

Comment faire face à la disparition annoncée du pétrole ?

Nous ne pouvons ignorer ou sous-estimer les problèmes énergétiques liés à la raréfaction du pétrole et aux conséquences climatiques de l'augmentation de la teneur en CO² de l'atmosphère. Il faut donc rechercher les moyens de remplacer, au moins partiellement, le pétrole dans ses diverses utilisations

D'après les statistiques de l'INSEE ¹ la consommation de produits pétroliers se répartissait en 2004 de la manière suivante :

En 10⁶ TEP par an

Fioul domestique	16.0
Gazole	30.8
Carburant auto	11.7
GPL	2.9
Base de la pétrochimie	10.1
Fiouls lourds	3.0
Carburéacteurs	6.1
Autres produits	6.5

Les trois premiers postes représentent l'importation de $58.5 \cdot 10^6$ TEP par an, soit $420 \cdot 10^6$ barils. Si on compte le prix du baril autour de 70 €, soit 500 €/TEP, le poids de ces importations dans notre balance commerciale est de l'ordre de $29 \cdot 10^9$ €.

Nous allons maintenant faire des propositions pour ces trois utilisations.

1- Peut-on se passer du fuel domestique pour le chauffage de l'habitat et du tertiaire ?

Le fioul domestique est utilisé essentiellement pour le chauffage des locaux à des températures voisinant 20 °C. En outre, une partie de ce chauffage est assurée par des radiateurs électriques à résistances, ce qui est une manière peu satisfaisante d'utiliser l'énergie électrique. On peut évaluer l'énergie électrique utilisée actuellement de cette manière à $74 \cdot 10^3$ GWHe (voir annexe)

Pour cette application l'utilisation de pompes à chaleur permet de diviser la consommation par environ 3.15 ² pour le même résultat. La consommation électrique du chauffage des locaux résidentiels serait alors $23.4 \cdot 10^3$ GWHe, soit une économie d'environ $50 \cdot 10^3$ GWHe. Si on utilise cette énergie pour alimenter d'autres pompes à chaleur qui remplaceraient des chaudières à fioul, on pourrait ainsi économiser une quantité de ce carburant équivalente à $50 \cdot 10^3$ GWHe* 3.15 = $158 \cdot 10^3$ GWHe, ce qui représente $13.6 \cdot 10^6$ TEP de fioul, à comparer avec les $16 \cdot 10^6$ TEP utilisées actuellement

Le solde du besoin en chauffage qui ne représente que 15% de la consommation actuelle de fioul, pourrait être satisfait par la filière bois ou par des économies d'énergie obtenue par une meilleure isolation des locaux existants.

En conclusion, pour ce poste, on peut dire que sans augmenter ni l'importance du parc de centrales électriques ni leur production *on peut économiser annuellement $13.6 \cdot 10^6$ TEP de fioul soit $6.8 \cdot 10^9$ €* sur les importations de carburant. Ceci permettrait de financer les investissements nécessaires à la

¹ Tableaux de l'économie française 2005-2006 TEF 2005/2006

² Ce facteur peut même atteindre 4 si on couple la pompe à chaleur avec des capteurs de géothermie de surface, et si les locaux à chauffer sont équipés de radiateurs de grande surface.

mise en place ce système et pourrait contribuer à relancer l'industrie nationale, ainsi qu'à la réduction de notre production de CO².

2- Que peut-on faire pour réduire la consommation de produits pétroliers dans les transports terrestres ?

Parmi les problèmes épineux que pose cette situation, il y a la nécessité de trouver un remplacement aux produits pétroliers dans les transports terrestres. Il faut sans aucun doute rechercher un bouquet varié de solutions parmi lesquelles on peut citer le développement des transports en commun ferroviaires à traction électrique pour les voyageurs, le ferroutage pour les marchandises. Il a été montré que les biocarburants ne jouent qu'un rôle marginal. Cependant il est clair que le réseau ferré ne pourra jamais remplacer totalement la route, notamment à cause des problèmes de distance par rapport à une gare. D'autre part la contribution des biocarburants restera très insuffisante si on veut éviter la concurrence avec les productions vivrières et une agriculture intensive ravageuse de l'environnement.

2.1- *Pour les transports en zone urbaine*, on peut envisager des véhicules à propulsion électrique par batterie d'accumulateurs rechargés à partir du réseau de distribution électrique. Cependant, même si on peut attendre certains progrès dans la technologie des batteries, le rayon d'action de ces véhicules restera limité et on doit prévoir un moteur thermique de puissance modeste pour suppléer à une décharge des batteries ou des déplacements dépassant le rayon d'action d'un véhicule purement électrique.

2.2- pour les transports interurbains

On peut penser à électrifier les grandes voies de communication interurbaines, en s'inspirant de ce qui a été fait pour le réseau ferré. C'est en particulier les autoroutes qui pourraient être l'objet des équipements décrits ci-après.

3- Description de la solution proposée pour l'électrification des autoroutes

3.1- Equipement de l'infrastructure routière

Il faut équiper les autoroutes avec un système de distribution électrique utilisable par les véhicules qui parcourent cette autoroute. L'idée qui vient spontanément à l'esprit est de transposer ce qui se fait dans le domaine ferroviaire, c'est à dire une caténaire par voie, avec en dessous de chaque caténaire une sorte de rail, incorporé dans la chaussée qui servirait au retour du courant et aussi de repère de guidage pour les véhicules utilisant la caténaire. Ce rail ne formerait pas saillie par rapport à la chaussée pour ne pas gêner les véhicules qui devraient le traverser (notamment lors des manœuvres d'entrée ou de sortie de l'autoroute).

D'autres solutions pourraient sans doute se concevoir, par exemple en s'inspirant du système utilisé par le tramway de Bordeaux qui n'a pas de caténaire mais est alimenté par un système situé au sol et fonctionnant par induction magnétique. Sous sa forme actuelle ce système ne semble pas adapté au problème envisagé ici. Cependant il y a là un thème de développement à considérer.

Les économies produites par ce système seraient particulièrement intéressantes pour le transport des marchandises qui doivent être livrées rapidement et pour lesquelles le ferroutage implique des délais pénalisants. On pourrait envisager que la file de droite de l'autoroute soit réservée aux camions qui rouleraient à une vitesse de 90km/h (par exemple), tandis que la file de gauche (ou médiane pour une autoroute à 3 voies) serait réservée aux véhicules légers pouvant rouler plus vite.

3.2- Règles de conduite des véhicules

L'utilisation des caténaires, ou d'autres systèmes d'alimentation en courant électrique, impose au véhicules *de rouler sur une seule file, sans possibilité de se doubler*. Par conséquent, *tous doivent rouler à la même vitesse (vitesse nominale) et se suivre en respectant un espacement égal ou supérieur à l'espacement de sécurité*. On ne doit pas non plus rouler sans raison impérieuse à une vitesse nettement inférieure à la vitesse nominale car cela ralentit tout le trafic. Au cas où une défaillance mécanique ne permet plus à un véhicule de maintenir la vitesse nominale, il doit sortir de la file en rejoignant la bande d'arrêt d'urgence et appeler les secours.

Au voisinage du raccordement avec une nouvelle entrée sur l'autoroute, les véhicules déjà présents dans la file doivent laisser la priorité à un entrant pour qu'il puisse s'insérer dans la file. L'entrant, qui fonctionne en utilisant ses batteries ou son moteur thermique, doit se présenter avec une vitesse voisine de la vitesse nominale pour créer le moins possible de perturbation dans la file. Il s'insère dans la file et met en fonctionnement les dispositifs de régulation décrits ci-dessous. Il peut alors déployer son pantographe pour se connecter à la caténaire, et la propulsion de véhicule est alors assurée automatiquement par le réseau. Dès lors le conducteur est libéré de sa tâche de conduite, il doit simplement veiller pour le cas où se produirait une anomalie qui nécessiterait une intervention de sa part.

Pour sortir de l'autoroute, les mêmes manoeuvres doivent être réalisées dans l'ordre inverse : passage à l'alimentation autonome du véhicule, repli du pantographe, déconnexion des dispositifs de conduite automatique et reprise de la conduite manuelle et sortie de la file pour rejoindre la voie de sortie.

3.3- Equipements des véhicules

L'application sans faille de ces prescriptions ne peut pas reposer sur des conducteurs humains, il faut qu'ils soient assistés, dans chaque véhicule, par les dispositifs suivants :

- un pantographe escamotable pour pouvoir se connecter à la caténaire ou tout autre dispositif adapté au mode de distribution choisi
- un système de suivi de trajectoire capable de détecter le rail de retour du courant, et agissant sur la direction du véhicule de manière à le maintenir au-dessus du rail (c'est à dire aussi : juste en dessous de la caténaire)
- un régulateur de vitesse qui impose au véhicule de rouler à la vitesse nominale de l'autoroute
- un détecteur de la distance séparant le véhicule de celui qui le précède. Ce détecteur informe le système de régulation de la vitesse qui, en cas de ralentissement général imprévu, doit faire en sorte que la distance minimum de sécurité (qui dépend de la vitesse) soit toujours respectée.
- Un détecteur de position géographique (genre GPS) qui permet au conducteur de savoir à quelle distance il se trouve de la sortie qu'il a choisie.

Avec ces différents dispositifs, le conducteur est débarrassé de la concentration permanente qui s'impose actuellement à tout conducteur. Il doit simplement rester sensible aux signaux donnés par le système de contrôle, par exemple celui de se préparer à reprendre le contrôle manuel pour effectuer sa sortie de l'autoroute. Le système pourrait aussi donner des alarmes de défaillance de tel ou tel sous système, auquel cas le conducteur devrait effectuer les manoeuvres prévues par des consignes adaptées à chaque cas de défaillance.

4- Avantages et contraintes liés au système

- Du point de vue du conducteur

Il ne faut pas se cacher que cette manière d'utiliser l'automobile est très différente de celle qu'ont beaucoup de nos concitoyens actuellement. La « voiture » n'est plus un symbole d'indépendance personnelle voir signe de puissance ou de richesse individuelle mais un moyen de transport qui s'intègre dans un système collectif. On va prendre l'autoroute comme on va prendre le train avec l'avantage que ce train virtuel est toujours prêt à partir immédiatement à n'importe quelle heure, et on peut l'atteindre facilement avec famille et bagages. Mais il reste que celui qui veut musarder en prenant les petites routes peut toujours le faire en utilisant au besoin son moteur thermique.

- Le débit possible d'une voie serait à préciser par des simulations précises, cependant on peut estimer qu'une colonne de véhicules se déplaçant à 120km/h, avec un intervalle régulier de sécurité correspondant à un décalage en temps de 1.5 s, donnerait un débit de 2400 véhicules à l'heure.

- Du point de vue de la sécurité routière

Il semble que le système réduise de façon drastique le risque de carambolage. Le risque de perte de contrôle du véhicule pour cause d'endormissement du conducteur est également éliminé, ainsi que les risques d'accrochage liés aux manœuvres de doublement.

- Du point de vue de l'environnement : on a une réduction très significative de la production de CO²

5- *Conséquences du point de vue économique*

Du point de vue des équivalences énergétiques on peut dire que si on utilise des produits pétroliers dans un moteur thermique ayant un rendement de 25% (souvent c'est moins que cela), une TEP équivaut alors à 2.95 HWHe d'énergie mécanique. Donc pour remplacer le gazole et l'essence soit $(30.8+11.7) 10^6$ Tep il faudrait $125 10^6$ MWHe. Une tranche EPR fournit normalement en fonctionnement de base, $12.7 10^6$ MWHe, C'est donc environ 10 tranches qu'il faudrait rajouter aux 63 existantes. Ça peut paraître beaucoup, mais quelle autre solution avons-nous ?

Le coût des $(30.8+11.7) 10^6$ Tep consommées par les transports terrestres est de 21.2 milliards € par an (à 500 €/TEP) et le coût d'investissement d'une tranche EPR est de 3 milliards € environ. Donc la réduction de la facture pétrolière **pendant un an** permettrait (par exemple) de financer l'investissement de 7 tranches EPR.

Évidemment un tel programme serait nécessairement étalé sur une longue période car la modification des infrastructures routières et du parc de véhicules ne pourra se faire que progressivement et que, selon l'expérience de construction du parc nucléaire actuel (63 tranches en 24 ans) la construction de 10 tranches prendrait au moins 4 ans.

6 - *Développements à prévoir*

6.1 A l'initiative des constructeurs d'automobiles :

- Système de connexion des véhicules au réseau électrique

- Système de suivi du rail de guidage et pilotage du véhicule pour la maintenir sur la voie

- Système de contrôle automatique de la vitesse capable de maintenir la distance correcte entre véhicules qui roulent en file

- Motorisation mixte électrique/ thermique avec possibilité de recharger les batteries pendant le trajet sur autoroute.

Essais de simulation de la circulation en file, avec prise en compte de perturbations diverses, notamment pour l'introduction des arrivants dans la file ou une panne mécanique survenant sur un véhicule.

A partir de ces simulations définir la distance de sécurité (en fonction de la vitesse)

Définir les caractéristiques des bretelles d'accès à l'autoroute selon les modalités prévues ci-dessus

6.2 EDF

Adaptation des capacités de production et de transport d'énergie pour alimenter cette autoroute

6.3 Par un groupe interprofessionnel (à définir à l'initiative des pouvoirs publics ?)

Adaptation des autoroutes à ce système.

Comme il y aura forcément une phase transitoire où une partie seulement des véhicules sera équipée pour utiliser la propulsion électrique, il faudra définir des procédures de cohabitation entre véhicules traditionnels et véhicules électriques sur les mêmes autoroutes (par exemple, sur une autoroute à deux voies, l'une est électrifiée et pas l'autre, cette dernière recevant les véhicules traditionnels, lesquels auront cependant la contrainte de rouler également en file)

Annexe

Trouver l'énergie dépensée annuellement en chauffage par résistances, en déduire l'économie réalisable en remplaçant cela par des pompes à chaleur.

Selon les spécialistes d'EDF, une variation de 1°C de température donne une variation de puissance électrique appelée de 1.5 Gw/°C. Pour la région parisienne, pendant la saison de chauffe (280 jours), la température moyenne est $T_M=9.7^\circ\text{C}$. Pour arriver à une température de 17°C (20°C dans une habitation³),

il faut donc, en degrés.heure = $(17-T_M)*280*24 = 49 \cdot 10^3 \text{ }^\circ\text{C.H}$

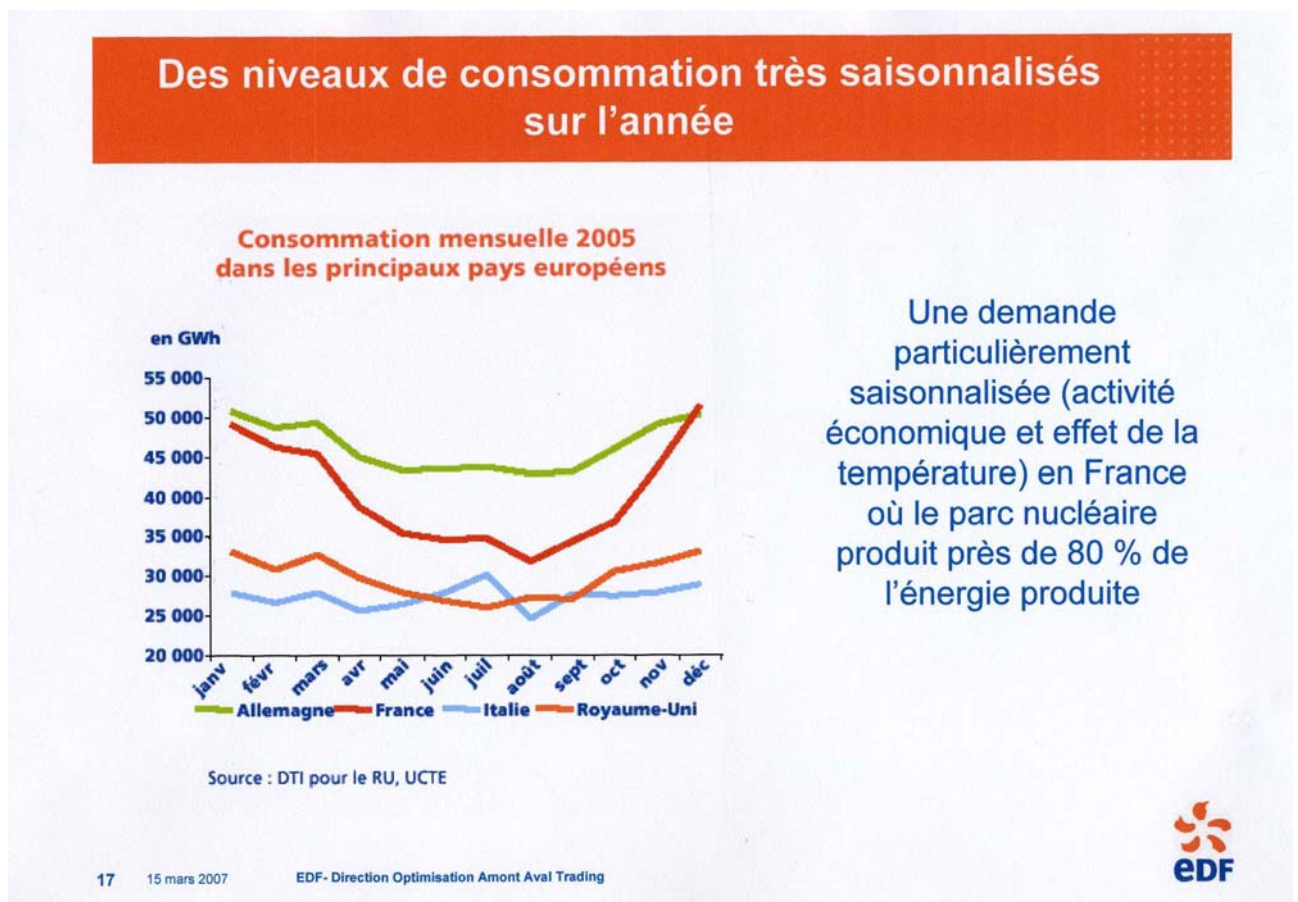
Soit une énergie de $49 \cdot 10^3 \text{ }^\circ\text{C.H} * 1.5 \text{ Gw}/^\circ\text{C} = 74 \cdot 10^3 \text{ GWh}$

Supposons que cette énergie est utilisée par des convecteurs par effet Joule⁴, si on les remplace par des pompes à chaleur ayant un coefficient de performance de 3.15 on pourrait économiser $74 \cdot 10^3 \text{ GWh} * (1-1/3.15) = 50 \cdot 10^3 \text{ GWh}$.

. Si on utilise d'autres pompes à chaleur pour utiliser cette économie, on produirait

$50 \cdot 10^3 \text{ GWh} * 3.15 = 157 \cdot 10^3 \text{ GWh}$, mais 1GWh équivaut à 86 TEP, on pourrait ainsi remplacer $157 \cdot 10^3 \text{ GWh} * 86 \text{ TEP/GWh} = 13.6 \cdot 10^6 \text{ TEP}$

La consommation de fioul domestique (en 2004) était de $16 \cdot 10^6 \text{ TEP}$, il suffirait d'un effort d'économie de chauffage de 15% ou d'utiliser la filière bois pour compenser cette différence.



³ On compte habituellement une marge de 3°C « gratuits » dus aux apports d'énergie par le soleil, l'éclairage, la cuisine.

⁴ Il y a déjà un certain parc de pompes à chaleur, donc ce chiffre serait à moduler, mais je n'ai pas de données sur l'importance de ce parc au niveau national. Néanmoins il semble que l'essentiel du chauffage électrique soit basé sur des radiateurs à effet Joule.