

CNISF

TRANSPORTS ET ENERGIE

Le gouvernement français a inscrit la politique énergétique nationale dans la perspective d'une réduction d'un facteur 4 des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050. Ce chiffre a été défini afin d'obtenir un facteur mondial de 2, compte tenu de l'évolution des pays en développement qui eux, sont aujourd'hui beaucoup moins émetteurs que les pays industrialisés, mais dont la croissance sera forcément plus élevée. Cette réduction est considérée par l'IPCC (International Panel on Climate Change) comme nécessaire d'ici 2050 afin d'éviter des influences jugées irréversibles sur le climat mondial et les conséquences catastrophiques pour les populations qui s'ensuivraient.

Simultanément la raréfaction prévisible du pétrole et du gaz à moyen terme, l'accroissement corrélatif des prix et la dépendance stratégique de pays producteurs en nombre limité renforcent la nécessité de recherche d'énergies alternatives.

Les Comités Transport et Energie du Conseil National des Ingénieurs et Scientifiques de France (CNISF) ont recueilli auprès de divers experts concernés leurs avis sur les évolutions futures possibles des besoins en transports et sur les énergies qui pourront être utilisées pour satisfaire ces besoins. Cette note en donne une synthèse et propose les actions et recherches qu'il est nécessaire d'engager de façon à approcher au mieux le but que s'est fixé le gouvernement français.

CONSTAT

En 2000, les transports nationaux ont consommé 53,8 Mtep, dont 43 pour les transports routiers, 5,4 pour le transport aérien, 3,4 pour la navigation et 2 pour le chemin de fer, soit 25,1 % de la consommation d'énergie totale. Elle a doublé au cours des 25 dernières années, et elle continue de croître. Les transports urbains et périurbains entrent pour les 2/3 dans cette consommation. Les consommations des transports routiers se répartissent en gros en 59% pour les voitures particulières, 23% pour les poids lourds (pour 6% seulement des Véhicules.km) et 17% pour les véhicules utilitaires.

Les transports ferroviaires de voyageurs et de fret se font en grande majorité en traction électrique, donc en quasi-totalité sur base nucléaire et hydraulique, mais ils représentent moins de 15% de la totalité des transports terrestres. Les transports fluvial et par oléo- et gazoducs assurent environ 9% du trafic, presque exclusivement en fret.

Les transports émettent environ 35 % des gaz à effet de serre, soit 150 Mt par an.

La diminution à terme de la production pétrolière, l'augmentation de la demande et l'augmentation corrélative du prix du baril de pétrole posent également la question de la recherche d'énergies alternatives ; le peak oil devrait se situer aux alentours des années 2020/2025. La date n'en est pas précise, d'ailleurs certains experts estiment qu'il pourrait se situer quelques années plus tard. Dès maintenant, s'il était assuré que le prix du baril reste aussi élevé, il justifierait des modes de production non rentables jusqu'à ce jour (à partir de ressources naturelles ou de synthèses), ouvrant des perspectives de disponibilité prolongée de plusieurs années des carburants hydrocarbures ou dérivés.

Cette échéance est, en particulier, très liée à l'évolution de la croissance économique de l'Asie, mais la chute de la découverte de nouveaux gisements montre que ce pic ne pourra en aucun cas se situer beaucoup plus tard. L'évolution chaotique des approvisionnements et des prix est la conséquence de

ces besoins et d'une situation géopolitique agitée, du fait qu'une grande partie des réserves se trouve en zone instable (Moyen Orient et Russie).

Le transport aérien restera le consommateur ultime de pétrole, tout substitué, hors le kérosène de synthèse, cher, étant difficilement envisageable à moyen terme pour ce mode de transport.

A noter que la France n'est représentative de la situation en Europe ni pour l'énergie (en raison du nucléaire), ni pour les transports (décroissance du fret ferroviaire et croissance ailleurs). Les émissions de gaz à effets de serre par habitant sont inférieures en France à la moyenne européenne ; l'objectif de leur division par 4 serait particulièrement pénalisant pour notre économie surtout dans le cas où d'autres pays n'observeraient pas cette règle.

EVOLUTIONS A L'HORIZON 2050.

Il est aujourd'hui très hasardeux d'imaginer quels pourront être le contexte et le consensus des peuples pour agir de concert, aussi bien pour ce qui concerne un épuisement de ressources fossiles encore très abondantes (le charbon en particulier), que pour ce qui concerne la qualité de vie, les économies et l'environnement (perçu comme une dégradation pour certains , un inconvénient acceptable voire une opportunité pour d'autres...). La France, déjà économe en énergie, et modeste émetteur de gaz à effet de serre, ne pèse sensiblement ni sur la demande, ni sur l'offre en énergie, ni sur l'environnement de la planète. Sa politique énergétique et ses modes de transports seront donc fortement intégrés à un contexte global difficilement prévisible, la recherche d'une moindre dépendance restant probablement une constante, dans un ensemble européen hétérogène.

Plusieurs hypothèses sont envisageables, selon le niveau de gouvernance (harmonisation des objectifs et des politiques) au niveau mondial, aujourd'hui extrêmement faible, et le niveau de taxation qui sera appliquée aux carburants issus du pétrole : une forte taxation permettant d'améliorer la rentabilité des carburants de substitution ferait baisser la demande en pétrole et pourrait faire décroître son prix et retarder sa raréfaction. On peut d'ailleurs comprendre que le niveau de gouvernance doit être adapté en fonction de l'évolution des conditions climatiques (en fait de la vitesse de réchauffement de la planète), évolution que l'on imagine mais que l'on a de la peine à appréhender avec précision.

Quel que soit ce niveau, la mobilité, facteur de croissance économique et de qualité de vie devrait en principe se maintenir, voire croître, toutefois avec des taux d'autant plus faibles que la gouvernance sera grande ; la mobilité peut prendre - et sans doute doit nécessairement prendre - des formes différentes (raccourcissement des distances et report partiel sur les modes n'utilisant pas l'énergie d'origine fossile).

La prédominance de la route, pour les voyageurs et le fret, se maintiendra, en dépit des améliorations apportées aux modes alternatifs : transports urbains, chemin de fer, autoroutes de la mer, voies navigables et d'une plus forte inter modalité. Les transports ferroviaire, fluvial et maritime ne pourront guère absorber qu'une partie de l'augmentation du transport routier, au mieux la moitié.

En ce qui concerne le trafic aérien, qui a crû de 4,3% en moyenne sur les 40 dernières années, il devrait continuer à croître à un taux important d'ici 2050 pour atteindre un niveau compris entre 3 et 5 fois le niveau actuel. Des progrès techniques interviendront, permettant de réduire encore les consommations, mais l'architecture de l'avion, déjà très performante, ne devrait pas changer fondamentalement au cours de cette période. De ce fait les émissions de CO2 dues au transport aérien vont augmenter dans des ordres de grandeur semblables.

PROPOSITIONS D'ACTION

L'objectif du **facteur 4 en 2050**, tous secteurs confondus, est si ambitieux que le seul progrès technique ne suffira pas, qu'il faut mobiliser les pouvoirs publics et qu'il faut fixer des objectifs intermédiaires, comme proposé par la mission de l'Assemblée Nationale sur l'effet de serre : diminuer les émissions de 25% d'ici 2020. Pour cela, il est urgent d'agir à tous niveaux et par tous les moyens : politique, médiatique, fiscal, technique et comportemental. Mais il restera primordial de ne pas imposer des normes qui risqueraient de compromettre la compétitivité des technologies nationales.

Il s'agit d'une cause mondiale qu'il s'agit d'abord de traiter **au niveau européen**, en définissant une réelle politique commune, et dans toute la mesure du possible au niveau mondial (en particulier les Etats-Unis), pour respecter les accords de Kyoto. Pour atteindre le niveau mondial, il est évident qu'il faut d'abord s'accorder sur le plan européen. Nos voisins européens n'ayant pas autant développé la production d'électricité par la voie nucléaire que la France, ils émettent davantage de CO2 (pétrole ou charbon). Ainsi l'Allemagne émet 650g de CO2 par KWh produit, quand la France n'en émet que 100. Et elle a aujourd'hui l'intention d'arrêter toute production d'électricité d'origine nucléaire d'ici 2025 !

Les objectifs à atteindre doivent être clairement définis, les étapes intermédiaires tracées conjointement par l'Union européenne et déclinées au niveau des Etats membres en fonction de leur situation de départ. La France doit déposer de nouvelles propositions pour aller plus loin en matière de décisions communes que lors de la réunion des chefs d'état et de gouvernement, début 2006.

Par ailleurs, il est important de prendre en considération les hypothèses les plus pessimistes, en particulier en ce qui concerne l'échéance du peak oil, afin de ne pas risquer de se faire prendre de court, quitte à détendre les mesures au fur et à mesure de l'amélioration des connaissances, plutôt que l'inverse.

Dans toutes les hypothèses d'évolution, le facteur 4 de réduction des émissions de CO2 en ce qui concerne les transports ne pourra pas être respecté, sauf à remettre en cause de manière fondamentale la mobilité. Au mieux, on pourra atteindre un facteur de 2,5. Il importe donc que tous les autres secteurs, en particulier les secteurs statiques (tels que le bâtiment et l'industrie) pour lesquels le captage des gaz à effet de serre est plus aisé que pour les transports qui sont par définition un secteur mobile, réussissent à dépasser ce facteur de 4.

Informier et former les citoyens

Les enjeux et le contexte global devraient faire l'objet d'une large information et d'explications aux citoyens afin que ceux-ci les comprennent et modifient leurs comportements énergétiques en diminuant les nombreux gaspillages inhérents à notre mode de vie : conduire autrement (15 à 20% de réduction de consommation ; la généralisation d'indicateurs de consommation instantanée à bord des véhicules routiers est à la fois simple et très efficace), mieux grouper les déplacements et mieux utiliser les transports alternatifs (marche à pied et modes doux, transports collectifs) et en tout état de cause, acheter les véhicules les plus sobres possible et veiller à leur bon entretien. Pour mieux sensibiliser les acteurs économiques, il est proposé de créer des observatoires d'émissions de gaz à effet de serre aux niveaux national, régional, des grandes agglomérations soumises à l'obligation d'élaborer un plan de déplacements urbains (PDU), et des entreprises de plus de 1000 salariés. Pour les consommateurs, il convient d'améliorer la connaissance des consommations à partir de l'étiquetage sur les véhicules relatif aux émissions de CO2, en lui donnant toute la publicité nécessaire comme pour les équipements ménagers. Enfin il faut l'amener à considérer qu'une économie d'énergie est assimilable à une augmentation des performances du véhicule.

Etablir une fiscalité cohérente avec les objectifs

La fiscalité de l'énergie relative aux transports est complexe et comporte beaucoup de situations différentes qui ne s'expliquent que par l'histoire. Les carburants aériens et maritimes ne sont pas taxés. Faut-il maintenir cette exception ? Une partie des taxes sur le gazole est remboursée aux transporteurs

routiers. Est-ce souhaitable dans une perspective à long terme ? La différence des taxes entre essence et gazole est-elle bien fixée, sachant que le gazole est favorable à la diminution des émissions ? Quels sont les bons niveaux de taxes pour les énergies alternatives (biocarburants, GNV, GPL, électricité). Une réflexion axée sur le long terme s'impose ; elle doit être menée à la fois au niveau national et à celui de l'Union européenne. La fiscalité spécifique liée aux émissions de CO² instaurée pour les véhicules de société doit être étendue à tous les autres véhicules, y compris les poids lourds, en y apportant les aménagements convenables.

D'autre part, le signal d'une augmentation des prix doit être clairement affiché, en dépit des fluctuations des prix du baril de pétrole, ce qui suppose une adaptation temporelle des taxes pour amoindrir ces fluctuations.

Par ailleurs, l'extension des quotas et permis d'émission à l'ensemble de l'industrie, de la grande distribution et du secteur des transports doit être décidée au niveau européen et étendue au niveau mondial . De même, le système de certificats d'économies d'énergie doit être mis en place le plus rapidement possible.

Accélérer le progrès technique

Au niveau technique, essentiel au relèvement du défi de la satisfaction des besoins de mobilité, il s'agit de développer les technologies diminuant la consommation des produits pétroliers : motorisation, énergies de substitution, gestion des circulations. Il est donc particulièrement important de mettre en œuvre des substituts au pétrole nettement moins émetteurs de gaz à effet de serre (de la source au consommateur).

Concernant la motorisation, des progrès sont encore possibles ; ils doivent être recherchés en privilégiant la diminution de la consommation unitaire, en limitant les performances de puissance tout en maintenant le confort de conduite et la sécurité. Ne faut-il pas limiter les consommations unitaires des automobiles, en accord avec les constructeurs européens, en imposant une réglementation fixant l'émission de CO₂ à 115g par kilomètre parcouru ? Il faut en outre promouvoir les motorisations les plus performantes pour les voitures particulières, véhicules de transports en commun, véhicules utilitaires et poids lourds (diesel hybride, gaz naturel (GNV) et électricité pour certains véhicules). Les transports en commun sont les plus susceptibles d'être électrifiés (trolleybus, tramways en remplacement des autobus, électrification des lignes de banlieue de province).

Concernant l'énergie, la réponse la plus immédiate concerne la généralisation des biocarburants avec un objectif de 20 à 30%. Cet objectif implique du point de vue de l'agriculture le développement de plantes à haut potentiel énergétique, leur transformation chimique pour obtenir le meilleur rendement (3 à 5 TEP/ha) et leur incorporation avec les produits pétroliers. La faisabilité de cette chaîne concerne les agriculteurs, les forestiers, les chimistes et les pétroliers. Elle nécessite encore d'importantes études pour sa mise en œuvre, en particulier dans le domaine de sa rentabilité, de son écologie et de sa logistique. L'objectif doit être atteint en 2020. Dans l'état actuel des connaissances, une des solutions pour la voiture du futur pourrait être l'hybridation (thermique et électrique rechargeable) et l'utilisation des biocarburants (environ 1/3 de biomasse, 1/3 d'électricité, 1/3 de pétrole). Mais à court terme il serait sans doute opportun de cesser d'encourager l'utilisation du fuel domestique pour les utilisations statiques (industrie et habitat) pour en disposer plutôt comme gazole moteur, et de lui substituer soit la biomasse, soit l'électricité, soit le gaz. Enfin, il faudra bien prendre en compte, et comparer, les dépenses d'énergie sur la base du cycle complet, c'est-à-dire en incorporant dans les dépenses énergétiques non seulement celles relatives au véhicule lui-même, mais également celles nécessaires à la production et à la logistique de transport de cette énergie.

En matière de gestion des circulations l'objectif est de fluidifier la circulation en diminuant son volume notamment en ville – sans augmenter la congestion -, tout en prenant soin de ne pas trop modifier la mobilité globale, et pour cela de généraliser l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC), notamment en matière de stationnement. Quand on sait que plus de

10% de la circulation urbaine est consacrée à la recherche d'une place de stationnement, on comprend toute l'importance de cette action. Le péage urbain constitue dans certains cas un outil adapté, comme le montrent Londres et Stockholm, favorisant un meilleur report vers les transports collectifs et les modes doux. En tout état de cause, il importe d'assurer le financement de l'augmentation de la qualité de ces modes de transport (augmentation des capacités et des plages de fonctionnement, protection des cyclistes, etc...).

Pour le fret, beaucoup est à faire pour développer des alternatives pertinentes aux transports routiers : promouvoir en priorité les autoroutes de la mer sur nos deux façades maritimes, la route roulante pour le transit (Pyrénées et puis Alpes), la massification du fret ferroviaire et le transport fluvial dans les bassins de la Seine, Rhin et Rhône, optimiser les trajets et les chargements, optimiser les livraisons en ville, et en particulier, réactiver le commerce de proximité. La question de l'instauration d'un péage pour les poids lourds sur les routes nationales est à étudier, à l'exemple de l'Allemagne, l'Autriche et la Suisse, comme incitation à diminuer les parcours à vide ou à chargement incomplet.

Les développements attendus dans la motorisation hybride rechargeable et les perspectives de progrès sur les motorisations et batteries électriques impliquent que nous conservions notre production d'électricité nucléaire, non émettrice de CO₂, à un très haut niveau, d'autant qu'elle constitue un de nos produits d'exportation. Il est en particulier de la plus grande urgence de lancer le programme EPR dans le but de renouveler notre parc nucléaire qui va arriver en fin de vie dans les 20 ans qui viennent. Il ne faut pas le ralentir dans l'espoir de le remplacer par le programme ITER, dont il est peu probable que l'industrialisation puisse intervenir avant l'an 2050, donc au moment où les premières centrales EPR approcheront leur fin de vie. Et toutes les recherches visant à neutraliser les déchets nucléaires de façon sûre ou et surtout à recycler (surgénérateur) les combustibles nucléaires doivent être maintenues dans toute leur intensité.

Les modes de production alternatifs d'électricité doivent naturellement être développés, dans leur domaine de pertinence tout en veillant à la continuité de la distribution et à l'acceptabilité sociale des prix de l'électricité. Les énergies renouvelables, le plus souvent diffuses et aléatoires, (comme l'éolien) devront être complétées par des capacités de production fiables supplémentaires (dont les coûts devront être intégrés).

PROPOSITIONS DE RECHERCHES

Si certaines des actions proposées ne nécessitent que des décisions, par contre il reste nécessaire d'entreprendre ou d'intensifier un certain nombre de thèmes de Recherche et Développement, soutenus par une recherche fondamentale indispensable :

- des recherches dans le domaine technique sur l'amélioration de la motorisation des véhicules et en particulier des poids lourds,
- sur la récupération de l'énergie de freinage (en ville, un véhicule accélère et freine en permanence),
- sur le captage de l'énergie par les véhicules,
- sur les performances, la longévité et l'industrialisation des batteries (en particulier NiMH et Lithium-ion),
- plus généralement sur le stockage de l'énergie électrique,
- sur l'automatisation des transports en commun pour en améliorer la fluidité et la flexibilité,
- sur la pile à combustible : à ce jour seule la pile PEM (Proton Exchange Membrane) peut raisonnablement être embarquée sur un véhicule. Elle nécessite malheureusement un catalyseur qui est le platine, cher, et surtout dont les réserves mondiales sont notoirement insuffisantes pour assurer une diffusion industrielle de ce type de pile. Cette technologie nécessite donc un saut technologique et ne peut se contenter d'une recherche incrémentale,
- sur le stockage sûr de l'énergie gazeuse (en particulier sur la base des nanotechnologies),
- sur le niveau d'agressivité des gaz à effet de serre selon leurs conditions d'émission, et sur leur confinement,

- des recherches dans le domaine industriel : optimiser la production de la biomasse et de sa transformation pour organiser la filière agro-industrielle des biocarburants,
- enfin des recherches économiques : redéfinir la tarification des infrastructures et l'ensemble de la fiscalité des transports, afin d'assurer l'équité entre les différents modes,
- analyser les implications de la notion de "juste à temps" sur les transports et proposer les orientations nécessaires à leur optimisation.
- des recherches dans le domaine urbain : redéfinir un modèle de développement urbain plus économe en énergie, en intégrant la logistique urbaine (en particulier densité et mixité commerces et habitat).

CONCLUSION

Malgré l'incertitude dans laquelle nous nous trouvons actuellement quant à l'évolution du réchauffement terrestre dû à l'effet de serre et à l'approvisionnement du marché en carburants d'origine fossile, le principe de précaution nous dicte d'entreprendre ou intensifier au plus vite, aux niveaux européen et mondial, toutes les recherches nous permettant de réduire, dans des conditions économiques qui ne compromettent pas notre compétitivité, la consommation de carburants d'origine fossile et, par voie de conséquence les émissions de CO₂. La France est déjà très en avance sur ce point par rapport à l'Europe et aux Etats-Unis, par contre sa compétitivité est fragile et ne supportera pas l'imposition de demandes inconsidérées.

D'ores et déjà, il est certain que le domaine des transports ne pourra pas atteindre d'ici l'an 2050 le niveau de réduction de 4 souhaité par le gouvernement, mais seulement un niveau de l'ordre de 2,5, moyennant un programme conséquent de recherches et de développements technologiques et économiques. D'importants efforts doivent également être faits dans tous les autres domaines, et plus particulièrement les domaines statiques de l'industrie et de l'habitat.

Il faut aussi souligner que la demande de mobilité restera très importante pour nos concitoyens, qu'elle contribue fortement aux aspirations de qualité de vie, et à l'organisation de notre société, de notre économie et de nos industries.

En tout état de cause, la production de biocarburants ou de carburants de synthèse seront très gourmands en énergie calorifique qu'il importera de produire au maximum à partir de l'énergie électrique, donc d'origine nucléaire afin de préserver notre indépendance énergétique.

Enfin il faut être conscient qu'une action menée par la France seule n'aura aucun effet sur le réchauffement de la planète. Seule une action au niveau de l'ensemble des pays industrialisés, Etats-Unis compris, et des grands pays en développement, peut avoir une quelconque efficacité, ce qui implique en premier lieu une action concertée au niveau européen.

REMERCIEMENTS

Cette note a été établie à la suite des auditions de Ph. Ayoun, P.R. Bauquis, A. Douaud, J.N. Chapulut, O. Paul-Dubois-Taine, P. Radanne, J.B. Rigaudias, T. Vexiau et G. Ville. Elle a tenu compte des publications de l'Académie des technologies, notamment « *Prospective de l'énergie au 21ème siècle* », du Conseil général des Ponts et Chaussées « *Scénarios de transports en 2050* » et de la note d'information de la mission sur l'effet de serre de l'Assemblée Nationale.

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 : Quelques chiffres.
- Annexe 2 : Objectifs et Réglementations
- Annexe 3 : Conclusions du séminaire Transport routier de fret
- Annexe 4 : Conclusions du séminaire Transport maritime
- Annexe 5 : Conclusions du séminaire Transport aérien
- Annexe 6 : Vers une logistique durable
- Annexe 7 : Les carburants issus de la biomasse
- Annexe 8 : La pile à combustible

Annexe 1 : Quelques chiffres.

La consommation d'énergie liée aux transports représente aujourd'hui 60% de la totalité de l'énergie fossile consommée en France. Elle a doublé au cours des 25 dernières années. Les transports urbains et périurbains entrent pour les 2/3 dans cette consommation.

La France émet 100g de CO₂ par KWh produit, l'Allemagne 650.

La croissance du PIB est actuellement de 1,9% par an, mais il devrait décroître vers une asymptote à 1,5 % en raison du vieillissement de la population.

Le trafic routier actuel, en véhicules x kilomètres, est constitué pour 77% de véhicules particuliers, 17% de véhicules utilitaires et 6% de camions.

Le trafic voyageurs actuel, hors transports urbains et périurbains, est de l'ordre de 400 GVk, dont :

- 310 GVk pour la route,
- 75 GVk pour le ferroviaire (40 par TGV),
- 15 GVk pour l'aérien (intérieur).

Le trafic voyageurs en zones urbaines et périurbaines est de l'ordre de 350 GVk, dont 55 en transports collectifs et 10 en 2 roues.

En ce qui concerne le trafic fret national actuel, son volume est de l'ordre de 340 Gk, dont :

- 260 Gk par la route, en progression de 44% au cours des 15 dernières années (dont 75 Gk sous pavillon étranger),
- 25 Gk pour le ferroviaire, en décroissance de 8%,
- 8 Gk pour le fluvial (tous pavillons), en croissance de 26% (mais 4 seulement sous pavillon français, stable).
- et 20 Gk pour les oléoducs, stable.

Sur courtes distances, le transport fret sur route est moins cher. Plus de la moitié des tonnes couvrent moins de 50km. Sur longues distances (> 500km), le fer est moins cher.

La question de sécurité, en particulier pour le transport de marchandises dangereuses, implique des contraintes importantes qui conduisent les chargeurs à choisir des transports particulièrement sûrs qui utilisent des voies autres que routières. Toutefois, le combiné stagne depuis plusieurs années.

Le trafic aérien a crû de 4,3% par an en moyenne sur le 20 dernières années, et il devrait continuer à croître, d'au moins 2% par an, pour doubler d'ici 2050, essentiellement sur le trafic international de tourisme.

Le trafic par oléoducs et gazoducs est resté constant au cours des dernières années à 20 GtK.

Annexe 2 : Objectifs et Réglementations

L'objectif 2008-2010 d'émissions de gaz à effet de serre, tous secteurs d'activités confondus, a été fixé en application du protocole de Kyoto par l'Union européenne pour les 25 Etats membres à 2 MM tonnes d'équivalent CO², en diminution de 8% par rapport à l'année de référence de 1990. Pour la France, l'objectif s'élève à 565 M tonnes d'équivalent CO², niveau atteint en 1990.

Les émissions en 2003 en France s'élèvent à 557 Mt, dont 150 pour l'ensemble du transport sur le territoire national. Ce dernier montant a augmenté de 23 % entre 1990 et 2003.

Selon le CITEPA, en 2003, le volume des émissions se répartit à raison de 92% pour le domaine routier (dont 52% pour les véhicules particuliers, 23% pour les poids lourds, 16% pour les véhicules utilitaires et 1% pour les deux roues), 4% pour l'aérien national, 2% pour le maritime national, 1% pour le ferroviaire et 1% pour le fluvial.

La directive européenne fixant les quotas d'émissions pour certaines industries est applicable depuis le 1^{er} janvier 2005 en France. Elle ne concerne pas le secteur des transports.

La loi du 13 juillet 2005 relative aux orientations de la politique énergétique instaure des mesures d'économies d'énergie. Certaines sont obligatoires, d'autres incitatives. Les premières concernent les distributeurs d'énergie (électricité, gaz, fioul domestique) qui ont obligation d'atteindre des objectifs fixés par la réglementation, sous peine de pénalités de 2 centimes d'euros par kwh. Les secondes concernent des économies additionnelles effectuées par des entreprises, dont celles de transport, qui donnent lieu à établissement de certificats d'économies d'énergie par les DRIRE. Ces certificats peuvent rachetés par les entreprises distributrices d'énergie qui n'auraient pas atteint leur objectif pour éviter de payer des pénalités. Il peut donc y avoir un marché de certificats, comme il y a un marché de quotas d'émissions. Le montant de pénalités de 2 cents d'euros par kwh donne une borne supérieure pour la valeur des certificats.

Des fiches préparées par l'ADEME et l'ATEE précisent les modalités qui seront approuvées par arrêté.

La loi de finances pour 2006 instaure une taxe sur les véhicules de société fonction des émissions de CO². Sept niveaux de redevances sont prévus, selon que le véhicule émet moins de 100g/km de CO² ou plus de 250. Le montant varie de 0 pour la première catégorie à 428 € pour la seconde (100 à 120) et 5301 € pour la septième. Le régime antérieur comportait deux niveaux, 1130 € pour les moins de 7 CV fiscaux et 2440 au delà.

En outre, les véhicules neufs sont soumis à un étiquetage comportant les sept mêmes niveaux depuis le 10 mai 2006 et les véhicules les plus émetteurs seront taxés de manière additionnelle à compter du 1^{er} juillet 2006.

Annexe 3 : Conclusions du séminaire Transport routier de fret

Le transport routier de fret est aujourd'hui le transport de référence : à la fois de par son volume (80% des T_k transportées) et sa qualité de service. Quels que soient les transferts possibles vers d'autres modes de transport, le transport routier restera le mode de transport de référence à l'avenir. Compte tenu des perspectives de croissance du transport total de fret, les reports sur les autres modes de transport, autoroutes de la mer, cabotage maritime, transports ferroviaire et fluvial, permettront d'acheminer environ le tiers et au maximum la moitié de la croissance prévue. Le transport routier de fret continuera donc à croître (+ 30% ?).

Par ailleurs, la répartition des consommations dans le domaine du trafic routier s'établit sensiblement à 59% pour la voiture particulière, 23% pour les poids lourds, et 18% pour les véhicules utilitaires. Les émissions de CO₂ sont donc réparties à parts sensiblement égales entre le trafic voyageurs et le trafic fret. Les recherches en vue de diminuer les consommations dans le domaine du transport routier de fret

doivent donc être conduites avec la même intensité que dans le domaine de la voiture particulière. Parmi les mesures, le passage du poids maximal autorisé de 40 à 44 tonnes est souhaitable.

Annexe 4 : Conclusions du séminaire Transport maritime

La question de sécurité, en particulier pour le transport de marchandises dangereuses, implique des contraintes importantes qui conduisent les chargeurs à choisir des transports particulièrement sûrs qui utilisent des voies autres que routières. Le passage du transport routier à un transport combiné, quel qu'il soit, a tendance à allonger les délais de livraison, ce qui est contraire au fonctionnement « juste à temps » de l'économie actuelle. Un changement suppose un important travail logistique et commercial. Lorsque le transfert est possible, il en résulte à la fois un gain financier pour l'entreprise et ses clients, ainsi qu'un gain pour la collectivité : les avantages locaux sont importants lorsque le trafic diminue de quelques dizaines ou quelques centaines de milliers de véhicules par an sur un axe routier ou dans une vallée de montagne.

Il est nécessaire de valoriser la quantité de gaz à effets de serre économisée, comme cela va se pratiquer dans le domaine industriel, avec l'instauration de permis. Ainsi sera défini le cadre conceptuel, financier et économique dans lequel s'inscriront les recherches d'économies de consommation des produits pétroliers dans une perspective de progrès à long terme

En raison de la faiblesse des reports de trafic, il est nécessaire de poursuivre des études de marché beaucoup plus précises et plus fines, tenant bien compte des types de marchandises et des différents marchés, pour définir les flux captables par les autoroutes de la mer (et autres modes). Les études existantes sont beaucoup trop globales et ne permettent donc pas aux acteurs de justifier leur décision. Ces études doivent bien entendu intégrer la logistique afin de desserrer un certain nombre de contraintes qui existent aujourd'hui et qui proviennent d'habitudes de juste à temps sur lesquelles il faut s'interroger.

Annexe 5 : Conclusions du séminaire Transport aérien

L'évolution passée est liée à l'apparition de l'avion à réaction qui a permis une multiplication par 100 du trafic entre 1960 et 2000. L'efficacité énergétique a été multipliée par 4 pendant la même période. L'efficacité opérationnelle a également augmenté, avec une plus forte occupation des sièges et un contrôle de la navigation aérienne plus précis. La croissance du trafic est le double de la croissance du PIB mondial sur longue période (élasticité égale à 2) et les incidents de croissance sont toujours rattrapés quelques années après.

Au plan mondial, le transport aérien est responsable de 2,5% des émissions de CO₂, mais de 3,5% de l'ensemble des gaz à effet de serre (traînées d'eau), selon l'IPCC.

Le progrès technique et opérationnel ralentira, mais permettra des gains d'efficacité énergétique dont l'ampleur estimée est différente selon les experts : de 20 à 50% dans les 20 à 50 ans à venir (motorisation, matériaux, structure, diminution de la masse). Compte tenu de la croissance prévisible, la consommation de kérosène devrait être multipliée par 4 ou 5 d'ici à 2050. La part du transport aérien dans les émissions de gaz à effets de serre augmenterait dans les mêmes proportions.

Il n'existe pas de carburant de substitution au kérosène issu du pétrole, si ce n'est le kérosène de synthèse (ce dernier carburant utilisé pendant la deuxième guerre mondiale en Allemagne l'est aujourd'hui en Afrique du Sud). Les biocarburants ont un point de congélation trop élevé pour résister aux basses températures que doit affronter un avion en altitude. Quant à l'hydrogène (cryogénique), son pouvoir calorifique volumique est trop faible pour trouver place à bord d'un avion. On peut cependant penser à l'utilisation de piles à combustible (SOFC – voir annexe 9) pour alimenter certains auxiliaires à bord des avions.

Le poids de l'énergie représente aujourd'hui 26% des coûts d'exploitation, contre 13% précédemment avec un prix du baril de pétrole de 30\$. Pour un prix de 100\$, la part de l'énergie atteindrait 35%. Même dans ce cas, les experts estiment que la croissance du trafic ne serait pas sensiblement modifiée, car c'est la croissance du PIB mondial qui tire le trafic aérien. Cependant le renchérissement des coûts de l'énergie entraînera un renouvellement plus rapide de la flotte, pour profiter de la meilleure efficacité énergétique des nouveaux appareils.

Les compagnies aériennes sont opposées à une taxation du kérosène, qui leur paraît d'ailleurs impossible en raison de l'accord de Chicago qui a une portée mondiale. Elles acceptent et même certaines souhaitent un système de certificats d'émission de gaz à effets de serre avec des quotas, système qui à leurs yeux est vertueux, puisqu'il pousse aussi d'autres secteurs à économiser l'énergie.

Annexe 6 : Vers une logistique durable

1) Dans le cadre de la loi "Nouvelles réglementations économiques" (NRE), les entreprises cotées doivent publier un rapport annuel sur le développement durable comprenant notamment le bilan des énergies utilisées, avec une obligation d'inclusion du transport commandité par l'entreprise dans son bilan énergétique. Cette obligation conduit les entreprises à s'organiser en conséquence et à développer des méthodologies appropriées basées sur des indicateurs précis. La démarche d'analyse constitue également un fort vecteur de changement et de recherche de productivité dans le fonctionnement de l'entreprise.

La pression des associations ainsi que la reprise par les analystes boursiers des notations effectuées par des instituts spécialisés constituent également une forte incitation pour donner du sens à la démarche. Le transport ne constitue certes qu'un chapitre parmi d'autres, dont l'importance est très variable selon le type d'industrie concerné et la taille de son marché.

2) La première condition pour progresser est de disposer d'un instrument de mesure de l'énergie consommée dans la chaîne logistique.

Les méthodologies, présentées par TOTAL, développées dans un cadre de travail partenarial AUTF – ATEE – EPE - ADEME constituent une avancée substantielle dans ce domaine, en dépit des difficultés de collecte des données.

L'expérience de Carrefour avec la création du club Démeter rassemblant tous les participants de la chaîne logistique pour concevoir une démarche et déterminer des outils communs mérite d'être citée en exemple.

3) Dans la plupart des cas, les économies en matière de consommation d'énergie et d'émissions de CO² apparaissent, en général, faibles par rapport aux économies liées à la production et à la logistique fixe. Trois principaux leviers d'actions ont été évoqués :

- la limitation volontaire (plus ou moins régulée) des consommations de transport par les différents acteurs économiques,
- le développement de technologies nouvelles plus économes (motorisation des véhicules Euro 4) ou plus propres (carburants alternatifs au pétrole, biocarburants ou GNV pour les livraisons), dont les potentialités sont les plus importantes
- l'utilisation des modes alternatifs à la route. La réorganisation profonde des circuits logistiques apparaît dans les préoccupations de certains (implantations des stockages, voire de certaines unités de production).

4) La question des champs de responsabilité des différents acteurs économiques dans les consommations d'énergie dans le transport (en particulier, distances parcourues) et les émissions de CO₂ doit être explicitée, en distinguant, par exemple, les catégories d'acteurs suivantes : les industriels, les grands distributeurs, les ménages, les consommateurs, les collectivités territoriales et les acteurs directs du transport.

Une question clé serait donc d'harmoniser et de répartir correctement les efforts d'économie d'énergie entre ces différents acteurs, qui ne peuvent agir chacun que sur une partie des déterminants de la consommation de transport et d'énergie.

5) La question du choix entre une approche basée sur le volontariat et une voie réglementaire basée, par exemple, sur l'extension des quotas d'émissions aux transports, avec valorisation des certificats d'économie d'énergie, mérite d'être soigneusement explorée au vu notamment du point précédent relatif à la responsabilité des divers acteurs économiques. Cette éventuelle extension ne peut se concevoir d'ailleurs qu'au niveau européen..

6) En conclusion, la mise en œuvre des orientations déjà retenues s'avère complexe ; elle mérite d'être soigneusement accompagnée par les pouvoirs publics pour en assurer le meilleur développement, non seulement en France, mais aussi dans l'Union européenne. Les citoyens, consommateurs, auront un rôle fondamental à jouer et il est indispensable qu'ils soient fortement sensibilisés et informés des objectifs poursuivis et des résultats obtenus.

Annexe 7 : Les carburants issus de la biomasse

Seul un carburant liquide de type gazole permet, en l'état de nos connaissances de physique fondamentale, d'assurer l'autonomie correcte des véhicules routiers, des navires et des avions.

Même avec un très fort progrès technologique et un usage maximal de l'électricité, ce besoin restera important en 2050 : pour assurer le bon fonctionnement des transports terrestres, aériens et maritimes, la France devra disposer chaque année d'au moins 40 à 50 millions de tonnes de carburant liquides, soit sensiblement le même ordre de grandeur qu'en 2003. Au niveau mondial, l'exploitation de la biomasse pourrait représenter jusqu'à 30% des besoins énergétiques en 2050 (source AIE).

Les voies les plus habituellement évoquées pour le remplacement du pétrole sont les biocarburants agricoles (éthanol de blé ou de betterave, esters d'huile végétale de colza ou de tournesol).

Toutefois, la production de biocarburants agricoles ne peut être qu'un appoint. Compte tenu des rendements, il n'est pas envisageable d'en produire de très grandes quantités sans remettre en cause l'alimentation humaine et la ressource restera de ce fait limitée.

Actuellement en France, la production énergétique primaire de la biomasse représente 12Mtep par an sur une production primaire totale de 275Mtep (nucléaire + hydraulique + pétrole + charbon + toutes autres énergies renouvelables).

Une nouvelle voie est maintenant très souvent évoquée au niveau mondial et fait déjà l'objet de très gros programmes de recherche : l'utilisation de la biomasse ligneuse pour fabriquer des biocarburants de synthèse. Le rendement potentiel est beaucoup plus élevé, puisqu'on exploite toute la partie ligneuse de la plante et pas seulement les sucres ou les huiles.

Les biocarburants conventionnels viennent de cultures nobles (blé, betterave, colza, tournesol) qui exigent des sols agricoles de grande qualité et des apports d'engrais. La production de biomasse ligneuse n'utilise pas des terres labourables, mais des terres plus pauvres et non exploitées pour l'alimentation (landes, forêts, taillis). Elle n'entre donc pas en concurrence avec la production de nourriture. Cette production peut aussi s'appuyer sur l'utilisation de nombreux déchets (agricoles, ménagers, industriels).

La forêt occupe 15 millions d'hectares en France et produirait environ 70 millions de tonnes de biomasse sèche (soit 30 millions de t de bois et 40 millions de t de déchets de bois). Seule une partie de cette production est réellement utilisée (environ 20 millions de tonnes de bois et 15 millions de tonnes de déchets de bois). Certaines forêts âgées et non entretenues ont une production pratiquement nulle.

La forêt française a crû en moyenne de 35 000 ha/an depuis 1830. Avec une augmentation de 73 000 ha/an sur les douze dernières années, ce mouvement est même en voie d'accélération. D'ici

2050, il y aura donc 2 à 4 millions d'hectares supplémentaires en France. A cet horizon, des surfaces importantes, non consacrées à la production alimentaire pourraient aussi être utilisées pour produire de la biomasse.

En France, en production autothermique, c'est-à-dire en utilisant la biomasse elle-même pour assurer le séchage et la thermolyse du bois ainsi que la synthèse du carburant par le procédé Fischer-Tropsch, on pourrait obtenir entre 22 et 35 Mtep de carburants de synthèse, à un prix correspondant à 60/90€ (75/110\$) par baril de pétrole.

En production allothermique, c'est-à-dire en utilisant une énergie extérieure (par exemple de l'électricité d'origine nucléaire) cette production pourrait tripler (60 à 100Mtep) mais il faut bien voir que la production allothermique est coûteuse en électricité : un tiers de tranche nucléaire de 1500 MWe étant nécessaire pour alimenter une usine produisant 1Mtep par an, cette production nécessiterait alors 20 à 30 tranches de centrales nucléaires supplémentaires soit 40 à 60% du parc actuel.

En résumé, un hectare produit entre 2 et 7 tep d'énergie primaire, qui peuvent être transformés entre 0,9 et 3 tep de carburant par procédé autothermique et entre 3 et 10 tep par procédé allothermique.

Mais il y a encore beaucoup d'incertitudes au niveau des possibilités réelles et des coûts, notamment pour la production durable et la collecte de cette biomasse. Il existe aussi des recherches sur la voie enzymatique sur cellulose et peut être lignines, mais la aussi on n'est pas assuré de la faisabilité à grande échelle.

C'est donc avant tout un domaine de recherches qu'il faut pousser en toute priorité, d'autant plus que le développement complet de la filière nécessite au moins vingt ans.

Annexe 8 : La pile à combustible

Dans l'éventail des solutions technologiques offertes pour convertir une énergie chimique en énergie électrique et/ou thermique, 6 types de piles à combustible sont reconnus à ce jour et se répartissent selon le type d'électrolyte, la température de fonctionnement, le rendement, la gamme de puissance et le type d'applications :

- les piles Direct Methanol, DMFC, (FC pour Fuel Cell) de puissance atteignant 5 kW, utilisées dans les appareils portatifs,
- les piles Alcalines, AFC, de puissance atteignant 100 kW, utilisées dans le spatial,
- les piles Proton Exchange Membrane PEMFC, de puissance atteignant 250kW et utilisables à bord des véhicules, car la solution la plus simple et la plus souple d'application en raison de sa faible température de fonctionnement (entre 60 et 90°),
- les piles Solide Oxyde SOFC, Phosphoric Acid PAFC, et Molten Carbonate MCFC, de puissance atteignant le MW, utilisées aujourd'hui quasi exclusivement en stationnaire. Leur température de fonctionnement élevée (de l'ordre de 800°) limite leurs utilisations en embarqué, en raison de leur manque de souplesse. La pile SOFC pourrait être utilisée (essentiellement en aérien), mais seulement dans le but d'alimenter les auxiliaires (climatisation, chauffage), peu exigeants en flexibilité.

La pile PEM présente plusieurs avantages : sa faible température de fonctionnement permet un démarrage rapide, une plus grande souplesse de fonctionnement et une meilleure gestion thermique (moins de chaleur à évacuer). Par ailleurs elle n'est pas sensible au CO₂. C'est la raison pour laquelle elle a actuellement fait l'objet de nombreux prototypes, tant en véhicules légers (principalement sur la base de la classe A de Mercedes : Nocar I à V) qu'en autobus où plusieurs constructeurs, principalement américains, mais également Mercedes (Nebus) et Irisbus, expérimentent des prototypes, certains ayant fait l'objet d'une petite série.

Cependant elle présente encore d'importants problèmes qui doivent être réglés : le coût de fabrication est extrêmement élevé du fait que le catalyseur est constitué de platine, difficile à déposer en couches ultra minces (nanométriques) sur les électrodes.

Dans l'état actuel des développements, plusieurs sauts technologiques sont encore nécessaires avant d'envisager son application aux voitures particulières : il est d'abord nécessaire de remplacer le catalyseur platine par un autre matériau : les réserves mondiales en platine ne permettraient pas d'équiper plus de 10% du parc.

Par ailleurs, elle est très sensible au monoxyde de carbone CO et au soufre. Elle doit donc être alimentée en hydrogène le plus pur possible. Dans le cas de flottes captives (de véhicules de sociétés et utilitaires ou de transports urbains : autobus et tramways), on peut songer à l'utilisation d'hydrogène comprimé, éventuellement stocké dans des nanostructures, ou d'hydrogène cryogénique. Mais il ne faut pas non plus oublier les frais d'exploitation : le coût de la calorie hydrogène n'a rien à voir avec celui de la calorie gazole, sans oublier les stations de compression et les temps de recharge.

Dans le cas de la voiture particulière, l'utilisation d'un réformeur, appareil qui permet la production d'hydrogène à partir de produits pétroliers courants et non dangereux, semble incontournable : la distribution à grande échelle d'hydrogène comprimé ou cryogénique nécessitant encore de nombreuses réflexions. Mais le réformeur extrait l'hydrogène du carburant liquide en produisant du CO₂, et conduit à un rendement global de l'installation guère supérieur à celui du moteur Diesel qui a encore de nombreuses ressources d'amélioration

Pour toutes ces raisons, il ne faut pas s'attendre à une diffusion notoire avant une quinzaine d'années dans les flottes captives, auxquelles il faudra en ajouter au minimum une dizaine complémentaire pour la voiture particulière. Et il ne faut pas oublier que le moteur à explosion pourrait également être alimenté en hydrogène.....