

## Chap.3. Gérer la transition énergétique

### 3.1. Les alternatives

Face aux risques importants qui ont été mentionnés concernant les approvisionnements énergétiques et le changement climatique, il paraît souhaitable de se tourner vers des solutions qui ne présentent pas les inconvénients des énergies fossiles, en termes d'épuisement des ressources ou d'émissions de gaz à effet de serre.

Le nucléaire et les renouvelables représentent alors les alternatives possibles, bien que des problèmes d'approvisionnement en uranium puissent se poser pour les filières nucléaires actuelles de production d'électricité par fission. Toutefois, ces énergies alternatives ne constituent aujourd'hui qu'une fraction encore faible du total de la fourniture d'énergie primaire, de l'ordre de 20 %. Par ailleurs, il est difficile de concevoir que cette part puisse augmenter de manière très substantielle et rapide. Les solutions alternatives (nucléaire, renouvelables) posent des problèmes sur le plan de la rentabilité économique (renouvelables) ou de la sécurité ainsi que de acceptabilité sociale (nucléaire).

En attendant de nouveaux progrès techniques qui permettront une diffusion plus large de ces solutions alternatives, il est donc nécessaire de mettre en œuvre l'ensemble des moyens qui permettront de franchir le cap de la transition sans crise majeure.

### 3.2. Une transition de grande ampleur

La *transition énergétique* est le passage qui va nous amener d'un modèle basé aujourd'hui à 80 % sur les énergies fossiles vers un nouveau modèle énergétique, dans lequel les énergies non carbonées seront dominantes. Il faudra une période de gestation prolongée pour passer du modèle énergétique que nous connaissons, vers un modèle peu utilisateur d'énergies fossiles.

La figure 3.1 présente l'évolution de la part d'énergie d'origine non fossile au cours du temps. L'évolution prévisible devrait suivre une évolution générale représentée par une courbe en *S*, avec une évolution d'abord lente, s'accélégrant ensuite avec un point d'inflexion et un ralentissement en fin de transition.

Pour inverser les parts respectives des énergies d'origine fossile et non fossile d'ici la fin du siècle, il faudrait que le point d'inflexion se situe en 2050, avec une part d'énergies non fossiles de l'ordre de 50 %. En fait, la plupart des analyses effectuées à l'horizon 2050 prévoient une part sensiblement plus faible, se situant dans une fourchette ne dépassant pas 30 à 40 %, même dans le cas de scénario favorables, qui prennent en compte des hypothèses visant à favoriser la pénétration des énergies d'origine non fossiles (4), (11), (12), (13).

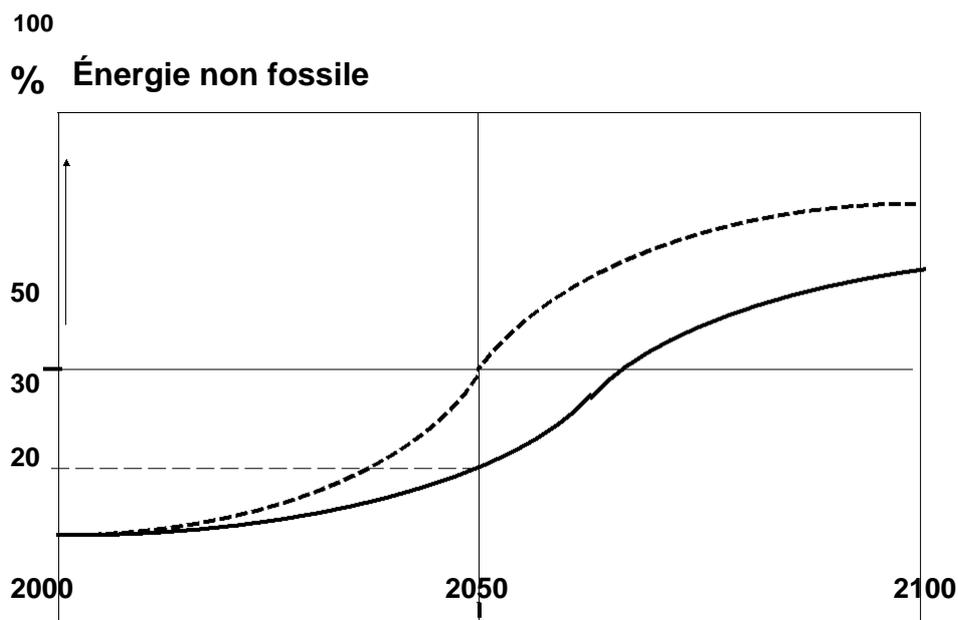


Figure 3.1 - Évolution de la part d'énergie d'origine non fossile

La transition globale, aboutissant à une large substitution des énergies fossiles par des énergies non fossiles, sera donc de longue durée. Pour une évolution régulière et symétrique par rapport au point d'inflexion, si en 2050 la fraction d'énergie non fossile reste inférieure à 50 %, la transition ne s'achèvera qu'au-delà de 2100.

Dans un certain nombre d'applications, il n'existe pas d'alternative immédiate. C'est notamment le cas des transports qui dépendent presque exclusivement du pétrole.

Face à ces difficultés d'adaptation, les risques de changement climatique vont nécessiter rapidement des mesures de très grande ampleur, pour arriver à un niveau d'émission de CO<sub>2</sub> inférieur au niveau actuel, alors que la poursuite de la tendance actuelle aboutirait à un doublement. Comme cela sera précisé dans le paragraphe 3.4, il faudra organiser une *transition carbone* plus rapide que la transition énergétique schématisée sur la figure 3.1.

Il sera donc nécessaire d'accélérer le mouvement de transition énergétique, par rapport à l'évolution admise par la plupart des observateurs à l'heure actuelle. En outre, l'évolution du mix énergétique ne suffira pas pour assurer une transition satisfaisante et il faudra associer à cette évolution également d'autres moyens décrits par la suite visant à accélérer la transition carbone (réduction de la consommation d'énergie, captage et stockage du CO<sub>2</sub>)

Les changements entraînés sont considérables et l'évolution suivie sera critique pour l'avenir.

Selon les décisions qui seront prises, elle pourra, soit se poursuivre en atteignant un équilibre durable ("*breakthrough*"), soit au contraire conduire à une crise et à des conflits majeurs ("*breakdown*") (14).

Il est ainsi indispensable d'agir dès à présent en vue de définir les solutions les mieux adaptées à la période de transition prolongée qui s'ouvre devant nous.

### 3.3. Les critères du développement durable et la problématique du facteur 4

Les choix énergétiques ne peuvent pas être dissociés de l'ensemble des problèmes qui vont affecter l'humanité dans les années à venir : contrôle de la démographie, modes de consommation et niveau de vie, éducation, santé, alimentation et besoins en eau.

A l'heure actuelle, les inégalités de consommation par habitant restent considérables. En 2004, cette consommation a varié entre 7,9 TEP par habitants aux États-Unis et 0,43 TEP par habitant pour l'Afrique subsaharienne, hors Afrique du Sud.

Le modèle énergétique actuel des pays les plus riches n'est ni durable, ni exportable. Pour éviter des tensions susceptibles de dégénérer en conflits violents, il est nécessaire de repenser les conditions d'utilisation de l'énergie, en prenant en compte l'amélioration du bien-être de l'ensemble de la population et de chacun des individus.

Des initiatives à l'échelle mondiale vont être nécessaires pour répondre aux besoins de la planète. Le protocole de Kyoto représente une première tentative, partielle, mais qui présente le mérite d'amorcer un changement, pour apporter une réponse aux risques de changement climatique.

Dans le scénario de référence représenté sur la figure 3.2, les émissions de CO<sub>2</sub>, indiquées en tonnes de carbone équivalent par an, doublent d'ici 2050 en passant de 7 à 14 Gt de carbone par an, tandis que la consommation d'énergie passe de 9,3 Gtep/an (13,5 TW) à 18 Gtep/an (26,1 TW). Une telle évolution aurait un impact inacceptable sur le climat.

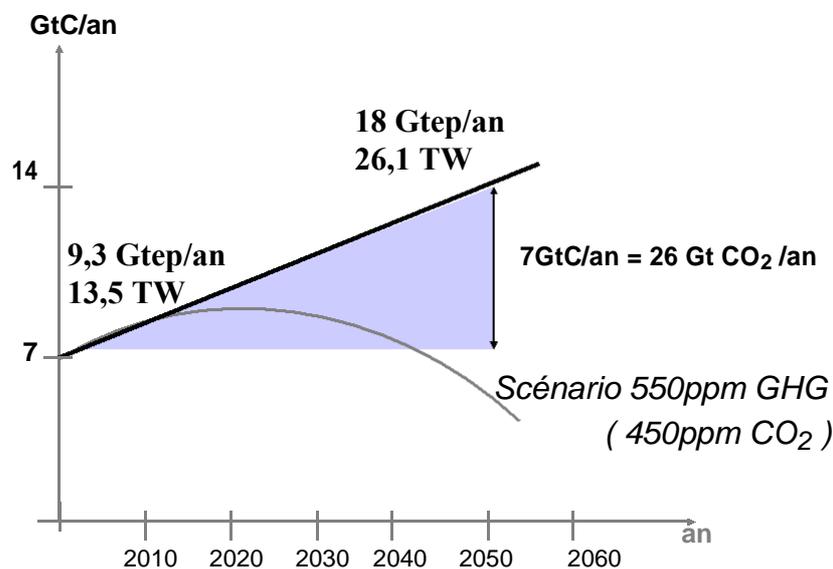


Figure 3.2 - Évolution des émissions de CO<sub>2</sub> en tonnes de carbone par an

Au niveau de l'Union Européenne, l'étude *Greenhouse Gas Reduction Pathways* (GRP) a cherché à établir des scénarios limitant l'augmentation moyenne des températures à 2°C par rapport à la situation préindustrielle. Deux scénarios objectifs ont été établis, pour lesquels les niveaux de concentration des six gaz à effet de serre se stabiliseraient respectivement à 550 et 650 ppm (450 et 550 ppm pour le CO<sub>2</sub> seul). Dans le premier cas l'augmentation de température estimée sur la base des résultats du GIEC serait de 1,6°C et dans le deuxième de 2,5°C (15).

Stabiliser les émissions de CO<sub>2</sub> dès à présent conduirait à une teneur en CO<sub>2</sub> de l'ordre de 500 ppm. En pratique, les émissions vont nécessairement continuer à croître d'ici 2020. Il faudra ensuite qu'elles décroissent pour atteindre d'ici 2050 un niveau proche de la moitié du niveau actuel (scénario 450 ppm pour le CO<sub>2</sub> seul).

Si on vise à terme à rapprocher les émissions de CO<sub>2</sub> par habitant, ceci conduit à réduire par un facteur 4 les émissions des pays industrialisés, de façon à autoriser une augmentation des émissions des pays du tiers monde ou des pays émergents, liée à l'augmentation de la population et du niveau de vie. C'est cet objectif que s'est assigné la France (16).

### **3.4. La transition carbone**

Compte tenu des contraintes sur les émissions de CO<sub>2</sub>, la transition carbone devra être effectuée plus rapidement que la transition énergétique globale, qui a été présentée au paragraphe 3.2.

Au niveau mondial, pour une croissance du PIB par un facteur de 3 à 4 d'ici 2050 (avec une population de l'ordre de 9 milliards d'habitants en 2050), l'intensité carbone définie en rapportant les émissions de CO au PIB, devra être divisée entre 2000 et 2050 par un facteur de 6 à 8.

Les actions à mener pour aboutir à une chute aussi marquée devront donc être engagées rapidement, avec une accélération de la décroissance de l'intensité carbone vers 2030.

### **3.5. Les technologies de la transition énergétique**

Pour éviter de se retrouver trop tard, face à une situation irréversible, il faut anticiper sur les mutations nécessaires. Les solutions à mettre en oeuvre tout au long de la phase de transition devront répondre aux impératifs suivants :

- Assurer la demande mondiale d'énergie sans exclure les pays en voie de développement :
  - La demande doit être maîtrisée, grâce à une utilisation plus performante de l'énergie, de façon à réduire la consommation, sans compromettre le développement.
  - Il est nécessaire en même temps d'assurer une offre suffisante en diversifiant le mix énergétique et en repoussant les limites de production du pétrole, pour éviter une rupture dans les approvisionnements, avant d'avoir pu mettre en place des solutions alternatives.

- Il faut en même temps répondre aux risques de réchauffement planétaire :
  - Les émissions de  $CO_2$  doivent être maîtrisées en réduisant la consommation d'énergie ainsi que le contenu carbone du mix énergétique. Le retour prévisible du charbon, va malheureusement dans le sens d'une augmentation de ce contenu carbone.
  - Pour arriver à réaliser les objectifs de réduction des émissions de  $CO_2$ , il faudra donc mettre en œuvre également d'autres solutions et en particulier recourir au captage et stockage d'au moins en partie le  $CO_2$  émis.

La production d'électricité (pour 39 %), l'industrie (pour 22 %) et les transports (pour 23 %) constituent, au niveau mondial, les principales émissions de  $CO_2$  liées aux activités humaines. Pour limiter ces émissions, il faudra améliorer l'efficacité énergétique, décarboniser le mix énergétique, capter et stocker le  $CO_2$

Les solutions à mettre en œuvre doivent également faciliter le passage vers un nouveau système énergétique. Ce passage peut être facilité notamment par :

- le développement accru de vecteurs énergétiques compatibles avec l'utilisation d'énergies non carbonées. Les combustibles fossiles présentent le grand avantage de stocker de l'énergie et ainsi de pouvoir être utilisés très facilement soit dans des installations stationnaires soit pour des véhicules. Ce n'est pas le cas de la plupart des sources d'énergie alternatives, dont l'utilisation passe par l'intermédiaire d'électricité (nucléaire, éolien, solaire photovoltaïque). Le développement accru des usages de l'électricité est ainsi de nature à favoriser la diversification des sources d'énergie. À terme, l'utilisation d'hydrogène comme vecteur énergétique peut étendre le nombre des applications potentiellement concernées.
- la mise en œuvre de systèmes hybrides, couplant l'utilisation d'un combustible fossile et d'une énergie non carbonée. Il est possible ainsi de bénéficier des avantages uniques que présentent les combustibles fossiles, notamment en termes de stockage d'énergie, en associant par exemple à une éolienne un générateur électrique alimenté au gaz naturel. Les systèmes de propulsion hybrides rechargeables sur secteur représentent un autre exemple.
- le développement de nouveaux systèmes de stockage de l'énergie, plus performants et plus économiques que les systèmes actuels. En effet, un recours accru aux énergies renouvelables va nécessiter, compte tenu du caractère intermittent de la plupart d'entre elles (à l'exception de l'énergie ex-biomasse et de la géothermie), l'utilisation de systèmes de stockage d'énergie.

La transition énergétique devrait ainsi être marquée par la mise en place d'un système *hybride* associant diverses formes d'énergie, différents carburants et moyens de transport.

Ce système devrait également faire appel à des réseaux énergétiques étendus et d'utilisation plus souple que les réseaux électriques actuels, ainsi qu'à des moyens de stockage de l'énergie. Des systèmes de production décentralisée de l'énergie pourraient se brancher sur un tel réseau, dans la perspective d'une croissance progressive des énergies renouvelables, éolien et photovoltaïque.

