

**R**apport d'étape du groupe «ÉNERGIE»  
de l'Académie des Sciences

# **Perspectives énergétiques**

## Projet de déclaration

### 16.01.2005

L'humanité doit faire face à deux problèmes majeurs pour ce siècle: l'épuisement progressif des combustibles fossiles (pétrole, gaz et charbon) qui fournissent actuellement plus de 80% des énergies primaires commercialisées dans le monde et le changement climatique lié aux émissions de gaz à effet de serre (25 Gt de CO<sub>2</sub> par an issues des seuls combustibles fossiles). L'évolution du climat est la menace la plus grave pour notre civilisation; elle appelle une prise de conscience planétaire. Le protocole de Kyoto est un premier pas, mais il est très insuffisant. La dérive séculaire du climat affecte tous les pays, riches et pauvres. Nul pays ou continent ne pourra se sauver seul. Ce sont probablement les bouleversements climatiques violents et inacceptables pour la population (sécheresse, canicule, tempêtes ou cyclones fréquents) qui seront l'amorce d'actions d'ampleur de la part des pays industrialisés, même si ceux-ci supportent mieux les épisodes climatiques brutaux que les pays pauvres.

La demande en combustibles fossiles et d'une façon générale en énergie ira globalement en augmentant. La Chine et l'Inde consommeront en 2020 autant que l'Amérique du Nord et l'Europe aujourd'hui. A cet horizon, dans un scénario de liberté totale, la consommation mondiale sera de 50% plus

élevée qu'aujourd'hui. La population mondiale, de plus de 6 milliards actuellement, serait au milieu du siècle de 8 à 10 milliards et la demande mondiale d'énergie en 2050 aux environs de 20 Gtep/an, soit le double de la situation actuelle. La demande électrique pourrait augmenter plus rapidement et atteindre trois fois la valeur présente. .

Le pétrole et le gaz représentent 60% de l'énergie primaire consommée dans le monde. A ce rythme les réserves prouvées actuelles seront épuisées au milieu du siècle et les ressources ultimes, que des apports nouveaux de la science et de la technique permettront de mobiliser, seront épuisées avant la fin du siècle. Or, le pétrole est très difficile à remplacer dans ses principales applications, particulièrement dans les transports. Dans ce domaine, une transition vers une autre source d'énergie ne pourra se faire que progressivement et sur plusieurs décennies, vers le milieu du siècle.

Le charbon constitue la principale ressource en énergie fossile. La Chine et l'Inde, en forte croissance économique, l'exploitent largement. Sa disponibilité et son coût modéré en feraient un relais naturel des hydrocarbures. Mais les problèmes d'environnement sont lourds. Ramené à un contenu énergétique identique, le charbon libère

deux fois plus de CO<sub>2</sub> que le gaz naturel. La capture et le stockage du CO<sub>2</sub> sont des conditions nécessaires pour permettre son utilisation intensive, mais leurs faisabilités sont loin d'être établies.

Seules les énergies renouvelables, l'énergie solaire et ses dérivées - éolienne, hydraulique, biomasse - , la géothermie et le nucléaire ne produisent pas de gaz à effet de serre et permettraient à l'humanité d'échapper au destin qu'elle se forge. Mais nous sommes incapables de remplacer, à court terme, pétrole, gaz et charbon.

Il faut donc tirer parti de toutes les formes d'énergie, et nous ne pouvons nous passer d'aucune d'entre elles dans les prochaines décennies; pourvu que ce soit dans le respect de l'environnement, c'est à dire en minimisant les contraintes qu'elles imposent en termes de nuisance et de déchets.

Nous devons en conséquence mener une politique courageuse et volontariste, et déployer à temps un intense effort de recherche, dans tous les domaines de production, de conversion et d'utilisation de l'énergie, pour ne pas nous retrouver dès 2020 devant une situation devenue ingérable, en particulier avec des émissions de CO<sub>2</sub> accrues de 50%.

Il convient d'abord d'insister sur l'importance de poursuivre et d'intensifier les recherches relatives au climat. Quels que soient les choix qui seront retenus elles sont

une nécessité.

Dans le domaine propre de l'énergie, plusieurs problèmes majeurs ne semblent pas recevoir l'effort de recherche qu'ils méritent :

**1.** Le capture et le stockage pérenne (séquestration) du gaz carbonique sont un sujet prioritaire : lui seul permettrait de poursuivre l'utilisation du pétrole, du gaz et du charbon en limitant la dégradation du climat, tout en assurant une transition acceptable par les usagers. Les discours sur ce thème sont innombrables, mais le contenu et la portée des recherches menées jusqu'ici sont encore peu convaincants. La possibilité de stockages souterrains ou sous-marins d'une taille capable de recevoir chaque année de 30 à 70 Gt supplémentaires de CO<sub>2</sub>, pour des siècles ou millénaires, est loin d'être établie tant du point de vue scientifique et technique qu'économique. De plus, il faut être conscient qu'il s'agit, pour l'homme, d'intervenir dans le cycle du carbone, ce qui pose des problèmes scientifiques complexes.

**2.** Dans le domaine des transports, la capture du CO<sub>2</sub> produit par les carburants à bord des véhicules n'est pas envisageable. Or, le parc mondial de véhicules routiers pourrait doubler au cours des 30 ou 40 prochaines années. De plus, l'épuisement des réserves de pétrole interviendra au cours du siècle. On est donc amené à faire des économies d'énergie (transport collectif

transport fluvial, ferro-routage) et à préparer le relais des carburants liquides actuels par des fluides ne produisant pas de CO<sup>2</sup>. Il s'agit là d'un des points durs de la recherche. Le meilleur candidat paraît être l'hydrogène, mais les conditions les plus favorables pour sa production et son usage à moyen terme sont loin de faire l'unanimité.

**3.** Plus de la moitié de la population de la Terre vit déjà dans des agglomérations urbaines. La fourniture d'électricité à près de 400 mégapoles de plus d'un million d'habitants, dont déjà une vingtaine de plus de 10 millions d'habitants, paraît hors de portée des sources d'énergie renouvelables, souvent diffusées à la réserve des très grands barrages, pour lesquels les sites disponibles deviennent rares. Il reste alors deux possibilités seulement d'énergie concentrée : les centrales nucléaires (avec une réponse au problème des déchets) et, pour quelques décennies, les centrales thermiques utilisant les combustibles fossiles, mais avec la capture et le stockage du CO<sub>2</sub>, ce qui est loin d'être acquis.

**4.** L'énergie nucléaire paraît être la solution la plus robuste pour fournir de l'électricité concentrée aux grandes villes, sans accroître les désordres climatiques. Elle doit donc être un objectif majeur des recherches énergétiques. La poursuite de l'effort entrepris devra permettre de donner un exutoire ultime aux déchets nucléaires. Les réacteurs de fission actuels seront perfectionnés dans le sens d'une sûreté accrue: La

recherche sur les réacteurs du futur devra prendre en compte l'incinération de leurs propres déchets \_ et le rôle futur de l'hydrogène dans notre civilisation. On cherchera aussi à valoriser la majeure partie de l'uranium (uranium 238) grâce à de nouveaux réacteurs à neutrons rapides, ce qui portera les réserves de combustible à l'échelle des millénaires.

**5.** La recherche sur la fusion nucléaire (ITER) devra faire l'objet d'un effort vigoureux, afin de valider ses avantages supposés en matière de sûreté, d'impact environnemental et de prolifération. Mais vouloir évaluer dès maintenant la contribution de la fusion à la solution du problème énergétique mondial relève de la spéculation.

**6.** Le stockage de l'hydrogène en grandes quantités doit être étudié notamment en situation géologique (cavité, aquifère). La faisabilité, du point de vue technique ou économique, de stocker l'hydrogène sur une base saisonnière, comme on le fait pour le gaz naturel, doit être comparée à celle de stocker le CO<sub>2</sub> indéfiniment, en créant de nouveaux stockages chaque année.

**7.** Les éoliennes actuelles sont capables de produire des puissances de plusieurs MW. L'acceptabilité de leur implantation n'est pas toujours acquise. Cette objection s'applique moins pour des sites en haute mer, mais le coût augmente alors considérablement. Leur principal problème concerne les périodes d'indisponibilité, qui nécessitent de

disposer d'une capacité de production en réserve par une centrale thermique (avec tous les problèmes de captation de CO<sub>2</sub> ou de déchets de celle-ci). Cette production pourrait être un complément intéressant jusqu'à 10 ou 15% de la fourniture d'électricité. Au-delà, elle pose le problème du stockage saisonnier de l'énergie.

**8.** Parmi les biomasses envisagées, l'utilisation des ressources forestières pourrait recevoir un plus grand développement, sans entrer en compétition avec les cultures vivrières. Des recherches complémentaires seraient souhaitables pour étudier la préparation de gaz de synthèse à partir de la biomasse ligno-cellulosique, permettant ensuite la synthèse sélective de carburants. La production de biocarburants à partir de cultures dédiées est par nature limitée, car elle occupe préférentiellement des terres arables et nécessite un apport d'énergie substantiel pour l'exploitation et la fabrication du carburant, notamment en cas d'une culture intensive. Une analyse comparative devrait être menée avec d'autres types d'allocation des sols : alimentation humaine, peuplements forestiers, etc., incluant un bilan de la consommation d'énergie pour la culture, comparée à l'énergie produite. Dans cette voie il faudrait chercher à valoriser le plus possible le carbone des plantes.

**9.** Dans les zones rurales et isolées des pays en développement, une quantité même faible - d'électricité photovoltaïque permettrait de satisfaire les besoins de première

nécessité, tels que : éclairage, pompage d'eau potable, stockage des vaccins, alimentation de petites antennes médicales, rupture de l'isolement des populations (enseignement). Des avancées sur les matériaux permettraient d'abaisser le coût des capteurs solaires. Ce problème concerne près de 2 milliards d'habitants qui ne sont pas reliés à un réseau électrique (et ne le seront peut-être jamais). Il relève autant du devoir humanitaire et de l'éthique que de la science et de la technique.

**10.** Le stockage temporaire de l'électricité serait une véritable percée. En effet, les énergies nucléaire, éolienne ou solaire - qui ne produisent pas de CO<sub>2</sub> - ne se prêtent guère au stockage d'énergie en grandes quantités. Les dispositifs indirects de stockage massif par voie hydraulique (barrages utilisés en sens inverse) sont vite saturés. On est actuellement très limité par les batteries, malgré les progrès réalisés. Le stockage de l'électricité permettrait de donner un plus grand développement aux énergies intermittentes, éolienne ou photovoltaïque. D'une façon générale le stockage de l'énergie, quelle qu'en soit la forme (électricité, hydrogène, chaleur) aura un rôle central à jouer pour remplacer celui joué implicitement jusqu'ici par le stockage du pétrole ou du gaz. Bien que peu évoqué dans les priorités, il s'agit là d'un problème de grande importance dont la solution est loin d'être évidente.

En France et en Europe, la vision politi-

que de production d'énergie n'est pas encore prise en charge à sa réelle valeur, malgré une certaine conscience de la gravité des phénomènes au sein de la population. Diviser par deux en 2050 la consommation française de combustibles fossiles serait déjà très difficile, à moins d'un rapide et profond changement de nos choix de consommation d'énergie (en particulier dans les transports) et d'un effort de recherche considérable. La diviser par quatre paraît irréaliste, puisque la France, à la différence des autres pays, a déjà enregistré le bénéfice du passage de l'électricité produite à partir des combusti-

bles fossiles vers l'électricité nucléaire qui n'émet pas de CO<sub>2</sub>.

Une évolution énergétique majeure, en Europe comme dans le monde, est inévitable au cours du siècle. Pour qu'elle ne soit pas brutale et douloureuse, un processus de recherche fondamentale et de développement technologique doit être amorcé dès maintenant, dans tous les domaines de production, de stockage et de l'usage de l'énergie, moyennant un important effort supporté par de grands programmes de recherche.

Membres du groupe «Energie»  
de l'Académie des Sciences :

Michel COMBARNOUS  
Robert GUILLAUMONT, *Secrétaire*  
Pierre JOLIOT  
Guy LAVAL  
Michel POUCHARD  
Ionel SOLOMON  
Bernard TISSOT, *Président*