

## Transports, énergies et facteur 4

**Cédric PHILIBERT**

Agence internationale de l'énergie  
cedric.PHILIBERT@iea.org

Les transports contribuent sans cesse davantage aux émissions mondiales de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le principal gaz à effet de serre. L'effort de maîtrise des changements climatiques anthropiques ne semble donc pas pouvoir s'exonérer durablement d'une action puissante dans ce domaine. En parallèle, l'augmentation du prix des hydrocarbures ressuscite les angoisses de « fin du pétrole » alors que les transports dépendent à 90% de cette seule source d'énergie. Nous examinerons d'abord les moyens technologiques pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> des transports ainsi que leur dépendance au pétrole. Puis nous envisagerons les politiques à mettre en œuvre.

### Nuisances et dépendance

Les nuisances des transports, notamment des transports routiers et aériens, ne se limitent pas à leur contribution aux changements climatiques. Malgré les progrès considérables obtenus dans la réduction des polluants « classiques » (NO<sub>x</sub>, VOC, CO, PM), résultats de l'amélioration des carburants, des systèmes de combustion, des techniques de dépollution des effluents – eux-mêmes suscités par un constant durcissement des normes d'émissions dans tous les pays industriels et quelques autres – voitures, camions et deux-roues restent l'une des sources principales des pollutions atmosphérique et sonore en ville et à l'échelon régional. Les effets multiples de cette pollution sur les bâtiments, objets d'art, écosystèmes et êtres

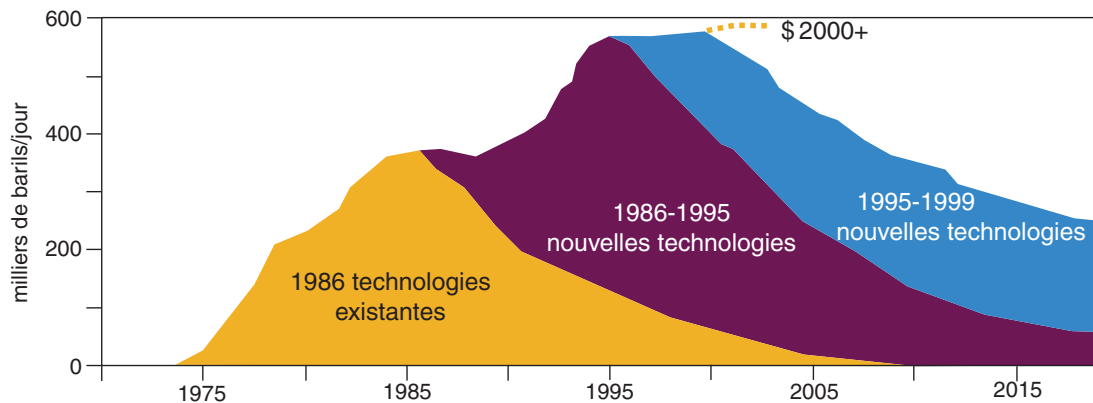
vivants sont désormais bien identifiés et commencent à être quantifiés. Moins reconnus, les effets de coupure et morcellement des écosystèmes jouent un rôle certain mais difficile à apprécier dans l'érosion de la biodiversité.

C'est cependant le rôle des transports dans les changements climatiques qui retiendra ici notre attention, car il est très loin d'être maîtrisé. Avec 5,9 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> en 2003, soit 24% des émissions mondiales, le secteur des transports est la deuxième source d'émissions de CO<sub>2</sub>, après la production d'électricité et de chaleur (10 Gt CO<sub>2</sub>) mais devant le secteur résidentiel et tertiaire<sup>1</sup>. Les émissions des transports ont doublé depuis 1971, tandis que celles dues à la production d'électricité augmentaient de 170% (IEA 2005a).

Un tiers du CO<sub>2</sub> mondial dû aux transports est émis en Amérique du Nord. Les transports y contribuent pour 30,9% du total des émissions, contre 26,3% en Europe, 15,9% dans les pays en développement et 11,9% dans les économies en transition (Russie et autres). En France, du fait de la forte proportion d'électricité d'origine nucléaire et hydraulique, la contribution des transports atteint 33%. Le potentiel de croissance des émissions

1. Cependant, le secteur résidentiel et tertiaire est le principal émetteur de gaz à effet de serre si on lui affecte les émissions liées à la production de l'électricité qu'il consomme. Tous les pourcentages de l'article se rapportent aux seules émissions de CO<sub>2</sub> liées à la production, transformation et consommation de l'énergie.

**Graphique 1 : effet de la technologie sur la production pétrolière en mer du Nord**



Source : European Network for Research in Geo-ENeRG – courtesy of shell

reste particulièrement important dans les pays en développement. De 1990 à 2002, les émissions des transports ont augmenté d'un peu moins de 50% en Afrique et en Amérique latine, de 67% en Asie (hors Chine), de 73% au Proche-Orient, et ont doublé en Chine.

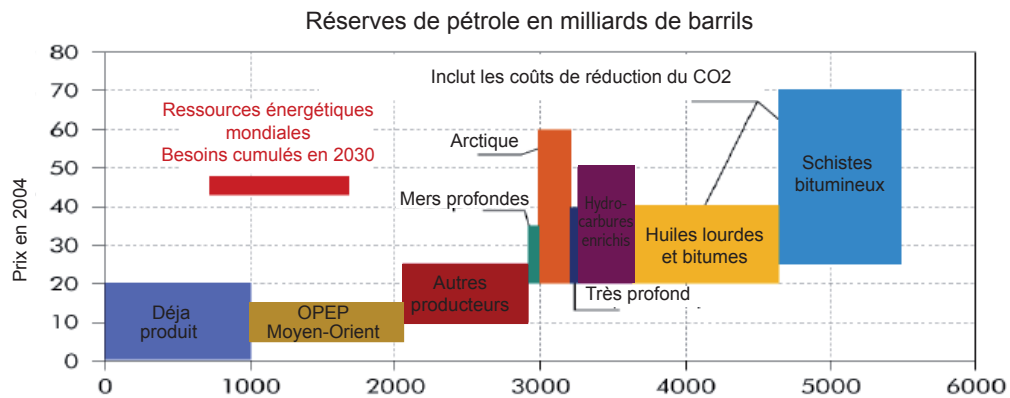
## Dépendance et fin du pétrole

Les transports dépendent du pétrole à quelque 90%, et cette proportion frôle les 100% en ce qui concerne les transports routiers, l'aviation et les navires. L'inverse n'est cependant pas (encore) vrai : les transports consomment 57,8% du pétrole brûlé dans le monde aujourd'hui, contre 42,3% voici trente ans (IEA 2005b). Il se pourrait cependant que les prix élevés du baril accélèrent les substitutions plus aisées dans les autres usages – industrie (20%), chauffage, agriculture et production d'électricité – laissant plus rapidement aux transports une quasi-exclusivité de la production pétrolière mondiale, à l'exception peut-être des usages « matières premières » (6,6%). À terme cependant, même cette production tout entière ne suffirait plus aux seuls transports.

La fin du pétrole n'est certes pas pour tout de suite. Les prix actuels reflètent l'inadéquation de l'offre à la demande, pas nécessairement l'épuisement final. Malgré l'augmentation continue de la demande mondiale de pétrole à un rythme estimé de 1,6% (IEA 2004a), il n'y aura sans doute pas de véritable pénurie avant 2030 et peut-être bien au-delà. Au niveau de prix actuel, les pétroles non conventionnels prennent progressivement le relais des pétroles conventionnels, dont le progrès technologique devrait toutefois améliorer encore le taux de récupération, comme ce fut le cas en mer du Nord (AIE 2005c, cf. graphique 1), le potentiel total pouvant s'élever jusqu'à plusieurs fois les quelque mille milliards de barils déjà extraits et brûlés (cf. graphique 2).

Cependant, les meilleures choses ont toujours une fin, et une croissance exponentielle rencontre tôt ou tard les limites ultimes d'un monde fini. Selon nombre d'experts, plusieurs milliards de barils de pétrole manqueront à l'appel chaque année à la fin de ce siècle (BAUQUIS 2004). L'épuisement des ressources conventionnelles de pétrole n'est d'ailleurs pas forcément une bonne nouvelle pour le climat, car l'exploitation des huiles extra lourdes, sables asphaltiques et schistes bitumineux, tout

**Graphique 2 : disponibilité des ressources pétrolières en fonction de leur coût**



Source : IEA 2005c

comme la transformation en carburants liquides de gaz et de charbon, dont on parlera plus loin, sont susceptibles d'entraîner des émissions de CO<sub>2</sub> très importantes en amont, du fait du coût énergétique élevé du traitement de ces ressources. Il s'agit toutefois là de sources d'émissions fixes, donc susceptibles d'élimination à 90% par capture et stockage du CO<sub>2</sub>. On peut aussi utiliser des sources d'énergie non émettrices de CO<sub>2</sub>; ainsi, la construction d'une centrale nucléaire à haute température est envisagée au Canada pour extraire et traiter les sables asphaltiques.

Aussi est-ce davantage la nécessité de lutter contre les changements climatiques que la « fin du pétrole » qui fait de la question des transports une question urgente – et difficile à résoudre. En particulier, la volonté affichée d'un certain nombre de pays industriels de diviser par quatre d'ici 2050 leurs propres émissions de gaz à effet de serre, afin de laisser des marges de croissance aux émissions des pays en développement, nécessite d'agir sur les émissions des transports qui tôt ou tard, à elles seules, dépasseraient ce niveau. On peut envisager de jouer sur quatre leviers pour réduire ou au moins maîtriser les émissions des transports terrestres: utiliser des véhicules plus

efficaces énergétiquement; substituer aux carburants des sources d'énergie à plus faible contenu en carbone; favoriser le transfert vers des modes de transports moins émetteurs et comprimer la demande de transports. Ainsi qu'on le verra, ces quatre niveaux d'action ne sont pas totalement indépendants. Nous traiterons d'abord des couples véhicules-carburants, puis des politiques susceptibles de jouer sur l'ensemble des facteurs.

## Véhicules et carburants

Une faible part seulement de l'énergie potentielle des carburants est aujourd'hui employée à vaincre les résistances au roulement des véhicules. Le potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique des voitures et camions reste donc important. Des matériaux plus légers peuvent réduire le poids à vide des véhicules – bien que la tendance soit, à l'inverse, à l'alourdissement des voitures résultant de l'invasion des dispositifs auxiliaires de tous genres. La consommation de ces auxiliaires (climatisation notamment) peut également être grandement améliorée. D'autres progrès sont à attendre de l'atténuation des résistances au roulement: progrès sur les pneumatiques et les

revêtements routiers, amélioration de l'aérodynamisme, notamment sur les camions (de 15 à 20% de réduction possible). Mais bien sûr, le couple moteur-carburants reste au cœur du problème.

La gestion électromagnétique des soupapes pourra réduire de 20% la consommation d'essence des moteurs à allumage commandé. Des alternodémarrateurs puissants permettent de couper le moteur à chaque arrêt, nombreux en conduite urbaine – un système déjà adopté sur la Citroën «C3» *Stop and Start* (8% de réduction). L'équipementier Valéo met également au point un système de récupération de l'énergie du freinage, et un système de refroidissement optimal des moteurs. Associées, ces quatre innovations permettraient de réduire les consommations d'essence de 30 à 40%. De quoi concurrencer sur leur terrain les moteurs diesels, dont les progrès ont été spectaculaires, voire les premiers véhicules hybrides – dont les performances de consommation et donc d'émissions de CO<sub>2</sub> sont pour l'instant à peine supérieures à celles des meilleurs diesels.<sup>1</sup>

### L'hybride branché: mettre un Li-Ion dans son moteur

Cependant, le schéma hybride offre des perspectives alléchantes à long terme, si la fabrication de masse, les progrès technologiques envisageables sur leurs divers composants et les effets d'apprentissage relatifs à leur assemblage permettent d'en réduire les coûts et améliorer les performances. L'association d'un moteur thermique et d'une chaîne de traction électrique est d'abord source d'efficacité accrue, non pas seulement, comme on le croit, par la récupération de l'énergie mécanique à la décélération, mais davantage par la possibilité de réduire la taille et la puissance du moteur thermique, et d'en réduire l'étendue des régimes de rotation. Il s'agit d'utiliser en priorité le moteur électrique au démarrage, et d'organiser le relais

par le moteur thermique dans le régime de vitesse pour lequel il est conçu en rechargeant au passage les batteries. Enfin, on peut solliciter les deux moteurs quand une puissance supplémentaire est requise – mais seulement pour un temps, au risque d'épuiser les batteries. Ce pourrait d'ailleurs être une manière d'introduire doucement cette limite de puissance que certains appellent de leurs vœux, observant qu'en conduite urbaine comme sur route ou autoroute à vitesse stabilisée, deux voitures identiques en tous points mais dont les vitesses maximales diffèrent ne consomment pas les mêmes quantités de carburant. Avec l'hybride, la pointe de vitesse reste possible mais ne saurait durer très longtemps<sup>2</sup>.

La Toyota «Prius», première voiture hybride de série, n'avait pas convaincu. La «Prius II» a ralé tous les prix, témoignant de progrès considérables en quelques années à peine. Conséquence de son succès, presque tous les constructeurs s'attellent à concevoir des hybrides, en commençant par les modèles plus luxueux, plus lourds et plus consommateurs. Il est impossible de dire aujourd'hui jusqu'où l'hybride pourra aller dans l'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules. Mais il semble possible de combiner plusieurs voies d'amélioration, et par exemple l'association d'un diesel moderne avec une chaîne électrique pourrait s'avérer difficile à battre. Au-delà, l'hybridation ouvre la voie à une substitution accrue des carburants par l'électricité, selon le concept de l'hybride dit «pluggable» (*plug in* en anglais – on peut préférer «raccordable» ou, pourquoi pas, «branché»), c'est-à-dire raccordable au réseau. Le véhicule tout électrique est handicapé par son autonomie réduite, et le temps long de recharge de ses batteries<sup>3</sup>. Les progrès récem-

1. Par exemple, selon l'ADEME, 104 g/km CO<sub>2</sub> pour la Toyota «Prius» contre 125 g/km pour une «C4» HDI, et 153 g/km pour le modèle essence comparable. Certes plus petite, la «C3» HDI émet 109 g/km.

2. Les constructeurs peu soucieux d'associer l'hybride au bridage peuvent toutefois, plutôt que réduire le moteur, programmer la désactivation des cylindres, choix de Honda avec son «Accord» hybride, semble-t-il quand même un peu moins efficace.

3. Une pompe à essence présente un débit d'énergie potentielle (celle du carburant délivré) de plusieurs mégawatts, auquel doivent se mesurer les recharges rapides des véhicules électriques. Seul le changement de batteries standardisées,

ment constatés avec les batteries Lithium Ion (ou Li-Ion), successeurs annoncés des batteries Nickel Cadmium, et ceux annoncés par les groupes Dassault et Bolloré, pourront sans doute élargir les niches de marchés accessibles aux voitures et deux-roues exclusivement électriques, mais ne permettront pas d'attaquer de front le cœur du marché des véhicules privés ou utilitaires.

À l'inverse, le véhicule hybride reste dépendant à 100% d'un carburant carboné. L'hybride branché, lui, peut fonctionner en tout électrique, par exemple pour des trajets quotidiens, tout en bénéficiant d'une autonomie égale à celle d'une voiture « normale », voire supérieure, du fait de sa plus grande efficacité énergétique, pour les trajets interurbains ou en rase campagne. Les gains de consommation, et donc d'émissions, sont encore plus importants sur les bus et véhicules utilitaires urbains. Ainsi pourrait-on diviser deux fois par deux la consommation de carburant – la première fois par l'hybridation, la seconde par substitution de l'électricité aux carburants. Quand le facteur deux sonne deux fois, le facteur quatre n'est pas loin... Du point de vue de l'effet de serre, cela n'a toutefois de sens que si la production électrique n'émet pas ou peu de CO<sub>2</sub>, qu'elle repose sur le nucléaire et les renouvelables ou qu'elle soit associée à la capture et au stockage du CO<sub>2</sub>.

## Carburants alternatifs fossiles

On a évoqué la fabrication d'essence ou de gazole à partir du gaz ou du charbon, qui se pratique déjà au Qatar pour l'un, en Afrique du Sud pour le second, et bientôt en Chine pour les deux. Les émissions de CO<sub>2</sub> au niveau du véhicule sont strictement les mêmes qu'avec des carburants conventionnels (soit de 73 g CO<sub>2</sub>/MJ), mais les émissions amont sont supérieures avec le gaz (25 g CO<sub>2</sub>/MJ contre 5 à 10 dans le raffinage du pétrole), et très supérieures avec le charbon

---

sur le modèle des changements de chevaux des relais de poste, paraît pouvoir atteindre des « puissances » égales ou supérieures.

(160 g CO<sub>2</sub>/MJ !). L'usine sud-africaine SASOL est d'ailleurs la plus importante source ponctuelle de CO<sub>2</sub> dans le monde. La capture et le stockage du gaz carbonique sont ici indispensables pour que l'usage de tels substituts ne détériore pas gravement le bilan climatique des transports (GIELEN, UNANDER 2004).

Le gaz offre pourtant d'autres possibilités, et d'abord sous forme de gaz naturel véhicules (GNV). Des modifications mineures sont nécessaires sur les moteurs à essence. On évalue à 0,5% le pourcentage de véhicules au gaz naturel dans le monde, surtout présents en Argentine, au Brésil, en Inde, en Italie, au Pakistan et aux États-Unis. Le ratio d'émissions s'élève à 56 g CO<sub>2</sub>/MJ, sans accroissement des émissions amont, ce qui donne au gaz un léger avantage du point de vue climatique. Ses avantages véritables sont à rechercher dans une dépendance au pétrole moindre, et surtout dans une réduction des pollutions locales – d'autant plus forte que la comparaison se fait avec un parc de véhicules anciens.

Le méthanol et le di-méthyle éther (DME) peuvent être produits à partir du gaz, du charbon ou de la biomasse. Le DME peut être utilisé en substitution du gazole. Deux usines sont opérationnelles en Chine, à partir de charbon, et d'autres sont prévues. Plusieurs projets sont en cours au Proche-Orient. Ces carburants offrent des ratios d'émissions légèrement inférieurs à ceux du gazole (65 et 67 g CO<sub>2</sub>/MJ), avantage parfois perdu par un léger surcroît d'émissions amont. Ils n'offrent donc pas d'avantage significatif au plan du climat.

## Biocarburants

L'utilisation des biocarburants s'est singulièrement développée depuis quelques années, notamment au Brésil et aux États-Unis, ne dépassant toutefois pas 0,5% de la consommation mondiale de pétrole. La France s'est fixée pour objectif 5,75% du total des carburants dès 2008. Or la photosynthèse est un mécanisme de captation de l'énergie solaire peu capitalistique mais très consommateur d'espace au sol. Ainsi, la substitution de

5% de l'essence consommée en Europe et aux USA nécessiterait 5% des surfaces cultivables en Europe, 8% aux États-Unis. La substitution de 5% du gazole nécessiterait 13% des surfaces cultivables aux États-Unis, 15% en Europe (IEA 2004b). Quant aux coûts, ils restent supérieurs aux actuels prix élevés du pétrole, sauf pour l'éthanol de canne à sucre du Brésil, grâce à la combinaison de rendements élevés en climat tropical, d'un faible coût du travail et d'installations bien conçues générant à la fois carburants et électricité.

Le Brésil exporte déjà une part de sa production. Le développement des exportations des pays tropicaux pourrait permettre de remplacer jusqu'à 10% de l'essence et 3% du gazole consommés mondialement. Des pourcentages qui seraient naturellement plus grands si on améliore l'efficacité des véhicules et qu'on les électrifie partiellement. Mais à moins de choisir de nourrir les voitures plutôt que les hommes, il sera difficile d'aller très au-delà dans l'état actuel des technologies. Il est possible que des progrès scientifiques et technologiques permettent des cultures ligno-cellulosiques plus productives à l'hectare. Enfin, les bilans énergétiques et d'émissions carbonées sont contrastés. Par rapport aux carburants pétroliers, et compte tenu de tous les intrants nécessaires, l'éthanol de grains européen ou américain ne réduit les émissions que de 20 à 40%, contre plus de 80% pour l'éthanol de canne à sucre brésilien (IEA 2004b).

### L'hydrogène

La voiture à hydrogène fait rêver, promesse d'une propreté absolue. Mais il y a loin de la coupe aux lèvres. Et les difficultés ne se résument pas, comme on l'écrit parfois, au problème bien connu de « la poule et de l'œuf » – comment mettre sur le marché des véhicules hydrogène si les stations services n'en délivrent pas, comment transformer les stations services tant qu'elles n'ont pas de marché, etc.

L'hydrogène n'est pas une source d'énergie, c'est un vecteur, comme l'électricité, et comme

celle-ci, son bilan carboné dépendra de son mode de fabrication. Énergies renouvelables et nucléaires ont des émissions de CO<sub>2</sub> nulles, mais il n'en va bien sûr pas de même avec la combustion des fossiles, du moins tant que la capture et le stockage du CO<sub>2</sub> ne sont pas la norme. Actuellement, la quasi-totalité de l'hydrogène est produite dans le monde par réformage vapeur du gaz naturel. On peut envisager de réduire les émissions associées en substituant à la partie du gaz utilisée comme source d'énergie des centrales nucléaires ou solaires à haute température (autour de 800 °C). On peut réduire plus fortement ces émissions en capturant et stockant le gaz carbonique. À plus long terme, on pourra également produire de l'hydrogène sans émissions de carbone à partir de charbon associé au stockage de CO<sub>2</sub>, ou de nucléaire ou de solaire à très hautes températures. Enfin, on sait bien sûr – mais c'est plus coûteux – fabriquer de l'hydrogène par électrolyse de l'eau, et donc avec la même versatilité d'énergies primaires que l'électricité.

L'utilisation d'hydrogène comme carburant automobile soulève de nombreux problèmes. Il est dix fois plus coûteux à transporter et cent fois plus coûteux à stocker que les carburants actuels – et encore ce stockage ne semble-t-il pas pouvoir être durable, ce qui est gênant. Certains experts doutent que le progrès technique puisse jamais réduire significativement l'écart (BAUQUIS 2004). Certes, le couplage de piles à combustibles à des moteurs électriques constitue une chaîne de traction *grosso modo* deux fois plus efficace pour utiliser l'énergie chimique de l'hydrogène que le moteur thermique pour utiliser celle du pétrole. Mais il faudra réduire le coût des piles d'un facteur 40 environ pour approcher la compétitivité. Bref, l'hydrogène a peut-être plus d'avenir en substitution des produits pétroliers dans le transport aérien que dans le transport terrestre. Malgré tout, Gielen et Unander (2004) estiment que l'hydrogène pourrait jouer un rôle à partir de 2020, et capturer de 10 à 15% du marché des combustibles pour les transports vers 2040-2050.

## Les politiques envisageables

Un grand nombre d'outils différents peuvent être mis en œuvre pour agir sur les différents déterminants des émissions de CO<sub>2</sub> des transports et de leur dépendance pétrolière. Certains sont spécifiques à l'une ou l'autre de ces dimensions. D'autres sont susceptibles d'influencer l'ensemble de la chaîne. On évoquera les politiques visant plus particulièrement les transferts modaux et la maîtrise de la demande, puis les normes visant véhicules et carburants, enfin les instruments économiques de type taxes et permis négociables.

### Transferts modaux et maîtrise de la demande

On n'a pas cru devoir justifier longuement ici l'intérêt des modes de transports alternatifs : en ville, marche, vélo, bus, tramways, métros, RER et autres trains légers – trains de toutes sortes en interurbain. Ils sont presque toujours plus efficaces énergétiquement (dans un rapport de 1 à 3 ou 4), et bien souvent plus facilement électrifiés. Ils sont aussi, en zones urbanisées, bien moins consommateurs d'un espace rare et donc cher, que les véhicules individuels.

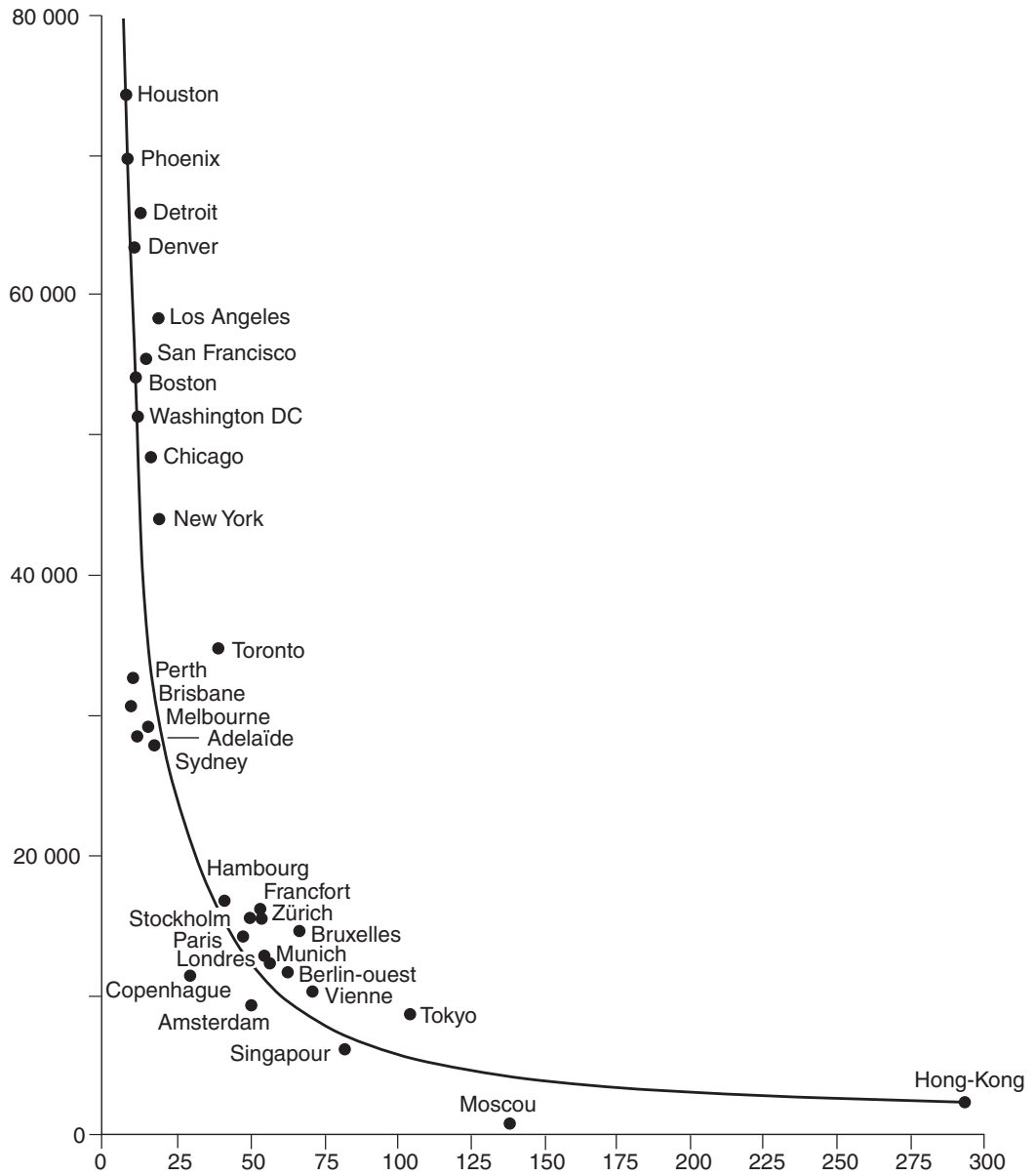
Les trains à grande vitesse n'ont plus à démontrer leur supériorité sur la voiture ou l'avion, sur des distances appréciables, mais il ne faut pas négliger les dessertes régionales. Pour ce qui est des transports de marchandises, le camion règne en maître en Europe, et le fret ferroviaire recule sans cesse. Le juste à temps, le point à point, la diminution des tonnages de pondéreux au profit de marchandises plus nobles, la priorité nécessairement donnée aux passagers sur les réseaux ferrés, concourent à expliquer cette évolution. Seuls d'importants investissements en matière de ferroutage, d'autoroutes ferroviaires, plus marginalement de « merroutage », de transport fluvial et aussi d'infrastructures nouvelles, pourront enrayer la tendance.

En milieu urbain, pour rendre attractifs et, autant que possible, rentables, bus et tramways, il faut

avant tout les extraire des embouteillages afin d'augmenter vitesse et fréquences. La politique du stationnement peut contribuer à cet objectif, mais la pierre angulaire des transports publics urbains reste le développement des « sites propres », en tout ou partie. De très nombreuses villes s'y emploient, dans les pays en développement autant que dans les pays industrialisés (IEA 2002). Il existe une alternative, politiquement plus délicate : dissuader l'accès aux centres urbains par des péages élevés. Seule Londres s'y est risqué, avec succès. Faciliter les accès, soigner les interconnexions, simplifier le paiement, développer l'information en temps réel, contribuent à inciter quotidiennement un nombre croissant d'automobilistes potentiels à préférer les transports publics. Une preuve par l'absurde en est apportée par le niveau de congestion atteint les jours de grève des transports publics... Une autre dimension est celle de la gouvernance : il faut assurer un certain degré de concurrence, sans pour autant laisser se développer une compétition anarchique. Un système de concessions est nécessaire pour des transports publics organisés et efficaces.

Une autre dimension de l'action publique consiste à favoriser un développement urbain plus dense, notamment autour des nœuds des réseaux de transports publics, et mêlant autant que possible les diverses fonctions urbaines – dormir, travailler, se distraire, etc. Il s'agit essentiellement de contrôler l'étalement de la « flaque urbaine » – et de se souvenir de ce qu'est une ville : fondamentalement, un moyen d'économiser du temps et de l'énergie dans les transports. La densité tout à la fois réduit la longueur des déplacements, chasse la voiture, trop consommatrice d'espace au sol pour être efficace, et favorise les transports publics, jusque dans la desserte finale fournie par un véhicule électrique tellement habituel qu'on n'y pense jamais : l'ascenseur. De fait, la consommation d'énergie dans les transports est inversement proportionnelle à la densité (cf. graphique 3). De très nombreuses politiques publiques peuvent favoriser ou, au contraire, défavoriser un aménagement urbain promouvant les transports publics

Graphique 3: densités et consommations de carburants



Source : Newman and Kenworthy, 1989



et autres alternatives à l'automobile – outils réglementaires d'aménagement, conditions d'accès au crédit bancaire, prix des carburants, voire instruments économiques de contrôle et de répartition des plus-values foncières (taxation ou échanges de permis négociables).

Il peut être utile de rappeler ici les leçons d'une étude réalisée pour l'ADEME voici quelques années, sur la comparaison de deux modèles d'approvisionnement des ménages: le modèle urbain, avec des supérettes de quartier desservies par des utilitaires plus ou moins lourds mais où chacun va à pied plusieurs fois par semaine, et le modèle de banlieue, où l'on remplit son coffre une fois par semaine. Le modèle urbain génère infiniment moins de nuisances que le modèle de banlieue, et on peut parier que ce bilan ne serait guère détérioré si on le complète par des livraisons à domicile avec des utilitaires légers urbains – donc électrifiables.

## Normes et standards dans l'industrie, application au cas de l'automobile

Il s'agit d'intervenir par voie réglementaire ou négociée sur l'efficacité énergétique des véhicules, ou plus globalement sur leurs niveaux d'émissions. L'exemple historique reste celui des *Corporate Average Fuel Economy standards* américains, normes efficaces dans les années 1970 mais restées inchangées depuis à 27,5 miles per gallon (mpg, soit 8,5 l/100 km). Ces normes sont de plus massivement contournées par l'essor des *Sport Utility Vehicles* et autres utilitaires utilisés comme des voitures, réglementés depuis 2004 à 22,2 mpg (10,6 l/100 km). De son côté, la Californie poursuit une approche d'introduction de 10% de véhicules à émissions nulles mais a dû à plusieurs reprises non seulement en reporter la date de réalisation mais également affaiblir le critère d'émissions.

En 1998, la Commission européenne a négocié avec les associations de fabricants automobiles européens, Coréens et Japonais (ACEA, KAMA et JAMA) une réduction des émissions moyennes des voitures neuves à 140 gCO<sub>2</sub>/km d'ici 2008-2009.

Après de bons débuts, les réductions semblent toutefois marquer le pas, avec un rythme annuel de 1,8% au lieu de 3,3% comme il serait nécessaire. De plus, ces chiffres ne tiennent pas compte des différences entre les cycles de test, qui n'incluent pas, par exemple, l'usage de la climatisation, et les conditions réelles de circulation. De son côté, les gouvernements australien et canadien ont signé chacun des accords avec leurs industries automobiles pour une réduction progressive des émissions des voitures et utilitaires légers neufs, s'élevant en Australie à 18% en 2020.

Il est naturellement possible d'aller beaucoup plus loin avec ce type de mesures – on a évoqué ci-dessus l'arme forte des limitations de puissance – mais il convient de prendre garde au caractère relativement imprédictible des progrès technologiques, qu'illustrent les déboires californiens. Par ailleurs, introduire de la souplesse entre constructeurs dans la réalisation d'objectifs portant sur les flottes de nouveaux véhicules, par exemple par le truchement de permis négociables, ne peut qu'aider à faire accepter ces objectifs.

## Taxes et permis négociables

Les instruments économiques pour la protection de l'environnement – taxes et permis négociables – complètent la panoplie des outils de politiques publiques pour réduire les émissions de gaz à effet de serre des transports. Les prix du pétrole actuels rendent probablement encore plus difficiles l'introduction de taxes nouvelles sur les carburants. Il serait cependant utile que les dispositifs existant, bien que sans rapport à l'origine avec les questions d'environnement, voient leur légitimité réaffirmée par la nécessité de faire supporter à chaque activité les coûts qu'elle occasionne à la collectivité – de la construction des voies aux accidents, dommages de la pollution et du bruit, etc. Par exemple, les seules dépenses de l'État et des collectivités locales pour l'entretien et le développement de la voirie représentent en 2004 plus de la moitié des 30,5 milliards d'euros de recettes fiscales liées à l'utilisation de la route

(dont la TIPP).<sup>1</sup> On peut également se demander si des taxes plus élevées sur les produits pétroliers, notamment dans les pays industriels où elles sont particulièrement faibles, n'auraient pas écarté ou au moins retardé, en favorisant une meilleure maîtrise de la consommation, l'actuelle envolée des prix du pétrole. Pour le conducteur, la note serait peut-être aujourd'hui la même – mais du moins l'hémorragie de devises des pays importateurs serait moindre et leurs déficits publics mieux contrôlés.

Il est de bon ton de s'interroger cependant sur l'efficacité des taxes sur les carburants, au motif que l'élasticité aux prix serait trop faible. À long terme elle semble cependant importante, comme en témoigne le gouffre qui s'était creusé en matière d'efficacité des véhicules entre l'Europe et le Japon d'un côté, les États-Unis de l'autre, avant le premier choc pétrolier.

Si les taxes sur les carburants restent délicates, les taxes différentielles sur les véhicules, payables à l'achat ou annuelles, sont généralement mieux acceptées. Elles fournissent aux automobilistes des signaux très utiles si elles sont correctement dimensionnées sur les performances des véhicules en termes d'émissions. La suppression de la vignette française, qu'il convenait plutôt de réformer pour plus d'efficacité, s'est avérée fortement contre-productive du point de vue de la fiscalité écologique. Dans certains pays dépourvus d'industrie automobile (Danemark, Singapour), ce type de taxe atteint déjà des niveaux très élevés.

Enfin, on peut concevoir de nombreuses façons d'élargir aux transports les systèmes d'échanges de permis négociables. La formule *a priori* la plus satisfaisante serait celle des permis « amont », que doivent détenir les producteurs et importateurs de carburants. Ces permis « amont » seraient plus faciles à manipuler, en raison du petit nombre de compagnies concernées, que des permis « aval », directement associés à l'émission de CO<sub>2</sub>, sur

le modèle du système européen d'échange de permis d'émissions pour les seuls industriels.

Une condition du déploiement d'un tel système est probablement la garantie d'un retour au public de la rente qu'un tel système ne manquerait pas de dégager – lesdits producteurs ou importateurs « passant » au consommateur final le coût marginal de la réduction des émissions mais ne supportant eux-mêmes qu'un coût moyen moins élevé. Une première formule consisterait à mettre ces permis aux enchères, une seconde à taxer après coup les profits « indus » constatés chez les producteurs. Il a été suggéré outre-Atlantique que pour garantir au public que ces fonds ne constitueraient pas une taxation supplémentaire « au profit du gouvernement » (bien que l'expression n'ait évidemment guère de sens), ils feraient l'objet d'un « chèque dans la boîte aux lettres » adressé à chaque ménage ou habitant adulte. Un système « amont » peut parfaitement être mixé avec un système « aval » pour les grands consommateurs, tel que celui qui a été mis en place cette année en Europe pour la grande industrie et la production de chaleur et d'électricité. Il suffit d'exonérer de la nécessité de disposer d'un permis « amont » les ventes de combustibles aux opérateurs couverts par un système « aval ».

Mais on l'a dit, on peut concevoir plusieurs types d'inclusion des transports dans les permis (RAUX, FRICKER 2001). On peut imaginer d'installer des compteurs de carburants à bord des véhicules, inspectés annuellement. Ou bien faire payer les permis au moment de l'achat des carburants. On peut également allouer des permis aux autorités organisatrices des transports ou aux constructeurs automobiles. Dans le premier cas, on visera nécessairement la maîtrise de la demande et le transfert modal, dans le second l'efficacité énergétique des véhicules, au risque d'un certain « effet rebond » – quand les conducteurs roulent plus, car rouler leur coûte moins cher. En pratique, on allouerait aux constructeurs, par exemple, pour chaque véhicule vendu, des crédits équivalents à ses émissions sur une durée de vie d'une quinzaine d'années – sur la

1. Comptes transports de la Nation, 2005 : //www.statistiques.equipement.gouv.fr/

base d'un standard d'efficacité. Un tel système pourrait être complètement intégré au système actuel de permis dans l'industrie, même si les différences d'horizon temporel peuvent s'avérer problématiques (IEA, 2005d). Il serait certainement le plus efficace pour inciter les constructeurs à mettre sur le marché des véhicules plus performants – les consommateurs s'y retrouvant de leur côté par les économies de carburants induites. On notera cependant qu'un système de permis « amont » joue à terme, bien qu'indirectement, sur l'ensemble des déterminants des émissions, et n'a donc pas à se préoccuper d'un éventuel « effet rebond ».

Reste l'objection de la faible efficacité du signal prix ainsi communiqué aux automobilistes, aussi souvent avancée à l'encontre d'un système de permis « amont » qu'à celui de taxes sur les carburants – auxquelles il ressemble beaucoup. À la réponse ci-dessus sur l'efficacité à long terme, on est tenté d'ajouter que l'essentiel est de faire participer toutes les sources d'émissions aux mécanismes de marché. Si le secteur des transports est acheteur net de permis, cela veut dire qu'il compense une partie de ses émissions par des réductions d'émissions supplémentaires dans d'autres secteurs d'activité – parce qu'en dernière analyse elles y sont moins chères. C'est précisément à cela que doivent servir les permis : orienter les réductions là où elles coûtent le moins – et peu importe si dans un premier temps les émissions propres (si l'on ose écrire) des transports ne diminuent que faiblement. Dans un système de permis, on ne détermine pas un prix, mais une quantité d'émissions, dont le prix n'est qu'un reflet, et il augmentera nécessairement quand les réductions peu coûteuses auront été épuisées. Par ailleurs, les importateurs et producteurs de carburant ne sont sans doute pas moins bien armés que les pouvoirs publics pour aller chercher éventuellement des permis d'émission supplémentaires sur les marchés internationaux, ou des réductions d'émissions certifiées issues du mécanisme de développement propre.

## Transports maritimes et aériens : quel avenir ?

Les émissions des transports aérien et maritime internationaux (routes maritimes internationales) ne sont pas incluses dans les engagements des pays industriels pris à Kyoto. Elles croissent cependant rapidement et menacent l'objectif de la Convention sur les changements climatiques. D'ici 2050, le trafic aérien mondial devrait croître de 5% par an, entraînant un triplement des émissions de CO<sub>2</sub>. De plus, l'effet climatique total des émissions des avions est deux à trois fois plus élevé que celui du seul CO<sub>2</sub> (GIEC 1999).

Comment contrôler ces émissions ? Le débat se concentre autour de trois possibilités : les accords volontaires avec l'industrie, les taxes et les permis négociables. L'assemblée générale de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) a recommandé un travail sur deux approches : un système d'échanges de permis volontaires initiés par les États et les organisations internationales, et l'incorporation des émissions de l'aviation internationale dans les systèmes domestiques d'échanges de permis.

En Europe, les émissions de l'aviation ont crû de 60% entre 1990 et 2002, alors même que les émissions totales diminuaient de 3%. Selon les prévisions, les émissions de l'aviation seront égales à un quart des émissions du seul Royaume-Uni. C'est pourquoi la Commission européenne soutient l'entrée de l'aviation internationale dans le système européen d'échange de permis. Elle favorise le schéma selon lequel non seulement toutes les émissions dans l'espace aérien européen seraient prises en compte, mais également toutes les émissions entraînées par les vols partant du territoire européen. La compétitivité des transporteurs européens n'aurait pas à en souffrir, tous les opérateurs d'une route donnée étant soumis aux mêmes contraintes.

Les émissions des routes maritimes internationales font l'objet d'une attention bien moindre. Pourtant elles sont supérieures à celles de l'aviation, en volume (463 contre 354 mt CO<sub>2</sub>) comme en taux

de croissance (27,6% contre 23,9% entre 1990 et 2002). Une plus grande élasticité de la demande pour l'aviation, notamment pour le tourisme, peut expliquer cette différence. De plus, alors que des trains à grande vitesse peuvent en partie se substituer au transport aérien, le transport maritime est bien plus efficace que son substitut potentiel (selon les destinations naturellement), le transport routier. D'un autre côté, le transport maritime offre peut-être des potentiels d'amélioration d'efficacité énergétique plus importants que le transport aérien, en particulier avec la généralisation des chaînes de propulsion électriques. Eh oui, l'hybride, ça marche aussi sur l'eau !

### **Conclusion: agir à tous les niveaux**

En guise de conclusion, on ne peut guère faire moins qu'insister sur la nécessité de jouer sur tous les leviers d'action à la fois pour réduire la dépendance pétrolière, et surtout réduire les émissions de CO<sub>2</sub> des transports terrestres, aériens et maritimes.

La maîtrise de la demande est une affaire de longue haleine sur les formes et les fonctions urbaines, conditionnée par la recherche d'une densité minimale. Elle va de pair avec le dévelop-

pement des alternatives à la voiture individuelle, supposant investissements publics et décisions courageuses d'affectation de voiries réservées.

Du côté des véhicules et des carburants, la voie de progrès la plus importante nous paraît celle d'une hybridation poussée à son terme: des véhicules fonctionnant tantôt à l'électricité du réseau (qu'on suppose à faibles émissions carbonées), et tantôt à partir de carburants liquides, biocarburants compris, avec une bien plus grande efficacité grâce au mode hybride.

Enfin, l'inclusion des transports dans les échanges de permis d'émissions est peut-être, aux prix actuels des carburants, la seule voie ouverte pour internaliser les coûts de l'effet de serre. Le modèle «amont», qui intervient sur tous les déterminants des émissions, semble à privilégier, à condition que la rente retourne au public, et même si l'élasticité au prix est faible à court terme, car peu importe où auront lieu les réductions d'émissions financées par les automobilistes ou les transporteurs routiers.

À défaut ou en complément, l'imputation aux constructeurs de la responsabilité des émissions des véhicules vendus pourrait être d'introduire dans un durcissement progressif des normes d'émissions la souplesse économique requise par l'incertitude inhérente au développement technologique.

## Bibliographie

---

- BAUQUIS, P.-R. 2004, « Quelles énergies pour les transports au XXI<sup>e</sup> siècle ? » *Les cahiers de l'économie*, n° 55, IFP, Rueil.
- FULTON L. 2004, *Reducing Oil Consumption in Transport: Combining Three Approaches*, IEA/ETO Working Paper, IEA, Paris.
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) 1999, *L'aviation et l'atmosphère planétaire*, rapport spécial des groupes de travail I et III du GIEC.
- GIELEN D., UNANDER F. 2005, *Alternative Fuels: An Energy Technology Perspective*, IEA/ETO Working Paper, IEA, Paris.
- IEA 2002, *Bus Systems for the Future*, IEA/OECD, Paris.
- IEA 2004a, *World Energy Outlook*, IEA/OECD, Paris.
- IEA 2004b, *Biofuels for Transport*, IEA/OECD, Paris.
- IEA 2005a, *CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion*, 2005 IEA/OECD, Paris.
- IEA 2005b, *Key Energy Statistics*, IEA/OECD, Paris.
- IEA 2005c, *Resources to Reserves*, IEA/OECD, Paris.
- IEA 2005d., *Act Locally, Trade Globally – Emissions Trading for Climate Policy*, IEA/OECD, Paris.
- NEWMAN P., KENWORTHY J. 1989, *Cities and Automobile Dependence: An International Sourcebook*, Gower Publishing Company, Brookfield, Vermont.
- RAUX C., FRICKER E. 2001, *L'effet de serre et les transports: les potentialités des permis d'émission négociables*, Conseil national des transports, Paris.

## Résumé

---

Les émissions de CO<sub>2</sub> des transports participent des changements climatiques anthropiques et la dépendance du secteur au pétrole ne faiblit pas, ce qui à terme ne manquera pas de devenir problématique. De nombreuses options existent pourtant pour réduire les émissions et la dépendance au pétrole en améliorant l'efficacité énergétique des véhicules et en réduisant l'intensité en carbone des énergies utilisées. Les incertitudes sur les développements technologiques à moyen et long terme ne permettent pas d'identifier à coup sûr les technologies « gagnantes », ni de prédire leur déploiement à grande échelle. Si la voiture à hydrogène continue de faire rêver, le véhicule hybride, alliant moteur à combustion et chaîne de traction électrique, facilitera une électrification croissante des transports. Les biocarburants pourront constituer un appoint utile. Par ailleurs, le développement des transports publics et la maîtrise de la croissance des déplacements de biens et personnes seront également indispensables.

La mise en œuvre de ces options nécessite de la part des pouvoirs publics de jouer sur de nombreux leviers, des choix d'infrastructures aux normes techniques. L'insertion des transports dans les systèmes d'échange de permis d'émission, qui pourrait prendre des formes diverses, permettrait de gérer de façon souple la participation des transports aux efforts globaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

## Mots clés

---

Facteur 4, transports, route, moteurs hybrides, permis d'émissions.