

## Cette « chère » transition énergétique



Le gouvernement a lancé fin novembre le grand débat sur la transition énergétique, débat qui a d'ailleurs commencé autour de la composition du comité de pilotage et marqué par l'ostracisme d'associations de défense de l'environnement refusant d'y voir siéger des acteurs du nucléaire et de l'industrie (sic). Il y a deux points qui font cependant consensus :

- Le changement climatique : malgré la déception du sommet de Doha, tout le monde s'accorde sur une augmentation de la température pouvant atteindre 4° C en 2100 et une forte élévation du niveau des océans. Sont en cause une influence cosmologique, mais surtout l'élévation des concentrations des gaz à effet de serre (GES).

- L'épuisement des ressources carbonées non renouvelables : certains nous disent que nous sommes déjà dans le « pic oil » pour le pétrole conventionnel, et que les perspectives offertes par le pétrole et les gaz non conventionnels ne nous apportent qu'un peu de répit, mais la certitude d'une hausse des prix à venir.

Les difficultés économiques et sociales tendent à faire passer au second plan l'exigence écologique ; la Chine a dépassé les États-Unis en émetteur de CO<sub>2</sub> (6 milliards de tonnes/an) et les grandes nations ne veulent pas de mesures contraignantes mettant en jeu leur compétitivité industrielle. L'Europe veut cependant maintenir ses objectifs 2020, sans parvenir à imposer mondialement le marché d'échanges des quotas de CO<sub>2</sub>.

Le total des émissions en Europe (4 milliards de tonnes/an) est diversement partagé : si, en moyenne, c'est la production d'électricité et les transports qui sont les plus émetteurs de CO<sub>2</sub>, la France présente un profil particulier tenant à sa production d'électricité majoritairement nucléaire et hydraulique (tableau I). Si la France veut respecter les engagements européens et ceux du Grenelle de l'environnement – réduction de 20 % des GES, 20 % d'énergies renouvelables, 20 % de gain en efficacité énergétique –, et si on y ajoute la promesse du président Hollande de réduire de 77 à 50 % la part d'électricité nucléaire, les efforts à faire ne seront pas minces.

#### Quels sont les leviers d'action possibles ?

##### • L'efficacité énergétique dans l'habitat et le tertiaire

Soit 22,5 % des émissions, avec une consommation de l'ordre de 225 kWh/m<sup>2</sup> par an en moyenne. L'objectif est de construire environ 200 000 logements par an aux normes BBC (bâtiment basse consommation : consommation inférieure à 50 kWh/m<sup>2</sup> par an) ou à énergie positive, et de rénover thermiquement d'ici 2050 les 38 millions de logements anciens, soit 400 000 par an. On estime le coût total de la rénovation thermique plus le surcoût aux constructions à environ 16 milliards d'euros (Md€) par an, avec une économie de 12 tWh (1,5 tranches nucléaire). En contrepartie, des emplois sont

évidemment créés ou conservés dans le bâtiment et l'industrie : fibres isolantes, vitrages à isolation renforcée, polymères isolants, bois traité...

##### • Les transports

L'automobile et les camions sont responsables de 33 % des émissions en France, essentiellement à partir de produits pétroliers importés qui représentent plus de 60 Md€/an, soit plus de 85 % du déficit commercial. C'est donc aussi un levier essentiel, dont le « down sizing » conduisant à l'hypothétique véhicule consommant 2 L/100 km peut être un objectif à long terme. La chimie et la métallurgie sont évidemment concernées sur l'allègement des structures (un gain de 100 kg fait économiser 0,6 L/100 km) : l'aluminium, les plastiques, les polymères renforcés carbone sont déjà des solutions commerciales, ainsi que les pneumatiques « basse énergie ».

Le véhicule électrique est l'autre grand pari des constructeurs automobiles, grâce aux électrochimistes (dont de très bonnes équipes françaises). Le stockage de l'énergie électrique est passé de 30 Wh/kg à 200 Wh/kg avec les batteries Li-polymère – encore loin du scandaleux 10 kWh/kg du gazoil –, mais permet à la France avec un mix électrique favorable, de n'émettre que 11 g de CO<sub>2</sub> par kilomètre au lieu de 160 g avec le moteur thermique. Des voix se sont élevées contre l'objectif de deux millions de véhicules électriques d'ici 2020 qui auraient exigé quelques dizaines de tranches nucléaires pour leur recharge. Le vrai calcul est tout autre : pour deux millions de véhicules parcourant comme la moyenne nationale 20 à 30 km par jour et se rechargeant tous les 100 ou 150 km, ce sont 2,5 tWh/an qui sont nécessaires, soit le quart de la production annuelle d'un réacteur. C'est aussi une économie de 2,6 Mt de CO<sub>2</sub> et de 1,2 Md€ sur la balance commerciale.

Faut-il régler le sort des biocarburants de première génération ? Comme nous l'avons déjà dit [1], comme beaucoup d'experts, c'est d'abord l'efficacité énergétique qu'il faut examiner. À part l'éthanol de canne à sucre et les esters d'huile végétale qui permettent d'économiser raisonnablement du GES, les autres sources consomment presque plus d'énergie pour les fabriquer qu'elles sont capables d'en fournir. Un amendement de la Commission européenne prend conscience de ce paradoxe, amenant un changement

de politique important. C'est la prise en compte de l'effet CASI – effet du changement d'affectation du sol indirect –, qui constate la hausse résultante des prix mondiaux des matières premières agricoles et les émissions de GES importantes suite à la mise en culture de nouvelles parcelles sur des zones de forêts ou de prairies. L'objectif européen d'intégration de 10 % dans les carburants est revu à la baisse à 5 % (moyenne : 4,5 % en 2012). Les producteurs français qui avaient misé sur 7 % protestent évidemment, surtout les betteraviers et la filière bioéthanol. Je pense au contraire que c'est de nature à renforcer la filière oléochimie, capable de synthèses de produits à haute valeur ajoutée de la chimie verte au lieu de brûler bêtement la matière première dans un moteur.

#### • Les énergies renouvelables

Si l'énergie la moins chère est celle qu'on ne dépense pas, le soleil et le vent sont gratuits, et capter l'énergie de Phébus et d'Éole semble génial. On se rappelle que l'objectif 2020 est de 20 % pour l'électricité. En France, en 2011, on est à 11,5 % (9 % hydraulique, 2,2 % éolien, 0,3 % photovoltaïque). L'État a fortement encouragé ces dernières en imposant le rachat à 8,2 cc€/kWh pour l'éolien et entre 12 et 40 cc€/kWh pour le photovoltaïque à EDF. La subvention à ces énergies est couverte par la contribution aux charges du service public de l'électricité (CCSPE), payée par les consommateurs (voir vos factures EDF). Grâce à la chimie, des pales en composites polymère-carbone de plus de 30 m et des moteurs performants comportant quelques dizaines de kilos d'aimants Nd-Fe-B équipent les éoliennes géantes. De même, la chimie du silicium et des couches minces de GCIS offrent des rendements intéressants pour les cellules photovoltaïques, en attendant les fluides et eutectiques d'échanges haute température pour le solaire thermique. Reste le problème de ces énergies intermittentes qui nécessitent une gestion renforcée des

réseaux de distribution dits intelligents (« Smartgrid ») pour faire face aux variations d'alimentation (soleil-nuage-jour-nuit et vent-temps calme-tempête) et la mise en œuvre, comme on le voit en Allemagne et en Espagne, de centrales thermiques au gaz ou au charbon pour compenser les creux de production.

#### Quelle réalité économique et quelle stratégie politique ?

La stratégie de la transition énergétique est complexe. L'exemple allemand qui se déroule sous nos yeux est instructif. L'abandon complet de la filière nucléaire d'ici 2022 et l'engagement de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> se révèlent contradictoires. L'arrêt de huit tranches produisant 70 tWh/an est compensé par la construction de nouvelles centrales thermiques : quarante sont programmées dont les plus polluantes car fonctionnant au charbon. L'Allemagne extrait encore 70 Mt de charbon et 180 Mt de lignite dans des mines à ciel ouvert qui s'étendent fortement. Si l'indépendance énergétique et la balance commerciale sont ainsi privilégiées, c'est au détriment des émissions de GES et de métaux lourds. Il en est de même pour les grands pays : chacun détermine sa transition énergétique sur ses propres critères de l'indépendance nationale et de la compétitivité, et tant pis pour la planète.

La France a pour sa part la chance de disposer d'un prix de l'électricité assez bas : 8 à 12 cc€ TTC par kWh pour le particulier, à comparer aux 23 cc€ par kWh pour le particulier allemand. Les prix de l'électricité à la production sont variés (tableau II). La diminution de la part du nucléaire et l'introduction d'autres moyens alternatifs vont engendrer une hausse du prix pour l'utilisateur qui rejoindra sans doute la moyenne européenne à 20 cc€/kWh. Concrètement, la question du volume d'investissements nécessaires pour compenser les 154 tWh du nucléaire manquant en 2025 peut être posée. Pour l'éolien, sachant qu'une éolienne de 5 MW fournit 10 000 MWh/an, soit

0,01 tWh, il faut 25 400 éoliennes (3 700 existantes en 2012). Si elles sont terrestres, le coût est de 190 Md€ ; si elles sont offshore : 380 Md€. Pour le photovoltaïque, en adoptant le prix qu'a investi EDF EN à Toul (450 M€ pour 135 MWc sur 120 hectares), et sachant que 1 MWc fournit environ 1 000 MWh/an, il faut installer 254 000 MWc sur 226 000 ha au coût de 850 Md€. En admettant que l'on joue sur les deux tableaux, en partageant les sources éolien et photovoltaïque, c'est de l'ordre de 500 Md€ à investir, auxquels s'ajouteront le prix du démantèlement des réacteurs (20 Md€ ?) et la construction d'une vingtaine de centrales thermiques au gaz et au charbon. On notera cependant que les 154 tWh annuels pourraient être fournis par onze EPR à sécurité renforcée au coût de 88 Md€ ! Comme on le voit, la volonté de respecter les accords européens et d'aller plus loin que les accords de Grenelle en passant à 50 % d'électricité nucléaire se révèle un vrai casse-tête, avec un point positif – celui de développer une industrie alternative –, un point négatif – celui pour le consommateur de payer plus cher – et un risque : celui de diminuer la compétitivité industrielle qu'apportait un prix de l'énergie attractif. J'espère que le premier débat de la commission de la transition énergétique sera précédé d'un cours de thermodynamique, discipline neutre et non passionnelle. Je ne peux que vous inviter à suivre mes conseils : isolez vos combles et murs, remplacez vos fenêtres, achetez une voiture hybride pour vous, un véhicule électrique pour madame, et s'il vous reste quelques sous, faites l'emplette de deux pulls polaires ; vous êtes fin prêts pour la transition énergétique.

Jean-Claude Bernier,  
le 12 décembre 2012



[1] Bernier J.-C., Des biocarburants pas si verts que ça, *L'Act. Chim.*, 2009, 332, p. 3.

Émission de CO <sub>2</sub>	Europe : 4 Mdt	France : 400 Mt
Transports	23,3 %	33,2 %
Électricité	32,1 %	11,4 %
Résidentiel-tertiaire	15,2 %	22,5 %
Industrie	14,7 %	18,7 %

Tableau I - Émissions de CO<sub>2</sub> par secteurs.

Type de production	Prix au kWh en centimes d'euros
Nucléaire	4 à 5
Hydraulique	2 à 8
Charbon	6 à 7
Gaz	7 à 9
Éolien terrestre	8 à 9
Éolien offshore	10 à 17
Biomasse	10 à 12
Photovoltaïque	20 à 50

Tableau II - Prix de production de l'électricité.