sin embargo, esta resistencia al rodamiento sigue contribuyendo de forma considerable al consumo de energía de los vehículos: hasta más del 20% para los vehículos de propulsión térmica y hasta más del 30% para los vehículos "eléctricos". Ahí hay una fuente de progreso considerable. Por otra parte, el diseño de ruedas que integran motor y suspensión eléctricas puede constituir una ruptura tecnológica decisiva.

La tecnología híbrida de Toyota

Michel Gardel

En materias de motorización, el enfoque ambiental de Toyota se ha construido en torno de la tecnología híbrida. Esta se concretizó en 1997 con la comercialización del Toyota Prius, el primer coche híbrido producido en serie a nivel mundial. La tercera generación del Prius acaba de llegar al mercado.

Las estrategias de los actores del sector del automóvil

El coche eléctrico, nueva directriz de las políticas industriales

Grégoire Postel-Vinay

Entre 1895 y 1914 una efervescencia inventiva agitó a la naciente industria del automóvil. En varios aspectos, se parece a la que agita actualmente al mundo del automóvil en crisis. Pero en unos veinte años, los vencedores de la competencia actual podrían no ser los mismos ganadores de la competencia anterior.

En diez años uno de cada tres coches será eléctrico

Thierry Koskas y Patrick Pélata

La alianza entre Renault y Nissan ha hecho del desarrollo del vehículo eléctrico una prioridad estratégica, creando así la

oportunidad de ser pionera de una ruptura fundamental en la historia del automóvil. El contexto actual es más que nunca favorable al éxito de este tipo de vehículos, pero varios desafíos importantes quedan por afrontar.

BMW: Menor emisión de contaminantes y mayor placer

Christophe Koenig

Dentro del marco de su programa EfficientDynamics, el Grupo BMW estudia sistemáticamente las diferentes soluciones que puedan permitir mejorar los resultados energéticos y ambientales de sus vehículos, al mismo tiempo que se conserva el placer de la conducción: motor de explosión clásico, vehículo eléctrico o híbrido e incluso motor de hidrógeno se desarrollan en paralelo.

El compromiso del estado en la investigación y la innovación

Jean-Louis Leonard

El *Grenelle de l'environnement* (programa francés para la protección del medio ambiente) y las políticas industriales dieron

una nueva dinámica al compromiso del Estado con la investigación y la innovación sobre los vehículos del futuro. Aunque este compromiso es efectivo desde hace cierto tiempo (remonta al menos a los años ochenta) sólo conoció un desarrollo considerable en los años 2000, los cuales se han caracterizado por numerosas modificaciones de las condiciones reglamentarias y organizativas de dicho compromiso.

El polo Mov'eoTEC

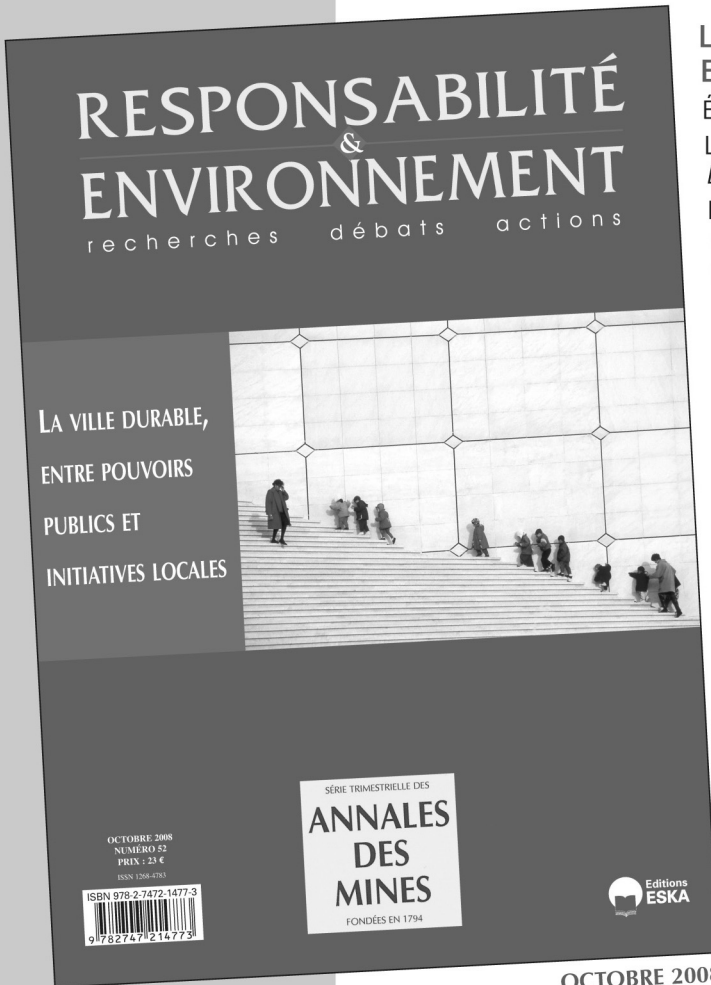
Guy Bourgeois

Actualmente Mov'eo es uno de los polos de competitividad francesas más prometedores. Mov'eoTEC, un "gran instituto de movilidad duradera dedicada al desarrollo del vehículo descarbonado", en la zona de Versailles-Satory, es el proyecto principal. En adelante se inscribe en el plan del Gran París, anunciado oficialmente por el presidente francés el 29 de abril de 2009.

RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

recherches débats actions

SOMMAIRE



LA VILLE DURABLE, ENTRE POUVOIRS PUBLICS ET INITIATIVES LOCALES

ÉDITORIAL – *François VALÉRIAN*

Les villes durables en Europe : conceptions, enjeux et mise en œuvre
Lydie LAIGLE

Enjeux et figures d'un tournant urbanistique en Europe
Cyria EMELIANOFF

Comprendre et maîtriser le métabolisme urbain et l'empreinte environnementale des villes

Sabine BARLES

Hanovre : un exemple de développement urbain couronné de succès
Hans MÖNNINGHOFF

La mesure du développement durable : expériences et questionnements

Yvette LAZZERI

Rennes : La Ville archipel et son corollaire : La Ville des proximités
Jean-Yves CHAPUIS

Offrir du foncier

Vincent RENARD

La maîtrise des déplacements et la ville durable

Jacques MOREL

Préserver la nature dans la ville

Philippe CLERGEAU

Aux origines de la ville durable : améliorer l'environnement urbain en France, fin XIX^e – milieu XX^e siècles

Stéphane FRIoux

Conclusion : la ville durable, vers un modèle d'action conjointe

Cyria EMELIANOFF

HORS DOSSIER

Zoonoses, surveillance des maladies animales et franchissement de la barrière d'espèce

Marc SAVEY

Le dossier a été coordonné par Annick HELIAS

OCTOBRE 2008
ISSN 1268-4783
ISBN 978-2-7472-1477-3

BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions ESKA, 12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35 - <http://www.eska.fr>

Je désire recevoir exemplaire(s) du numéro de **Responsabilité & Environnement** octobre 2008 - numéro 52 (ISBN 978-2-7472-1477-3) au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA

un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom Prénom

Adresse

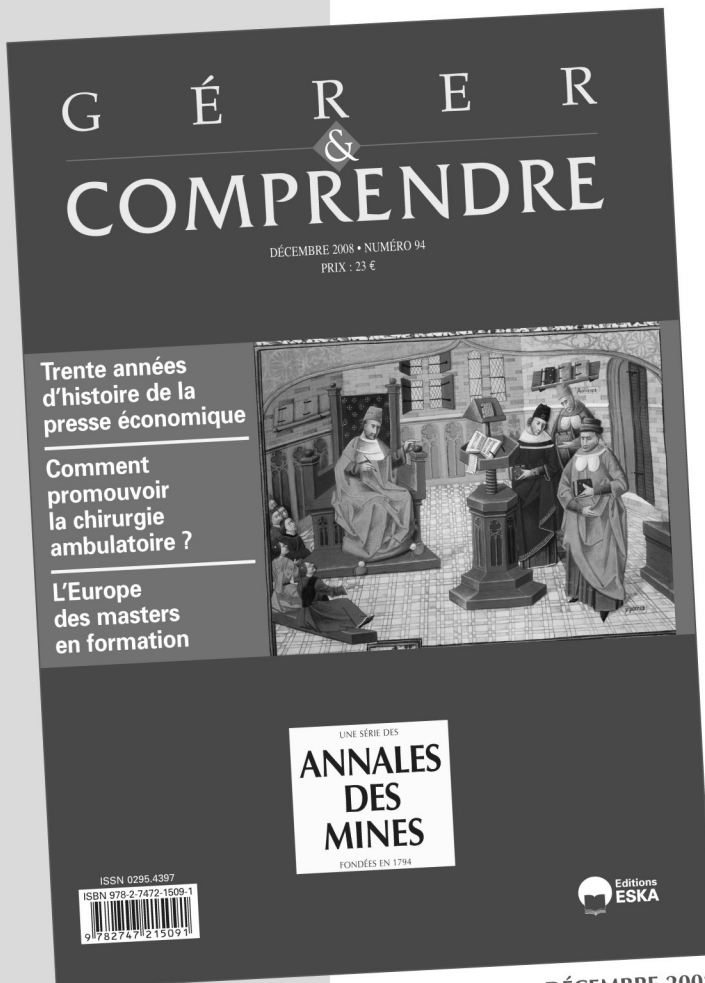
Code postal Ville

G É R & E R

COMPRENDRE

SOMMAIRE

- ANIMER UNE ÉCONOMIE FRAGILE : ÉCHOS D'UNE HISTOIRE AGITÉE...
Entretiens avec Jacques BARRAUX, menés par Nicolas MOTTIS
- DÉVELOPPER LA CHIRURGIE AMBULATOIRE : LES LIMITES DES POLITIQUES INCITATIVES
Par François ENGEL et les Docteurs Maxime CAUTERMAN et Ayden TAJAHMADY
- L'EUROPE DES MASTERS EN FORMATION : LE PROCESSUS DE BOLOGNE AU TRAVERS DES CAS ALLEMAND, ANGLAIS ET FRANÇAIS
Par le Professeur Nicolas MOTTIS
- COMBATTRE LE HARCÈLEMENT PSYCHOLOGIQUE AU TRAVAIL : PROPOSITION D'UN PROCESSUS D'INTERVENTION
Par le Dr. Gwénaëlle POILPOT-ROCABOY et le Dr. Richard WINTER
- LE HARCÈLEMENT PSYCHOLOGIQUE AU TRAVAIL : UNE AFFAIRE À TRAITER AVEC PRUDENCE
Commentaire de l'article de Gwénaëlle Poilpot-Rocaboy et Richard Winter
Par Rachel BEAUJOLIN-BELLET
- CULTURE DE MÉTIER ET INTÉGRATION POST FUSION-ACQUISITION. Le cas de l'intégration des systèmes de reporting lors de l'acquisition de Nippon Dantai par AXA
Par Michaël VIEGAS PIREZ
- GOUVERNANCE DISTRIBUÉE VERSUS GOUVERNANCE CENTRALISÉE : LES DEUX STRATÉGIES DE LA TÉLÉMATIQUE AUTOMOBILE
Par Gilles GAREL et Christian NAVARRE
- LE DON GRATUIT : LE CAS D'UN ÉTABLISSEMENT PUBLIC
Par Yvan BAREL et Sandrine FREMEAUX
- Jean-Marc WELLER
DES SERVICES PUBLICS FACE AUX VIOLENCES
À propos du livre de de Francis GINSBOURGER, *Des services publics face aux violences. Concevoir des organisations source de civilité*, Paris, Éd. ANACT, 2008



DÉCEMBRE 2008
ISSN 0295.4397
ISBN 978-2-7472-1509-1

BULLETIN DE COMMANDE

A retourner aux Éditions ESKA, 12, rue du Quatre-Septembre, 75002 PARIS

Tél. : 01 42 86 55 73 - Fax : 01 42 60 45 35 - <http://www.eska.fr>

Je désire recevoir exemplaire(s) du numéro de **Gérer & Comprendre décembre 2008 - numéro 94 (ISBN 978-2-7472-1509-1)** au prix unitaire de 23 € TTC.

Je joins un chèque bancaire à l'ordre des Éditions ESKA
 un virement postal aux Éditions ESKA CCP PARIS 1667-494-Z

Nom Prénom

Adresse

Code postal Ville