

# 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\***

**N**ous 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 schématiser

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 %.

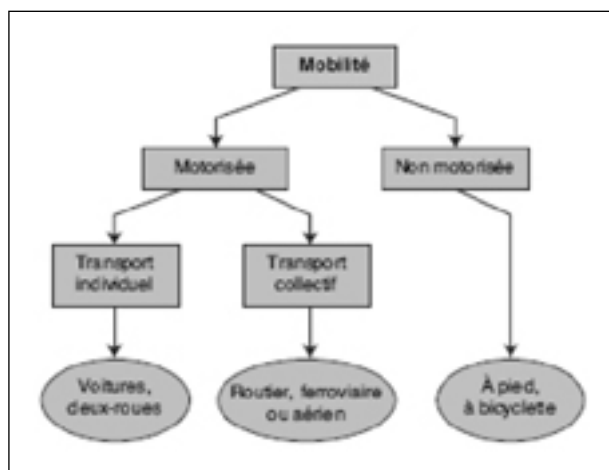


Figure 1 : Les différents types de mobilité.

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).

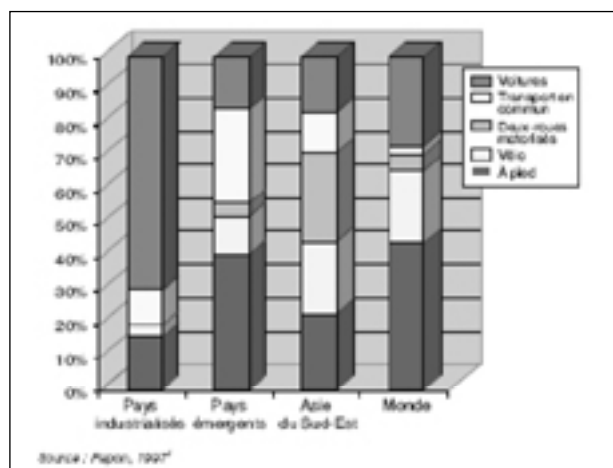


Figure 2 : Les types de mobilité dans le monde (en pourcentages de déplacements, par jour et par personne).

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<sup>e</sup> 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

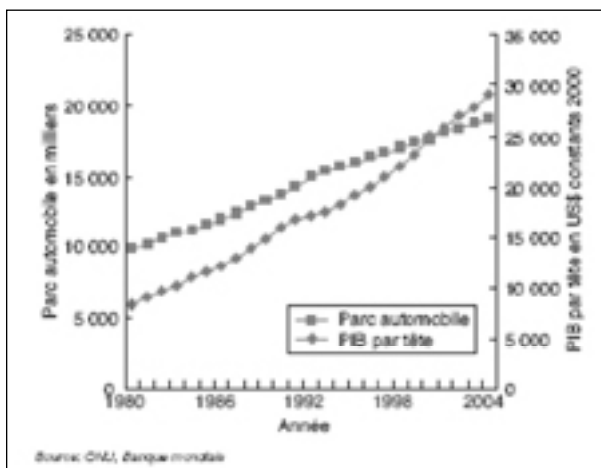
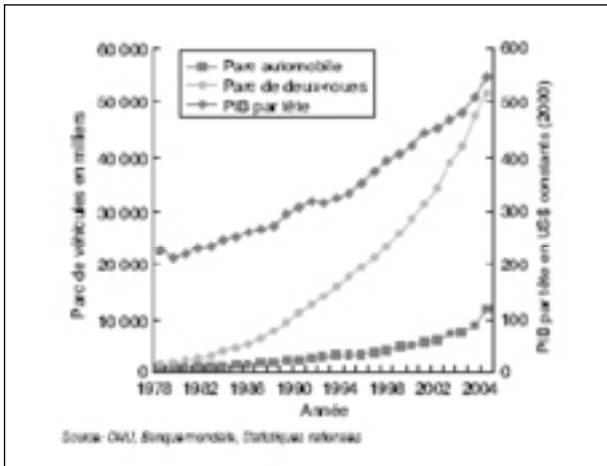


Figure 3 : Evolutions du parc automobile et du PIB/habitant en Europe.

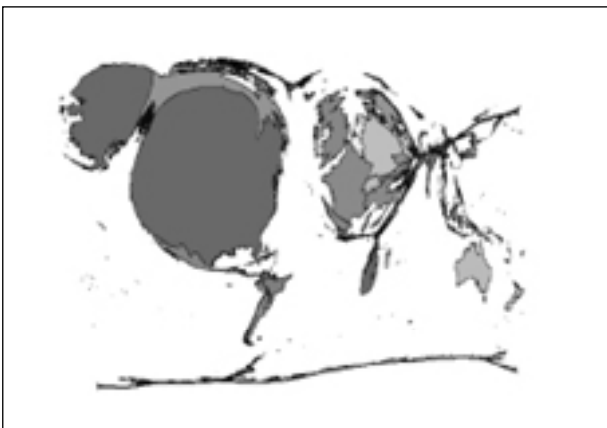
celui de la croissance économique, comme le montre la figure 3, qui prend pour exemple l'Europe.



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

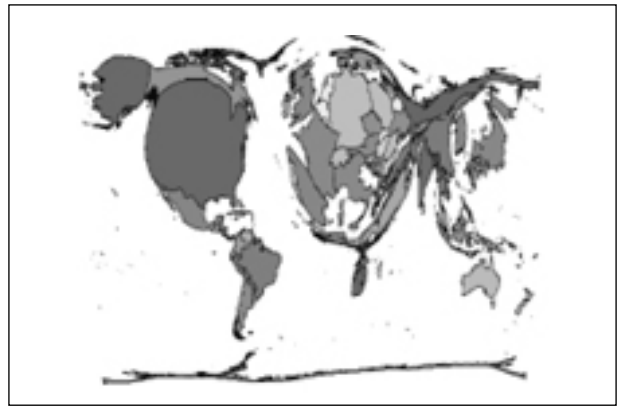
À partir des années 1990, c'est au tour des pays émergents de s'équiper. Ainsi, l'Asie ou l'Amérique du Sud voient leur parc de véhicules particuliers croître fortement au cours de cette période, ce qui dope la croissance du parc mondial. Si, en Amérique latine, par exemple, c'est bien l'automobile qui 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



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

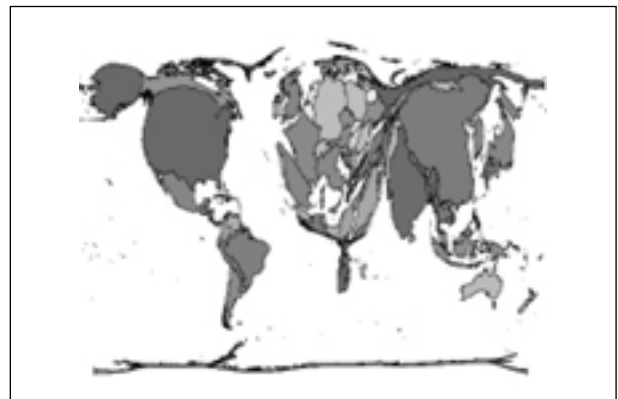
permettent d'illustrer l'évolution des parcs automobiles nationaux (les données sur les deux-roues sont plus difficiles à trouver) entre les années 1960 et 2004, avec des projections à l'horizon 2030.



**Figure 6 :** Répartition du parc automobile mondial, par pays, en 2004 (autour de 620 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.

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



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

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.

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.

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 gran-

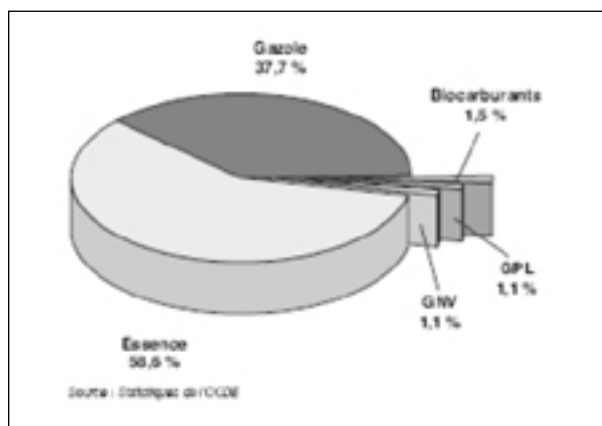


Figure 8 : Répartition de la consommation d'énergie dans le transport routier européen en 2007, par type de carburant.

des 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.

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

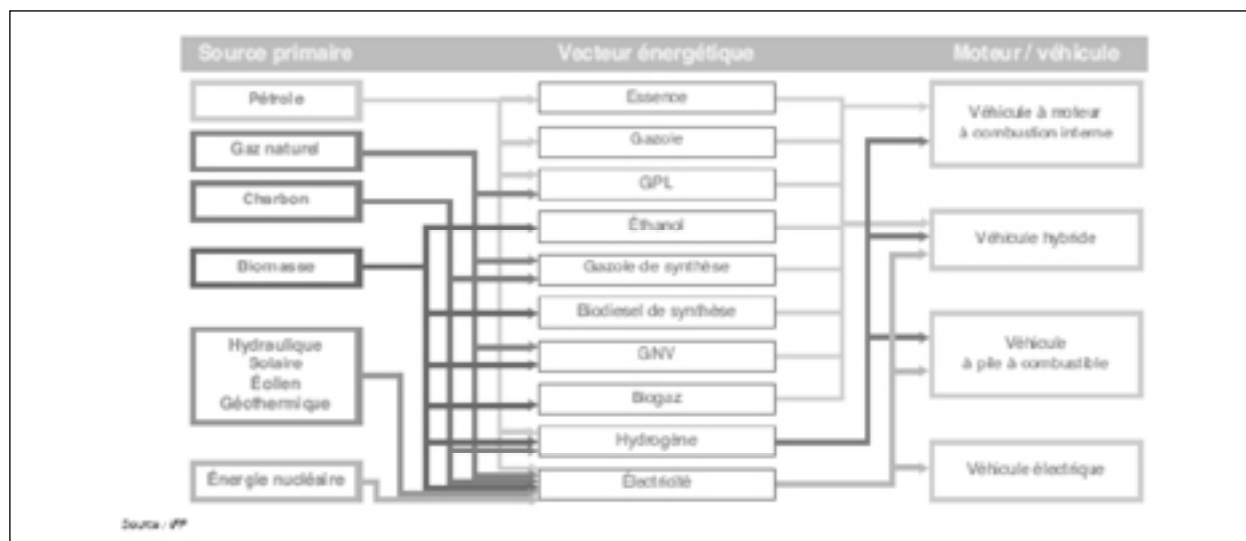


Figure 9 : Les filières énergétiques de l'automobile.

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 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

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 CO<sub>2</sub>.

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...).