

L'énergie qui a permis le développement de l'humanité va-t-elle devenir son cauchemar ?

Au plan mondial, la croissance économique et la consommation d'énergie d'origine fossile sont allées de pair, entraînant d'abondantes émissions de CO₂, un gaz qui agit comme le vitrage d'une serre augmentant la température moyenne de la planète.

La croissance de cette consommation énergétique ne peut donc continuer sans des conséquences graves pour la planète. Sommes-nous dès lors condamnés à la stagnation ?

Supportable pour le monde riche, une telle orientation est inacceptable pour les pays émergents et sous-développés. Pour échapper au dilemme de la catastrophe humaine ou de la catastrophe écologique, nous sommes tenus de changer nos conceptions et d'inventer un nouveau paradigme économique.

Les enjeux liés à l'énergie sont tels qu'il est temps pour les responsables d'élaborer un projet de société apte à garantir un développement durable et de proposer des politiques visant à dissocier demande énergétique et croissance économique. La voie est étroite.

Les auteurs dressent le constat, évaluent les chances, dissipent les rêves technologiques quand ils tiennent lieu d'échappatoire, pour dégager quelques pistes et déjouer la damnation climatique.



ISBN : 2-259-20426-0



9 782259 204262

10 euros

Énergie et climat

7 | Plon/Fondation Jean-Jaurès

M. Destot - A. Ferrari - Ph. Girard

Énergie et climat

Réponses à une crise annoncée

Michel Destot
Achille Ferrari
Philippe Girard

Fondation
Jean-Jaurès
Plon



L'énergie qui a permis le développement de l'humanité va-t-elle devenir son cauchemar ?

Au plan mondial, la croissance économique et la consommation d'énergie d'origine fossile sont allées de pair, entraînant d'abondantes émissions de CO₂, un gaz qui agit comme le vitrage d'une serre augmentant la température moyenne de la planète.

La croissance de cette consommation énergétique ne peut donc continuer sans des conséquences graves pour la planète. Sommes-nous dès lors condamnés à la stagnation ?

Supportable pour le monde riche, une telle orientation est inacceptable pour les pays émergents et sous-développés. Pour échapper au dilemme de la catastrophe humaine ou de la catastrophe écologique, nous sommes tenus de changer nos conceptions et d'inventer un nouveau paradigme économique.

Les enjeux liés à l'énergie sont tels qu'il est temps pour les responsables d'élaborer un projet de société apte à garantir un développement durable et de proposer des politiques visant à dissocier demande énergétique et croissance économique. La voie est étroite.

Les auteurs dressent le constat, évaluent les chances, dissipent les rêves technologiques quand ils tiennent lieu d'échappatoire, pour dégager quelques pistes et déjouer la damnation climatique.

ISBN : 2-259-20426-0



Énergie et climat

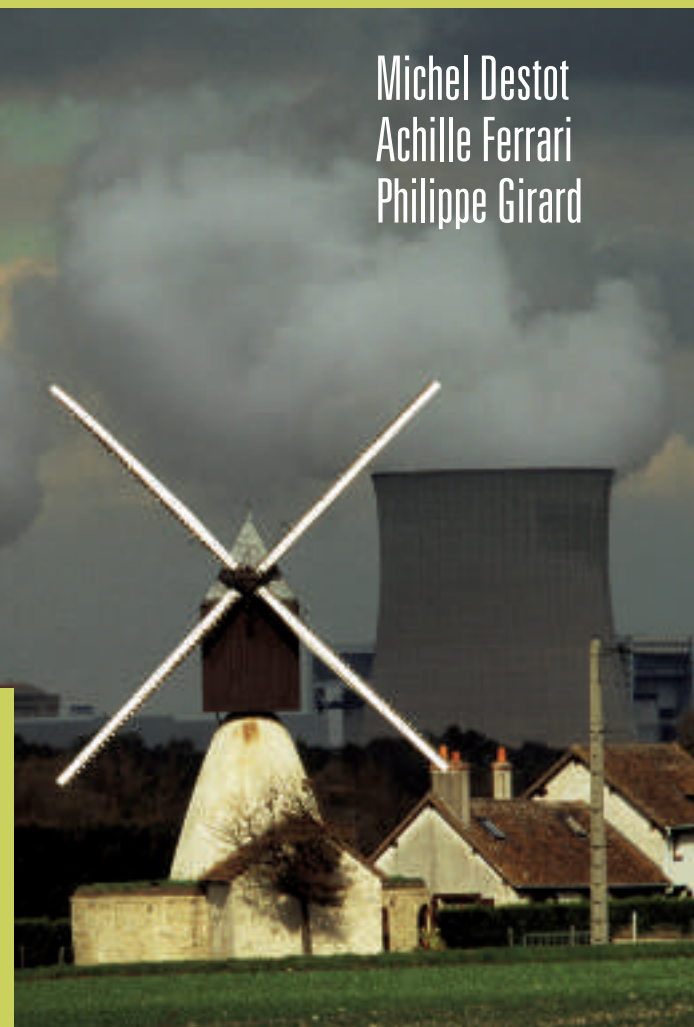
7 | Plon/Fondation Jean-Jaurès

Énergie et climat

Réponses à une crise annoncée

Michel Destot
Achille Ferrari
Philippe Girard

Fondation
Jean-Jaurès
Plon



Énergie et climat,

Réponses à une crise annoncée

Michel Destot
Achille Ferrari
Philippe Girard

Collection Fondation Jean-Jaurès/PLON
Dirigée par Gilles Finchelstein.

Photographie © Thomas Hoepker | Magnum Photos

Michel Destot, député-maire de Grenoble, a été rapporteur spécial du budget de l'industrie de 1997 à 2002. Initiateur des journées parlementaires sur l'Énergie, il est, depuis 2002, secrétaire de la commission des Affaires étrangères de l'Assemblée nationale. Il est également président du GART (Groupement des autorités responsables de transport).

Achille Ferrari, polytechnicien, ancien conseiller en charge du secteur énergie et recherche nucléaire (1981-1982) auprès de Jean-Pierre Chevènement, ministre de la Recherche et de la Technologie. Il a mené sa carrière dans le secteur de l'Énergie (nucléaire et pétrole), et a fini président de la holding ISIS.

Philippe Girard, ancien élève de l'École Normale Supérieure de Saint-Cloud, agrégé de Chimie, docteur en Physique atomique, a travaillé dans le domaine de la recherche avant de se consacrer aujourd'hui aux marchés énergétiques.

La Fondation Jean-Jaurès tient à remercier Francis Sorin pour sa contribution à cet ouvrage.

« La terre est ma patrie, l'humanité est ma famille »

Khalil Gibran

*« Je m'intéresse à l'avenir car c'est là que j'ai décidé de passer le
restant de mes jours »*

Woody Allen

Introduction

Effet de serre, trou de la couche d'ozone, typhons américains, montée des océans, risques de perturbations du Gulf Stream : c'est devenu une habitude, les annonces sur les conséquences catastrophiques des changements climatiques font souvent la une de l'actualité. L'époque où ces questions relevaient d'un débat de spécialistes, intéressant plus ou moins les gouvernements, est donc bel et bien révolue. Les autorités n'ont pas besoin de sensibiliser leurs opinions sur l'urgence des problèmes liés au climat. Désormais, ce sont les citoyens qui les interpellent.

Selon les enquêtes d'opinion, plus de 70% des Français se disent d'accord pour changer de mode de vie afin de lutter contre les gaz à effet de serre. Interrogés par l'Institut CSA, début 2005, sur la menace qu'ils redoutent le plus, une majorité absolue de nos concitoyens cite le réchauffement de la planète, avant le terrorisme, les retraites ou les épidémies. Le développement durable n'est donc plus seulement une lubie d'experts écologistes ou l'objectif de responsables politiques soucieux du long terme, il est devenu une exigence de la société civile. On pourra toujours dire que nos concitoyens ne mesurent pas bien les conséquences de leur demande et qu'ils ne seraient sans doute pas prêts à consentir tous les efforts nécessaires pour renverser le cours des choses. Il n'en demeure pas moins que l'idée que notre planète appartient aussi aux générations futures gagne du terrain dans les esprits.

Une prise de conscience citoyenne

Cette prise de conscience est une chance, en même temps qu'une invitation pour les décideurs politiques et économiques à faire preu-

ve d'imagination et surtout de courage afin de conjurer le péril climatique que nous savons, désormais, inéluctable.

Ne voyons pas là une contrainte, mais plutôt un gage de légitimité pour les politiques qui doivent mettre en œuvre des changements majeurs dans nos modes de vie et d'organisation.

Jadis, il leur fallait prévoir l'évolution de la demande pour investir dans l'offre en énergie. La constitution de stocks de pétrole puis les programmes nucléaires n'avaient pas d'autres objectifs. Il s'agissait dans tous les cas d'alimenter la croissance économique et de garantir l'indépendance nationale. L'environnement était le grand absent de ces stratégies publiques.

Cette politique, qu'illustre encore aujourd'hui le gouvernement de George Bush ne peut plus être la nôtre, à l'heure où les clignotants climatiques ont déjà viré à l'orange. L'opinion attend, à raison, que ses gouvernants anticipent enfin les contraintes qui nous seront imposées à moyen terme par l'épuisement de nos ressources en énergies fossiles et par l'aggravation de l'effet de serre. Est-elle consciente qu'une action publique sur la demande est beaucoup plus difficile à mener qu'une action sur l'offre ? Est-elle préparée au fait que les délais existant entre une prise de décision et ses effets concrets sont infiniment plus longs lorsque l'on agit sur la demande que lorsque l'on agissait sur l'offre ? Quelques mois suffisaient pour constituer des réserves de pétrole. Il faudra des années pour modifier nos modes de vie dans les domaines de l'habitat ou des transports, et des décennies pour en percevoir les résultats en termes d'effet de serre.

L'opinion est-elle enfin résolue à accepter de sortir des logiques nationales qui sont encore trop souvent les nôtres ? Un seul pays ne peut agir sur la demande. Une politique globale en la matière doit, *a minima*, être élaborée dans le cadre de l'Union européenne. L'explication est simple : toute action sur la demande bute sur l'obstacle des différences de compétitivité qu'elle induit dans les nombreuses activités économiques à forte intensité énergétique. De même, l'effet de serre ignore les frontières et nous rappelle combien notre planète est toute peti-

te, comme l'avaient vu les astronautes d'Apollo depuis la lune. Malgré le refus du gouvernement américain de ratifier le protocole de Kyoto, ou dans l'attente de son changement de politique à cet égard (quand ses intérêts économiques le commanderont), nous n'avons pas d'autre choix que d'amener tous les pays membres de l'Organisation Mondiale du Commerce à intégrer l'impératif environnemental dans leurs politiques énergétiques, afin que la vertu des uns ne serve pas à accroître la compétitivité des autres.

La faiblesse des mesures prises par les décideurs demeure consternante. Elles sont pour tout dire dérisoires par rapport aux objectifs souhaitables. Tout se passe comme si nous foncions droit dans un mur en se disant qu'il sera toujours temps de redresser plus tard notre course.

Trop modestes par rapport à l'urgence de la situation, ces mesures le sont aussi par rapport aux attentes de l'opinion publique. Alors que l'objectif fixé est de diviser par quatre en cinquante ans les émissions de gaz carbonique, responsables de l'effet de serre, rien n'est effectivement décidé pour avancer vraiment dans cette voie.

Loin des partisans du retour à l'éclairage à la bougie (même s'il en existe parmi ceux qui donnent l'alarme), nous ne pouvons pas non plus être des professeurs Nimbus : il n'existe pas de recette miracle pour qu'une révolution technologique nous conduise dès demain à la croissance propre qui assurera à la fois le maintien de notre mode de vie actuel et le respect de l'environnement.

Les caractéristiques technologiques limitent encore le champ des possibilités. On mesure le caractère titanesque de l'effort qui nous attend. Ne cédon's à aucune logique simpliste, ne ressuscitons pas de guerres d'énergies : pour faire face à la menace d'une catastrophe climatique, nous aurons besoin de toutes nos ressources techniques et humaines et surtout d'un consensus suffisant pour prendre les bonnes décisions et les appliquer.

Refonder le développement durable

Maintien de notre mode de vie ou préservation de la planète : seul le concept de développement durable permet de dénouer le dilemme. Ce concept, popularisé par le rapport Bruntland, est pourtant plus complexe qu'il n'y paraît. Il repose sur une acceptation de la croissance économique, à l'inverse des thèses du Club de Rome en faveur de la croissance zéro, que l'on présentait dans les années 60 comme la seule voie écologique... avant que les pays développés n'expérimentent à partir de 1973 ce qu'était réellement cette stagnation. Il repose également sur une politique sociale, sa pérennité dépendant étroitement de la force des mécanismes de solidarité. Il se caractérise enfin par l'adaptation de ces objectifs économiques et sociaux à la préservation de notre patrimoine environnemental, à l'échelle de la planète. Il s'agit, en somme, d'articuler la solidarité entre tous les citoyens du monde actuel et la solidarité entre toutes les générations.

Mais comment concilier le développement économique, la solidarité sociale et la protection de l'environnement ? Et comment tenir ce pari aux plans mondial, européen, français et régional ?

L'heure est venue d'un vrai débat autour de la prévention des crises économiques internationales, de l'établissement d'une aide cohérente aux pays en voie de développement et de l'élaboration de programmes globaux de protection de l'environnement.

Dans ce cadre, le simple principe de précaution, souvent évoqué, peut s'avérer contre-performant. Il n'est pas une réponse adaptée aux défis qui nous attendent car il inhibe les initiatives nouvelles. Il peut même être source de décroissance. Il convient plutôt de privilégier le principe d'anticipation ou de prévention, qui prend en compte la prévision des situations potentielles et la progressivité des réponses politiques. En effet, le changement climatique n'a plus seulement une existence hypothétique dans la mesure où son étendue est confirmée scientifiquement. Le principe de précaution, qui consiste à limiter les dommages d'une catastrophe environnementale irréversible, n'est

donc pas suffisant. La politique énergétique à développer et la lutte contre l'effet de serre doivent s'inscrire dans ce cadre et non pas dépendre uniquement d'un pronostic sur l'espérance des ressources énergétiques ou de l'application sèche du principe de précaution.

L'énergie au cœur des enjeux

L'énergie est un facteur universel de production. Toutes les sociétés font appel à des énergies externes pour compléter ou remplacer la force musculaire de l'homme, qui reste très limitée. Les grands travaux de l'Antiquité butaient sur un redoutable problème d'organisation. Il fallait régir les mouvements d'une foule nombreuse sur des durées le plus souvent très longues. Et même si les moulins à eau ou à vent étaient connus à cette époque, ils n'offraient que peu d'attrait pour les sociétés grecque et romaine, fondées sur l'esclavage. Ils n'ont été utilisés de manière répandue et déterminante qu'à partir de la fin du Moyen-Âge.

La vraie révolution énergétique correspond au recours aux combustibles fossiles. Le charbon, employé à partir du milieu du XVIII^e siècle, a d'abord été utilisé en Angleterre en remplacement du bois pour alimenter la machine à vapeur. L'ère industrielle était lancée. D'autres mutations ont suivi, s'accompagnant d'importantes innovations. Ainsi le début du XIX^e siècle a vu l'avènement de la turbine à vapeur mobile, et de grands progrès dans la métallurgie du fer.

Le début du XX^e siècle correspond à l'essor de l'électricité et des moteurs électriques qui ont libéré les industries de la tyrannie du cantonnement géographique et ont permis des modes de production plus souples et plus intensifs. Enfin, le pétrole et le moteur à explosion ont apporté une plus grande mobilité individuelle et collective.

Tout au long de ces périodes, la croissance économique et l'amélioration de la qualité de vie ont été significativement corrélées à la consommation de l'énergie. Aujourd'hui, il reste à changer de logique en

découplant croissance économique et augmentation de la consommation d'énergie.

Un tel objectif passe par l'action combinée d'une exploitation rationnelle des progrès de la technique et d'une limitation de la surconsommation grâce à une action pédagogique sur les comportements humains.

Les problèmes de politique énergétique sont posés principalement par les pays en voie de développement. Certes, les deux géants, la Chine et l'Inde, qui représentent à eux seuls le tiers de l'humanité vont déterminer, en grande partie, le niveau et la nature des consommations énergétiques futures. Mais, cette évolution inéluctable ne peut servir de prétexte aux pays industrialisés pour refuser de réformer en profondeur leurs politiques énergétiques.

L'émergence d'une solidarité internationale sera déterminante. Il nous appartient de la promouvoir, puis de la pratiquer.

Énergie et climat : couple infernal ou durable ?

Le bois, le charbon, le pétrole, le soleil ont une existence concrète : ce sont des sources d'énergie dont on peut se servir pour des usages divers. Afin de tracer un panorama synthétique des emplois de l'énergie, il faut procéder à un bilan consolidé des différentes formes de consommations tout en intégrant leurs spécificités.

Mais n'oublions pas l'essentiel : la place de l'homme dans son village, la planète, face aux autres et face à son avenir. Il n'y a pas de société durable bâtie sur l'égoïsme et le repli sur soi.

La mondialisation est désormais notre nouvel horizon. Il s'agit d'un enjeu économique, social, écologique, mais aussi d'un formidable défi politique d'où sortiront vainqueurs ceux qui sauront concilier détermination, imagination et réalisme. « L'homme est un être raisonnable, mais les hommes le sont-ils ? » aimait dire Raymond Aron.

Le péril environnemental

La mondialisation et la médiatisation de la société ont mis en lumière les menaces qui pèsent sur l'environnement. Cette lente prise de conscience a déjà permis de commencer à traiter quelques problèmes : trou de la couche d'ozone, pluies acides. Mais nous sommes confrontés à d'autres chantiers essentiels, au premier rang desquels figure l'effet de serre.

Les pays développés doivent donner l'exemple. N'en sont-ils pas les premiers responsables ? Avec 16% de la population, ils consomment 85% des produits chimiques, 66% de l'énergie, 40% de l'eau douce.

Il est donc grand temps de démontrer que la croissance des pays développés à économie de marché peut aller de pair avec une politique énergétique responsable et une protection durable du patrimoine naturel de la planète.

L'exemple réussi de la réduction des émissions de SO_2 (l'un des principaux précurseurs des pluies acides) démontre que lorsque la prise de conscience citoyenne, la technologie et la volonté politique existent, il est possible d'apporter des solutions rapides et durables à un péril environnemental urgent à combattre.

L'effet de serre, un phénomène indispensable à la vie, perturbé par l'activité humaine

Sans effet de serre, la vie serait impossible sur notre planète, mais trop d'effet de serre risque de rendre notre vécu terrestre difficilement supportable.

La terre est en équilibre thermique dynamique, toute l'énergie reçue du soleil étant réémise soit par réfléchissement direct, soit par rayonnement infra rouge. Sans gaz à effet de serre, la température moyenne de la terre serait de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Du fait de la présence de certains gaz comme l'eau ou le dioxyde de carbone, une partie de l'énergie solaire est piégée entre la surface terrestre et l'atmosphère, provoquant une augmentation de la température moyenne. Ce processus s'apparente à celui d'une serre où le vitrage laisse passer la lumière du soleil tout en piégeant une partie de la chaleur à l'intérieur. Les gaz responsables de ce phénomène sont appelés gaz à effet de serre.

Les gaz qui contribuent à l'effet de serre avec des concentrations pourtant très faibles sont l'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde nitreux et l'ozone. L'eau (H_2O) est concernée à ce titre à raison de concentrations variables entre 0 et 4% en moyenne. Le dioxyde de carbone (CO_2), plus connu sous le nom de gaz carbonique, est un corps essentiel à la vie puisqu'il alimente la croissance des plantes. Le méthane (CH_4) est le principal élément du gaz naturel, qui peut provenir de fuites de gaz, mais aussi des marais, des rizières et de la digestion des ruminants. L'oxyde nitreux (N_2O) est issu des combustions dans l'air et des engrais azotés. Enfin, l'ozone (O_3) est caractérisé par le fait qu'il est bénéfique dans la haute atmosphère où il nous protège d'un excès de rayons ultraviolets, mais nuisible dans la basse atmosphère. L'ozone n'est pas émis directement mais il se forme à partir d'autres polluants et son temps de séjour dans l'atmosphère est très court, de quelques semaines à quelques mois. Pour être complet, il faudrait citer d'autres gaz totalement artificiels et créés par l'homme. Une fois émis dans l'atmosphère, ces gaz ont des impacts sur l'effet de serre différents et variables dans le temps.

L'équilibre thermique de la terre a évolué et continuera d'évoluer de façon rapide à l'échelle de temps géologique mais de façon lente à l'échelle de temps humaine, sauf en cas d'événements exceptionnels comme une explosion volcanique majeure ou une chute de météore.

Cet équilibre est aujourd'hui bouleversé par des facteurs liés à l'activité humaine comme l'émission des produits issus de la combustion des composés fossiles (pétrole, gaz naturel ou charbon). Le danger véritable provient de l'ampleur possible du phénomène et également de sa rapidité qui est incompatible avec une transition « douce » vers un nouvel équilibre thermique de la terre. Le relâchement du carbone stocké dans les combustibles fossiles sous forme de CO_2 ne serait pas dangereux en soi si le processus était lent : sur les 28 Gtonnes de CO_2 émises annuellement, la moitié reste dans l'atmosphère (d'où l'augmentation progressive de la teneur en CO_2), une très faible partie est stockée sous forme minérale, et le reste se dissout dans les océans. Mais cette dissolution n'est ni définitive, ni permanente et a des conséquences sur la biosphère des océans, modification de l'acidité de l'eau, dont on mesure aujourd'hui difficilement les conséquences à long terme.

Pourquoi donc les efforts dans la lutte contre le réchauffement climatique se focalisent-ils sur les émissions de gaz carbonique en particulier ? Pour le comprendre, il suffit d'analyser l'origine des émissions dans les pays fortement contributeurs : 81 % pour le dioxyde de carbone, 10 % pour le méthane, 6 % pour l'oxyde nitreux et 3 % pour les autres gaz à effet de serre.

Des dispositifs techniques existent pour traiter de façon efficace les émissions de la plupart des gaz à effet de serre à l'exception pour l'instant du CO_2 . Pour le méthane, par exemple, la solution la plus simple est de le brûler pour récupérer de l'énergie et le transformer en CO_2 au pouvoir radiatif vingt fois plus faible.

La limitation des émissions de CO_2 est donc le principal enjeu de la lutte contre le changement climatique, sachant que la croissance de la concentration du CO_2 dans l'atmosphère est clairement corrélée avec celle de l'utilisation des combustibles fossiles.

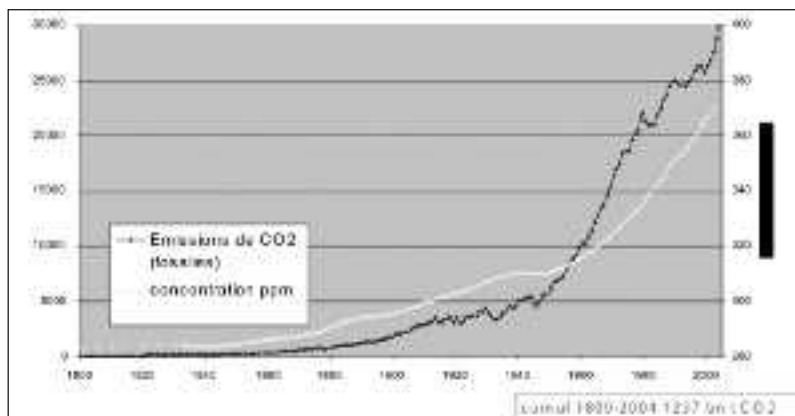


Figure 1 : Évolution des émissions de CO₂ issues des combustibles fossiles et de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère

Un péril universel

Il ne faut pas confondre le temps qu'il fait et le climat, ni les particularités d'une saison avec le changement climatique. Les canicules de 1947 et de 2003 ou le grand froid de l'hiver 1962-1963 ne constituent pas à eux seuls la preuve du changement climatique. Le climat est défini comme la moyenne sur une période suffisamment longue (les climatologues ont adopté la période de trente ans) du temps qu'il fait chaque jour. Cette donnée peut être caractérisée par un ensemble de paramètres, dont l'humidité, les précipitations, la pression atmosphérique, le niveau de sécheresse, la température de l'air, la vitesse et la direction du vent ou encore la nébulosité. Il faut également mentionner que les éléments astronomiques ont joué un rôle direct dans les évolutions climatiques et peuvent encore potentiellement bouleverser le climat. Les variations de l'orbite et de l'axe terrestre, ainsi que la position des équinoxes sont des facteurs fondamentaux pour l'évolution du climat sur le long terme.

L'une des principales caractéristiques de la situation climatique mondiale actuelle est un changement constaté sur toute la planète. Trois faits révélateurs essentiels sont universellement constatés : la croissance de la température à une vitesse sans précédent, l'augmentation du niveau des mers et la multiplication des catastrophes naturelles – les deux premiers phénomènes étant indiscutablement liés au changement climatique. Chaque habitant de la terre peut, d'ores et déjà, se rendre compte de ces changements qui peuvent l'affecter plus ou moins dans sa vie courante.

Compte tenu de l'universalité des phénomènes liés à l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre et de la complexité de modélisation des évolutions futures, les gouvernements ont créé un regroupement de scientifiques au niveau mondial : le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur le Climat (GIEC ou IPCC sous son sigle anglo-saxon). Cet organisme constitué en 1988 a pour fonction d'évaluer les informations disponibles et de fournir sur demande des conseils scientifiques, techniques et socio-économiques. Ce groupe a publié plusieurs rapports. La dernière publication exprime clairement la conviction que le réchauffement constaté est dû aux gaz à effet de serre. Toutes les conclusions du GIEC ont été approuvées à l'unanimité et peuvent être tenues pour des certitudes.

Pour prévoir l'évolution du climat, il faut prendre en compte l'historique des émissions de CO₂, puisqu'il détermine sa concentration actuelle dans l'atmosphère, et formuler des hypothèses quant à l'évolution future des activités humaines, en particulier en termes d'utilisation de combustibles fossiles. De nombreux scénarios ont ainsi été imaginés pour couvrir le champ des possibles.

Dans un scénario de continuité où les émissions atteindraient 110 Gtonnes de gaz carbonique par an en 2080, la température augmenterait de 3,4 °C d'ici 2050 et de 5,8 °C d'ici 2100. Rappelons que la terre s'est réchauffée de 1 °C environ depuis le début de l'ère industrielle, dont 0,6 °C au xx^e siècle. Neuf années de la décennie 1990 ont été les plus chaudes du siècle. L'augmentation du niveau des océans serait de 85 cm d'ici 2100.

Dans un scénario intermédiaire fondé sur l'idée que la croissance des émissions de gaz carbonique serait moins élevée après 2050, l'augmentation de la température serait toujours de près de 4 °C d'ici 2100, pour une augmentation du niveau des océans de 70 cm. Seul un scénario où nous restreindrions fortement nos émissions de gaz carbonique (jusqu'à 18 Gtonnes en 2100) permettrait de limiter la hausse de la température à moins de 3 °C.

La diminution des émissions de CO₂ est donc un préalable à toute politique climatique débouchant sur des résultats concrets.

Pour comprendre la signification de ces chiffres, il est intéressant de se souvenir que les différences de température entre les grandes glaciations et les périodes interglaciaires (qu'a périodiquement connues la terre) ne dépassent pas 5 °C. Durant les 600 000 dernières années, la terre n'a jamais connu une température moyenne supérieure à celle que nous subissons actuellement. Nous ne pouvons donc avoir aucune information sur les conséquences de températures beaucoup plus élevées (il faut remonter probablement à l'ère tertiaire ou au secondaire pour trouver des températures plus hautes).

Le réchauffement a déjà commencé et on en observe les conséquences : recul des glaciers terrestres, montée en altitude de l'isotherme zéro, diminution du nombre de jours de gel, floraison de la vigne et des arbres fruitiers plus précoce, extension vers le nord du domaine du pin maritime, migration vers le nord de certains poissons pélagiques...

L'évolution la plus sérieuse à suivre sera la montée du niveau de la mer, essentiellement due à la dilatation thermique des eaux. L'océan se réchauffe lentement et la hausse du niveau des eaux se poursuivra longtemps, même si la température de l'atmosphère se stabilise. En un endroit précis, la hausse est difficile à déterminer, car elle dépend de nombreux facteurs, dont le modelé des rivages. Mais les conséquences humaines et écologiques d'une élévation moyenne (scénario intermé-

diaire) de 38 cm en 2100 seraient déjà sérieuses pour des bas pays, tels que les Maldives, le Bangladesh, les Pays-Bas et sur les deltas que l'eau de mer envahira. A un niveau supérieur (élévation de 85 cm dans l'hypothèse la plus haute), elles deviendraient dramatiques.

Nous subirons de nombreux autres effets. La faune et la flore en seront affectées. La biodiversité sera gravement mise en danger, surtout celle de l'humus (très dommageable pour les terres arables et donc pour l'agriculture). Les régions sèches verront leur sécheresse aggravée (le pourtour de la Méditerranée sera lui-même menacé de désertification). Les populations verront s'aggraver les conditions de leur alimentation en eau. De sérieux risques sanitaires menaceront surtout les populations à faible revenu.

Si le réchauffement global peut être prévu, les modifications climatiques locales restent encore très incertaines. Quelques conclusions sont toutefois très hautement probables. La température augmentera davantage en hiver qu'en été, la nuit que le jour, aux hautes latitudes qu'aux basses latitudes, sur les terres que sur les océans. Les précipitations devraient être légèrement accrues, les zones sèches seront encore plus sèches alors que les pluies seront plus abondantes sur les zones humides. Sans doute subira-t-on aussi une augmentation des phénomènes extrêmes (inondations, tempêtes de forte intensité, canicules...).

Les impacts liés au changement climatique ont un caractère global. Pour la plupart des pays, les conséquences seront majoritairement négatives. Pour essayer de limiter les dégâts, il faut donc agir vite et de façon globale.

Une réaction urgente et d'envergure

Les gaz à effet de serre, une fois émis, vont rester pendant des périodes plus ou moins longues dans l'atmosphère. Ce facteur cumulatif rend urgent de modifier le plus rapidement possible le niveau des émissions. Une molécule émise dans l'atmosphère aggravera l'effet de serre pendant une période pouvant atteindre plusieurs siècles. Même si nous divisons immédiatement par deux les émissions ou même si nous arrêtons toute émission (simple hypothèse d'école), la température continuerait à augmenter. Une fois les gaz à effet de serre émis, nous ne pouvons plus rien faire : ni les retirer, ni contrecarrer leurs effets.

Tout comme nous cherchons à établir une solidarité entre générations pour le financement des retraites ou pour gérer la dette de notre pays, le fait de limiter dès maintenant les émissions de gaz à effet de serre sera extrêmement bénéfique pour nos enfants et atténuera considérablement les conséquences du changement climatique pour les générations futures.

Quel responsable politique pourrait proposer aux citoyens de ne pas agir maintenant en faisant le pari risqué que le problème se résoudra de lui-même dans quelques décennies ? Quels citoyens responsables pourraient accepter un bien-être temporaire au prix d'une dégradation de la qualité de vie de leurs descendants ? Le risque existe, comme nous le rappelle l'écroulement de certaines civilisations dites avancées dans le passé, écroulements souvent dus à des refus de changement de modes de vie pour s'adapter aux évolutions exogènes.

La prise de conscience s'établit progressivement, même s'il a fallu attendre presque deux cents ans après le début de la révolution industrielle pour que soient envisagées les conséquences de rejets croissants dans l'atmosphère de CO₂ dû à la combustion de charbon, de pétrole ou de gaz naturel. La signature pendant le sommet de Rio de la convention UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) ne date que de 1992, suivie par l'adoption en 1997 du protocole de Kyoto, qui prévoyait une diminution de 5,2 % des

émissions de gaz à effet de serre en 2010 par rapport à 1990 pour les pays industrialisés et en transition. Cet accord n'est entré en vigueur qu'en 2005 (avec l'absence notable des États-Unis et de l'Australie).

Certains pourraient faire remarquer que le processus est plutôt rapide par rapport au déroulement d'autres négociations internationales. Cependant, entre 1990 et 2002, on estime que les émissions de gaz à effet de serre ont augmenté de 3,4 milliards de tonnes. Auparavant, il avait fallu près de cent vingt ans (depuis le début de la révolution industrielle) pour atteindre un tel niveau.

Désormais, le temps est compté. Faisons l'analogie avec les quatre façons d'éteindre des feux de forêts : un verre d'eau la première minute, un seau la deuxième, un tuyau d'arrosage la troisième et, au-delà, les services de pompiers. Concernant le réchauffement climatique, nous en sommes probablement arrivés à la dernière étape, sans le service de pompiers devenu d'ailleurs inutile dans le cas des gaz à effet de serre !

Les sources des émissions de CO₂

L'évaluation des émissions des différents gaz à effet de serre est un exercice délicat, à l'exception du CO₂ émis par combustion ou procédés industriels.

Globalement, les émissions de CO₂ issues de la combustion augmentent au rythme moyen de 300 millions de tonnes par an. La part des pays développés dans la contribution aux rejets de gaz carbonique est restée stable, compte tenu de la baisse des émissions des pays de l'ex-URSS et des pays de l'Europe centrale et orientale, qui permet de compenser l'augmentation des émissions des États-Unis. Les nouveaux pays industrialisés contribuent pour une part croissante aux émissions de gaz carbonique : 100 millions de tonnes pour la Chine, 30 millions de tonnes pour l'Inde et 18 millions de tonnes pour l'Afrique. La perspective d'une progression continue et soutenue des émissions de la Chine et de l'Inde est donc une source d'inquiétude majeure.

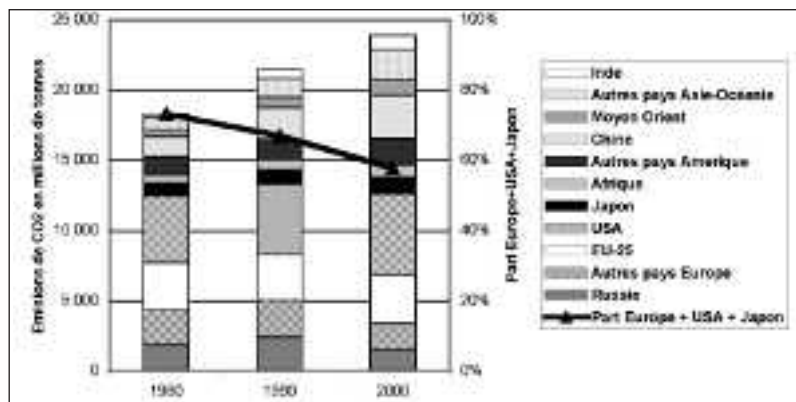


Figure 2 : La répartition internationale des émissions de CO₂

Enfin, la répartition sectorielle dans le monde révèle que les activités fortement émettrices de gaz carbonique sont l'énergie, l'industrie, le transport et le résidentiel. Ces secteurs doivent donc faire l'objet d'études et d'actions prioritaires dans les politiques de lutte contre le changement climatique.

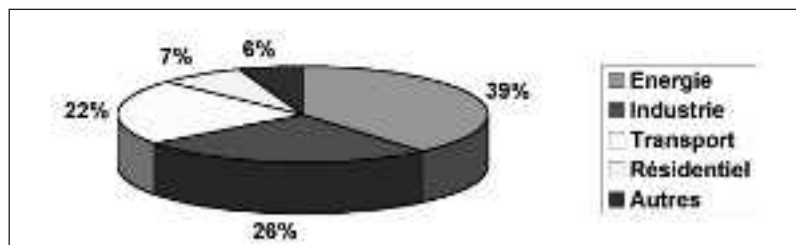


Figure 3 : La répartition sectorielle des émissions de CO₂ dans le monde

L'exemple réussi de la réduction des émissions de SO₂

Avec le cas de la réduction des émissions de SO₂, nous disposons d'un exemple réussi où volonté politique et solution technologique se sont conjuguées avec succès.

Comme le gaz carbonique, le dioxyde de soufre (SO₂) est émis dans l'atmosphère lors de la combustion d'énergies fossiles ou à l'occasion de productions industrielles ou agricoles. Il peut également provenir de sources naturelles, éruptions volcaniques par exemple.

Une fois rejetées dans l'atmosphère, les émissions de dioxyde de soufre ont la particularité de se dissoudre et de retomber sous forme de « pluie acide » avec des impacts nocifs sur la santé, la flore et la faune. A la différence des gaz à effet de serre, plusieurs possibilités d'élimination du SO₂ sont disponibles. En amont, le combustible peut être traité pour diminuer sa teneur en soufre (cas du diesel et du fuel lourd en Europe) ou remplacé par un combustible n'émettant presque pas de SO₂ comme le gaz naturel. En aval, un traitement chimique des gaz de combustion peut éliminer l'essentiel de la pollution.

Le lien entre émissions de SO₂ et combustion d'énergie fossile est illustré par la figure suivante.

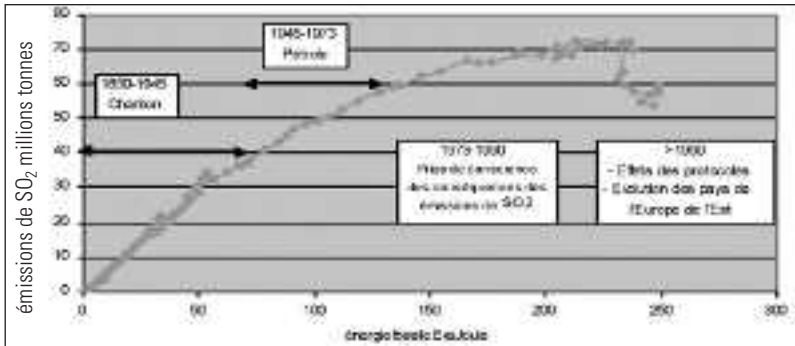


Figure 4 : Corrélation entre les émissions de SO₂ et la consommation de charbon et de pétrole au niveau mondial

Les émissions mondiales de SO_2 atteignaient 10 millions de tonnes en 1900, pour culminer à 70 millions de tonnes de 1970 à 1990. Depuis, en moins de quinze ans, alors que la consommation de pétrole et de charbon a plutôt augmenté, elles ont baissé de 15 millions de tonnes.

Tout d'abord, il y a eu une prise de conscience des dégâts occasionnés par les pluies acides à l'occasion du protocole de Genève en 1984, puis lors de ceux d'Helsinki en 1985, d'Oslo en 1994 et enfin de Göteborg en 1999. Progressivement, des normes de plus en plus restrictives ont été mises en place dans les pays industrialisés, notamment concernant la teneur en SO_2 des fumées des grandes installations de combustion. Au fur et à mesure, on a assisté à un développement de l'usage du gaz naturel dont la combustion ne conduit qu'à des faibles niveaux d'émissions de SO_2 .

Ensuite, la donne a également été en grande partie changée en raison de la croissance de la production électrique nucléaire et au gaz naturel.

Enfin, les évolutions politiques et économiques dans les pays de l'Europe de l'Est, conduisant à l'arrêt d'une partie importante de leurs activités industrielles polluantes, ont eu aussi un effet environnemental favorable – avec une forte réduction des émissions de SO_2 – mais socialement désastreux – avec un nombre important de licenciements.

Cet exemple est partiellement encourageant. Il est désormais établi qu'une diminution significative des impacts environnementaux est possible quand on dispose d'installations de dépollution, de possibilités de substitution et de volonté politique. Mais cela ne doit pas se faire aux dépens de l'activité économique.

Les dilemmes du péril environnemental

Les contributions aux changements environnementaux sont inégales et fortement déséquilibrées, un quart de la population mondiale étant responsable de trois-quarts des émissions.

Lorsque le revenu est faible, le niveau de pollution est faible. La croissance est obtenue au prix d'une augmentation de la pollution. Enfin, au-delà d'un certain niveau de revenu, une partie de la richesse peut être employée à des investissements de dépollution ou à l'utilisation d'autres technologies plus vertueuses sur le plan environnemental.

Ce sont probablement les populations qui émettent le moins de gaz à effet de serre, compte tenu de leur niveau de développement, qui seront les plus atteintes, aussi bien d'un point de vue humain qu'économique.

Les pays en développement sont donc confrontés à un dilemme. Ils peuvent opter pour une accélération de leur développement économique, mais avec le risque d'aggraver les conséquences du changement climatique. L'autre possibilité consiste à ne rien faire en limitant le développement du fait des contraintes environnementales. Cela revient, de fait, à priver les populations d'une amélioration de leurs conditions de vie et à subir, en plus, les conséquences du changement climatique engendré par la pollution d'autres pays.

Dans le même temps, les pays industrialisés sont confrontés à un autre dilemme. Le fait de réduire unilatéralement leurs émissions de gaz à effet de serre revient à prendre le risque de perturber en profondeur leurs économies sans véritable gain environnemental. En effet, il est possible de délocaliser une production industrielle vers un pays en développement au prix de conséquences sociales significa-

tives pour le pays industrialisé, et sans véritable gain d'un point de vue environnemental.

Mais pour autant, ne rien faire, c'est prendre le risque d'une accélération des conséquences du changement climatique, sachant que dans le même temps il sera difficile de contraindre les pays en voie de développement.

Les pays industrialisés comme les pays en voie de développement sont sur la même planète. A un problème global comme le changement climatique, il ne pourra être apporté qu'une réponse globale, acceptable pour tous. Il faut donc rassurer les pays en développement en leur démontrant qu'il n'y a aucune incompatibilité entre les stratégies fondées sur la maîtrise de l'énergie et leur développement économique et industriel à condition que les pays du Nord montrent le chemin. Les pays du Sud doivent être confortés dans leur démarche de développement durable par des systèmes de soutien financier et des transferts de ressources ou de technologies de la part des pays développés. L'action de soutien des pays riches doit viser plus particulièrement la compensation des contraintes qui naissent d'une stratégie de développement vertueux. Ils doivent jouer un rôle direct afin que la limitation des énergies fossiles ne se fasse pas au détriment d'une croissance ralentie pour les pays qui sont sur la voie du développement.

De toute évidence, ce dilemme du péril environnemental ne sera résolu que si le développement durable retrouve sa nature véritable, qui est d'être universelle, altruiste et globale. Cet objectif ne pourra être atteint que par un développement négocié de la coopération internationale.

État des lieux

Pour fixer les ordres de grandeur, il est utile de rappeler, en préalable, le bilan énergétique mondial en termes d'offre et de demande. Les énergies carbonées, responsables des émissions de gaz à effet de serre, constituent 82 % de la production mondiale.

En GTep	Énergies carbonées			Énergies non carbonées	
	Charbon	Pétrole	Gaz naturel	Uranium	Renouvelable
Production 2004	2,73	3,87	2,42	0,73	≈ 1,3
Total 11 GTep	9,02 GTep (81,6 %)			2,03 GTep (18,4 %)	

Les usages ont varié suivant les époques et les innovations technologiques. Ainsi, pour le cas de l'éclairage artificiel, la biomasse (huiles, bougies) a longtemps été la seule source. Le « gaz de ville » produit à partir de charbon et utilisant l'hydrogène comme vecteur énergétique est apparu ensuite. Puis, nos ancêtres ont eu accès aux lampes à pétrole avant d'utiliser l'électricité. Le tableau suivant présente un aperçu général de la situation mondiale actuelle (données 2002).

	Énergies carbonées			Énergies non carbonées		
	Charbon	Pétrole	Gaz	Uranium	Renouvelable	Électricité
Transport	Faible	Moteur à explosion	Faible		Faible Biocarburants	Faible Moteur
Chaleur	Chaudière	Chaudière	Chaudière Turbine		Biomasse Solaire	Résistances
Froid					Envisageable	Compresseur
Industrie	Sidérurgie	Chimie	Chimie		Faible	Moteurs Électrolyse
Éclairage		Faible			Éclairage naturel	Lampes

Le premier usage de l'offre énergétique est la production d'électricité. L'électricité joue en effet un rôle fondamental de « vecteur énergétique » en transportant de l'énergie produite à partir de diverses sources, avant d'être convertie sous des formes multiples comme l'énergie mécanique avec les moteurs électriques ou l'énergie rayonnante avec les lampes.

En GTep	Énergies carbonées			Énergies non carbonées	
	Charbon	Pétrole	Gaz naturel	Uranium	Renouvelable
Production 2004	1,83	0,41	0,76	0,73	≈ 0,26
Total 4 GTep	3,00 GTep (75 %)			0,99 GTep (25%)	

L'électricité est considérée comme une condition nécessaire au développement d'un pays. Entre 1900 et 2000, la France a vu son produit intérieur brut multiplié par 10, sa population multipliée par un facteur 1,5 et sa production électrique par 1 500.

Au niveau mondial, la production électrique augmente en moyenne de 3,8% par an, soit un accroissement annuel supérieur à la production totale de la France, avec un poids prépondérant des énergies carbonées, responsables des émissions de gaz à effet de serre.

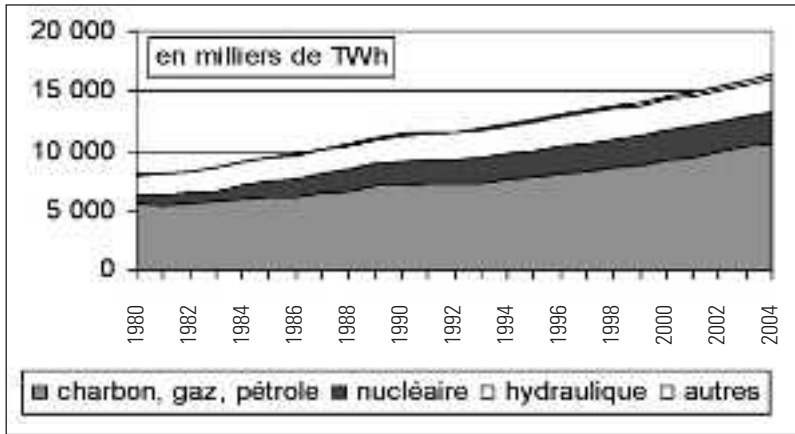


Figure 5 : Évolution de la production électrique au niveau mondial

En clair, il s'agit de concevoir une accélération de l'accès de tous à l'électricité tout en réduisant les émissions de CO₂.

Dans ce chapitre, nous proposons un examen de la situation en distinguant ce qui relève des préjugés, des certitudes ou des illusions.

L'épuisement des ressources fossiles ?

Se croiser les bras en attendant que les émissions de CO₂ cessent par épuisement des énergies fossiles n'est pas acceptable, car cet horizon n'est pas connu avec précision et on risquerait, dans cette hypothèse, d'émettre au moins deux fois plus de CO₂ que depuis le début de la révolution industrielle.

L'expérience montre que la notion de réserve doit être abordée de façon dynamique : des gisements inexploitable ou inconnus peuvent devenir exploitables en fonction des progrès technologiques. De 1860 à 1980, on avait extrait en cumulé 62 GTep de pétrole, alors que la prévision des réserves atteint 103 GTep. Un quart de siècle plus tard, on a extrait, en cumulé, 149 GTep de pétrole, alors que l'estimation des réserves atteint aujourd'hui 160 GTep. De plus, on peut également ajouter à cette estimation le pétrole extra lourd, dont l'exploitation devient rentable à partir d'un certain niveau de prix.

Dans le cas du gaz naturel, les hydrates de méthane représentent des quantités considérables, que l'on ne sait pas exploiter aujourd'hui, mais que l'on peut espérer être en mesure de faire un jour.

En prenant en compte uniquement les réserves dites conventionnelles en pétrole, charbon et gaz naturel, il est possible de simuler une évolution de la production des combustibles fossiles au niveau mondial et donc des émissions potentielles de CO₂.

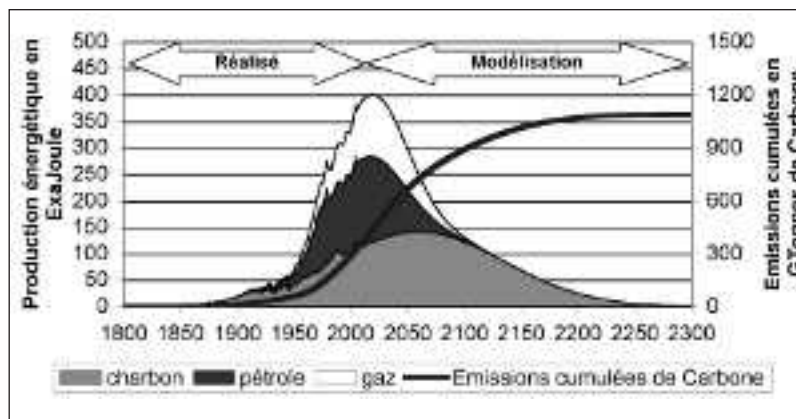


Figure 6 : Simulation de l'évolution de la production de combustibles fossiles et des émissions de CO₂

D'ici 2050, cette stratégie « d'abandon » pourrait conduire à émettre 350 milliards de tonnes de carbone (environ 1 300 milliards de tonnes de CO₂) soit plus que pendant les XIX^e et XX^e siècles réunis. Ce simple constat rend illusoire de compter sur le facteur temps et impose donc d'agir rapidement.

La séquestration du CO₂ : un rêve technologique ?

Le CO₂ étant l'ennemi, ne le laissons pas s'échapper dans l'atmosphère : piégeons-le à la sortie des installations de combustion. Cette solution idéale permettrait d'éviter le réchauffement sans rien changer à nos habitudes et à nos comportements. C'est d'ailleurs la solution préférée des États-Unis.

Trois techniques le permettent : extraire le CO₂ des gaz de combustion par voie physique ou chimique, transformer avant combustion (par action de la vapeur d'eau et de l'air) le combustible en mélange dont on extrait le CO₂ et enfin extraire l'oxygène de l'air pour brûler le combustible et générer ainsi des fumées contenant essentiellement du CO₂ et de l'eau.

Ces processus induisent une surconsommation énergétique et donc un coût supplémentaire, mal connu. Pour envisager une industrialisation, il faudra progresser dans l'évaluation.

La capture du CO₂ ne peut être utilisée que pour des installations fixes fortement émettrices de CO₂ comme les raffineries, les cimenteries, les aciéries et les centrales électriques. Ces infrastructures lourdes sont responsables d'un peu plus de la moitié des émissions mondiales de CO₂ dans le monde. Reste donc l'autre moitié, en particulier les habitations et les échappements des véhicules automobiles, pour lesquels il n'est pas envisageable aujourd'hui de piéger les émissions de CO₂.

Mais réussir à piéger économiquement le CO₂ ne suffit pas. Il faut, en outre, trouver une solution de stockage définitive. La solution la plus

souvent évoquée est l'injection dans les puits de pétrole ou les gisements de gaz. Cette technique est déjà utilisée pour améliorer la récupération des hydrocarbures.

On pense aussi aux couches profondes des océans ou aux couches de charbon inexploitable. Un stockage dans les aquifères salins profonds, bien répartis dans le monde éviterait le transport du CO₂ sur de longues distances.

Enfin des solutions illusoire ont été avancées comme l'injection dans les océans, avec le risque d'aggraver la situation en cas de variation significative de la température.

Les capacités de stockage estimées varient de 700 à 1 000 Gtonnes pour les gisements d'hydrocarbures, 15 à 200 Gtonnes pour les couches de charbon, 100 à 10 000 Gtonnes pour les aquifères salins. Rappelons que nous émettons annuellement 25 Gtonnes de CO₂ et que les émissions cumulées jusqu'en 2050 pourraient atteindre 1 400 Gtonnes si rien n'est fait pour inverser la tendance actuelle. Sous réserve d'un inventaire plus précis, les capacités de stockage potentiel existent et devraient être suffisantes pour envisager de stocker plusieurs centaines de Gtonnes, à condition de commencer rapidement.

Le transport du CO₂ ne présente pas de difficultés techniques particulières compte tenu de l'expérience acquise pour le transport du gaz naturel soit par canalisation, soit par bateau. Comme pour le gaz naturel, le coût de transport croît significativement avec la distance à parcourir. Au-delà d'une certaine distance ou en cas de difficultés d'implantation d'une canalisation, la solution par voie maritime s'impose, nécessitant toutefois l'édification d'installations le long de la façade maritime.

La mise en œuvre du stockage géologique implique de bâtir un cadre institutionnel au niveau international. Il faut donc définir des critères de sûreté, élaborer une méthode d'analyse de sécurité environnementale et édicter des procédures d'autorisation et de contrôle. Enfin, comme dans toutes les solutions, ces stratégies devront être acceptées par les populations.

La séquestration du CO₂ est un espoir qui mérite considération : son étude exige d'être retenue comme thème prioritaire de recherche et développement.

La réduction de la demande ?

La solution la plus simple et dans bien des cas la moins onéreuse pour réduire les émissions de CO₂, et donc réduire l'effet de serre, consiste tout simplement à diminuer la consommation d'énergies fossiles. Des progrès en ce sens ont été faits après les chocs pétroliers de 1973 et 1979, mais beaucoup reste à faire, tant les résistances sont grandes et diverses.

Un indicateur pertinent en la matière est l'intensité énergétique des pays, c'est-à-dire le rapport entre croissance économique (mesurée en termes de PIB) et accroissement de la consommation énergétique. Cet indicateur baisse régulièrement dans la plupart des pays industrialisés, témoignant des efforts effectués de la part des États pour utiliser l'énergie de manière plus rationnelle sans affecter pour autant la croissance.

De plus, il subsiste beaucoup de difficultés à mesurer de façon quantitative l'énergie non consommée et les progrès effectués en matière d'économies d'énergie. Il est donc délicat de juger de la pertinence des dispositifs mis en œuvre pour le moment. Ces difficultés proviennent principalement des évolutions des prix des combustibles fossiles, mais aussi de la nature trop conjoncturelle des politiques énergétiques. Or, une politique de réduction de la demande énergétique n'est efficace que dans la durée.

Une analyse exhaustive des politiques menées depuis trente ans par les pays industrialisés nous amènerait trop loin car il faudrait prendre en compte les différences de modes de vie des habitants, d'évolution des secteurs industriels, des mesures politiques adoptées. On se limitera donc au cas de la France, pays quasiment dénué de

ressources énergétiques fossiles (comme le sera la planète terre, un jour), mais dont la consommation énergétique continue à augmenter inéluctablement. Il existe, toutefois, des signes encourageants, comme le relatif ralentissement de la demande énergétique par habitant. En effet, tandis qu'entre 1950 et 1970, la demande énergétique par habitant avait triplé, elle n'a augmenté que de 60 % de 1970 à 2000.

Les transports

Les transports constituent le défi majeur. C'est le secteur économique dont la croissance est la plus forte et ils dépendent pour plus de 90 % du pétrole. En France, ils consomment annuellement 50 Mtonnes de pétrole, soit 1 600 fois le tonnage de l'Erika et 220 fois celui de l'Amoco Cadiz. La dépendance vis-à-vis du pétrole semble durable, car les révolutions technologiques espérées parfois annoncées, par exemple la voiture électrique ou la filière de l'hydrogène, ne semblent pas proches. Maîtriser la demande de produits pétroliers implique donc une action vigoureuse à la fois sur l'offre et la demande.

A moyen terme, une contribution utile pourra venir des véhicules hybrides, qui associent un moteur classique et un moteur électrique alimenté par batterie. A plus long terme, l'espoir repose sur le couple hydrogène-pile à combustible, dont l'avènement est pour l'instant très incertain.

Il serait irresponsable de laisser les citoyens et les décideurs croire que chercheurs et ingénieurs leur apporteront une solution satisfaisante dans les délais imposés. Les émissions de CO₂ dues au transport s'accroissent beaucoup plus vite que ne progresse la technique. Concluons-en qu'il faut concevoir des politiques publiques à même de réduire la demande, c'est-à-dire non seulement d'agir sur les caractéristiques des véhicules, mais aussi sur leur nombre et le kilométrage parcouru. Autrement dit, proposer des alternatives au transport individuel.

Il ne faudrait pas croire non plus qu'un déclin du pétrole entraînerait la fin du moteur à explosion : le charbon peut être converti en carburant liquide. Cette conversion a été utilisée par l'Allemagne à la

fin de la Seconde Guerre mondiale. Le coût de la conversion a jusqu'ici constitué un obstacle dirimant. Elle peut devenir rentable, avec une poursuite de l'augmentation du coût du pétrole, à condition de disposer de charbon à faible coût.

En France, le nombre de voitures particulières est passé de 5 millions en 1960 à 30 millions en 2005. Malgré une baisse significative de la consommation unitaire des moteurs équipant les véhicules neufs, la consommation totale a fortement augmenté. Ainsi la voiture particulière est-elle à l'origine de plus de 60 % des émissions de gaz à effet de serre du secteur des transports. L'amélioration technique n'est pas la panacée, lorsque simultanément la puissance de véhicules et le kilométrage parcouru augmentent. Par conséquent, les émissions ne diminuent pas.

La principale carence est l'absence d'organisation rationnelle du transport (personnes et marchandises) à l'échelle nationale et européenne. S'il faut évidemment respecter la liberté de déplacement de nos concitoyens et le jeu du libre développement économique, il faut admettre cependant que, sans réponses concrètes, gaspillages d'énergie, émissions de gaz à effet de serre et pollutions entraîneront infailliblement la perte de ces libertés.

Le transport de marchandises par la route a aussi connu une expansion sensible à l'échelle européenne et nationale. L'essentiel en est dû à quatre secteurs (agroalimentaire, produits manufacturés, matériaux de construction, déchets ménagers et industriels) dont aucun ne semble prêt à évoluer. Pour limiter l'impact sur l'environnement, il faut en venir à découpler PIB et transport et développer, au niveau européen, des réseaux de substitution.

Le transport aérien a connu, en une trentaine d'années, un développement spectaculaire. Il se différencie des autres modes par l'absence, au niveau international, de taxes sur le carburant et de contraintes dans les protocoles de réduction des pollutions (il est ignoré par les protocoles de Kyoto, pour les gaz à effet de serre, et de Göteborg, pour les oxydes d'azote). Sans doute, la raison principale en est que, s'étant

très tôt structuré au niveau mondial, il s'est doté d'une capacité de lobbying des plus efficaces. Au niveau européen, la libéralisation du secteur, achevée dès 1997, a accéléré le développement du trafic, notamment par la possibilité pour une compagnie européenne d'effectuer des liaisons domestiques dans tout pays de l'Union. Le trafic a ainsi inéluctablement augmenté pour les compagnies traditionnelles comme pour les compagnies « low-cost » (de plus en plus subventionnées indirectement par les collectivités locales). Bien que la consommation unitaire moyenne des avions ait significativement baissé, cet essor a provoqué, en vingt ans, un triplement de la consommation globale.

Sans une action déterminée au niveau international, il est difficile d'envisager une réduction notable de la consommation du secteur aérien, où des progrès technologiques de réduction des consommations unitaires seront de plus en plus difficiles à obtenir.

Le résidentiel et le tertiaire

Il est possible de diminuer significativement la demande énergétique du secteur résidentiel, la technologie étant disponible, à condition d'agir en profondeur sur le parc de logements existants.

La demande énergétique du secteur de l'habitat touche les citoyens de très près. Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, le parc de logements s'est fortement développé à la fois pour répondre à la croissance démographique mais aussi pour s'adapter aux évolutions de la société en termes de mode de vie. La demande en énergie concerne principalement la fourniture de chaleur (64 %), de froid (10 %), d'éclairage (10 %) et d'autres appareils (16 %). Depuis trente ans environ, le secteur de l'habitat a connu divers bouleversements, qui ont eu beaucoup d'impact sur les énergies utilisées.

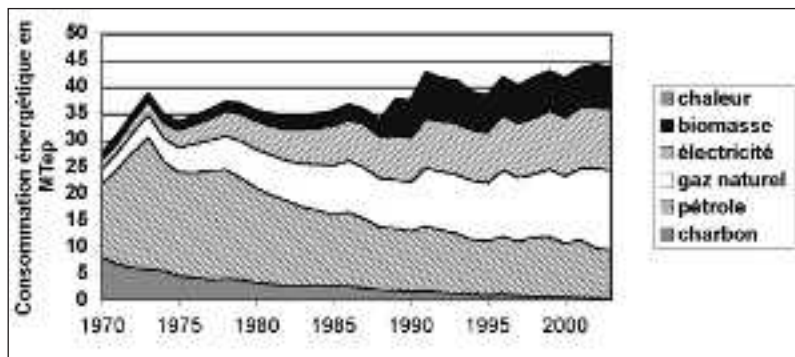


Figure 7 : Évolution de la consommation énergétique du secteur résidentiel (1970-2002)

L'usage du charbon comme mode de chauffage des logements a pratiquement disparu. L'utilisation des dérivés du pétrole a également connu une baisse importante. Au contraire, il apparaît une forte augmentation de la consommation d'électricité à partir de la fin des années 70 due à la promotion du chauffage électrique. On enregistre aussi une forte croissance de la consommation de gaz naturel depuis les années 80, du fait du développement du réseau de gaz naturel et du chauffage au gaz. Il est à noter qu'en dehors de l'électricité, la plupart des autres sources d'énergie servent aujourd'hui quasiment exclusivement à la production de chaleur.

Les besoins en confort ont fortement augmenté et sont encore en perpétuelle augmentation, correspondant à des aspirations légitimes de bien-être de la part de nos concitoyens. Ainsi, entre 1960 et 2000, la proportion de logements équipés de chauffage et d'une douche ou baignoire est passée respectivement de 20% à plus de 90%. De même, la surface moyenne de l'habitat est en constante augmentation, tandis que le nombre moyen d'occupants par logement baisse. Ainsi, entre 1973 et 2002, la surface moyenne a augmenté de 72 à 90 m² pendant que le nombre d'occupants baissait de 2,9 à 2,4 personnes.

Ces évolutions font naître des besoins nouveaux en énergie qui se rajoutent à la demande énergétique existante.

Cette explosion de la demande en énergie pour le secteur résidentiel n'est pourtant pas une fatalité (cf. chapitre IV).

Etant donné le poids croissant du secteur tertiaire dans l'activité économique, la consommation énergétique de ce secteur est un enjeu très important. L'analyse de ce secteur est difficile à effectuer car il regroupe des activités très diversifiées, des domaines publics et privés. La consommation énergétique du secteur tertiaire représente environ 15% de la consommation énergétique totale de la France.

La fourniture en énergie des services publics (hôpitaux, centres sportifs et culturels, lieux d'action sociale, équipements collectifs) revêt une importance considérable.

De même, les bureaux des entreprises, les commerces, les hôtels et les restaurants exigent une forte demande en énergie.

La consommation électrique a beaucoup augmenté depuis trente ans du fait de l'informatisation du secteur tertiaire et du développement des besoins en froid. En effet, depuis quelques temps, un nouvel usage du froid se développe fortement avec la climatisation des locaux. D'abord réservé à des locaux spécifiques comme les salles des ordinateurs, l'usage de la climatisation s'est développé dans les bureaux et les commerces puis, depuis quelques années, dans le secteur de l'habitat. Pour des pays comme le Japon ou les États-Unis, le développement de la climatisation est nettement plus ancien compte tenu des conditions météorologiques. D'ailleurs, en cas d'augmentation substantielle de la température, les besoins en climatisation vont fortement augmenter y compris pour des pays pour lesquels la climatisation est quasiment négligeable. Comme pour la chaleur, la réduction de la demande en froid nécessite donc un renforcement des normes d'isolation et de construction.

Environ 60% des bâtiments du secteur tertiaire a été construit avant 1980. Mais pour certaines activités comme l'enseignement et la recherche, le parc immobilier est nettement plus ancien avec près de

75% du parc construit avant 1980. Pour les bureaux, le pourcentage est de 50% seulement. La construction de l'immobilier tertiaire présente donc une dynamique différente de celle du secteur résidentiel avec des variations rapides et une répartition géographique plus ou moins concentrée suivant les activités.

Le parc immobilier du secteur tertiaire évolue ainsi à un rythme plus rapide que le parc immobilier résidentiel, mais avec des disparités importantes.

Une partie significative du parc relève de l'État, des entités publiques ou des collectivités locales qui, dans l'ensemble, s'avèrent des gestionnaires conservateurs plutôt dépourvus de moyens financiers. En la matière, on peut s'étonner que l'État donne le mauvais exemple et méprise ses règlements (comme la nouvelle Réglementation Thermique 2005 qui vise une diminution de 40% de la consommation énergétique d'ici 2020).

Des gains substantiels sont donc possibles dans le secteur tertiaire, en particulier dans le secteur public. Mais au-delà de l'élaboration en 1999-2000 de Schémas de Services Collectifs de l'Énergie, on peut s'interroger sur l'ampleur des efforts de l'État et dans une moindre mesure des collectivités locales pour maîtriser la demande énergétique des bâtiments relevant de leurs responsabilités.

L'industrie

Des progrès substantiels ont été réalisés dans le secteur industriel et on constate une quasi stabilisation de sa consommation énergétique malgré une production industrielle globalement en hausse. Plusieurs raisons à cela : le secteur industriel réagit beaucoup plus rapidement à une augmentation des prix de l'énergie en investissant dans des dispositifs permettant de réduire la demande énergétique et donc le coût ; chaque industriel doit sauvegarder sa compétitivité au sein de son secteur ; pour certains secteurs comme la sidérurgie, l'aluminium, le verre ou le papier, le développement du recyclage a conduit à une baisse de la consommation énergétique.

Ainsi, dans l'industrie de l'aluminium, il fallait 50 MWh pour produire une tonne d'aluminium en 1900, à peine 10-15 MWh en 2000 et seulement 1 MWh en cas de recyclage de l'aluminium.

Même si des progrès sont encore possibles dans l'industrie pour réduire la demande énergétique, on ne peut aller au-delà des limites physiques. Par contre, le développement du recyclage constitue un moyen encore très efficace dans certains secteurs.

L'électricité

Réduire la demande électrique permet de réduire les émissions de CO₂ à des niveaux variables suivant les installations utilisées pour produire l'électricité. Même si des énergies non carbonées sont utilisées, la réduction de la demande électrique permet de diminuer le montant des investissements ainsi que les impacts environnementaux liés à la production de déchets nucléaires ou au développement de barrages par exemple.

Reprenons l'exemple de l'éclairage pour illustrer le poids des actions individuelles visant à réduire la demande électrique. La diffusion des lampes basse consommation a déjà permis une baisse notable de la dépense électrique pour les besoins d'éclairage. Actuellement, ces besoins représentent une consommation totale de 9 TWh contre 11 TWh auparavant. En remplaçant la moitié des lampes des résidences principales, la demande électrique devrait baisser de 5 TWh (soit environ cinq fois la consommation annuelle de l'agglomération de Grenoble).

Dans le cas de la production de froid, la consommation électrique annuelle d'un réfrigérateur standard est de 400 kWh contre 120 kWh pour les plus performants. Sachant qu'il y a 25 millions de réfrigérateurs en France, la réduction potentielle pourrait atteindre 7 TWh.

L'électricité étant un vecteur énergétique, il faut s'intéresser aux possibilités de réduire la demande énergétique pour produire un kWh. Un kWh représente une énergie de 3,6 million de Joules (MJ). Au début du siècle précédent, il fallait 60 MJ pour produire un kWh contre

6,2 actuellement avec les centrales à gaz à cycle combiné. Même si des progrès peuvent être encore faits, ils seront modestes.

Une piste intéressante est la production simultanée d'électricité et de chaleur (la cogénération). Elle permet d'atteindre des rendements d'au moins 80%. En contrepartie, des limites à l'utilisation de cette production existent car il faut gérer deux produits non stockables : l'électricité et la chaleur. La cogénération ne peut donc être utilisée que lorsque des besoins simultanés en chaleur et en électricité existent, ce qui limite son développement à certains usages industriels ou à l'existence d'un réseau de chauffage urbain.

Les énergies non émettrices de CO₂ ?

Les énergies non émettrices de CO₂ – énergies renouvelables, énergie nucléaire – répondent à 25% des besoins énergétiques mondiaux, soit environ 2 GTep contre 9 GTep pour les combustibles fossiles. Les énergies non émettrices de CO₂ ont été multipliées par six depuis 1 800 et les possibilités de développement sont telles qu'il est possible d'envisager un doublement dans les prochaines décennies.

L'avenir prometteur des énergies renouvelables

Les énergies renouvelables étaient jusqu'au milieu du XVIII^e siècle la seule source d'énergie de l'homme : la biomasse avec le bois ou le charbon de bois, l'énergie hydraulique avec les moulins à eau, l'énergie éolienne avec les moulins à vent ou les bateaux. Pour sa part, l'homme convertissait l'énergie chimique des aliments en énergie mécanique avec un rendement plutôt faible.

Le caractère renouvelable ne doit pas masquer les inconvénients qui entravaient alors fortement le développement de la société : déforestation liée aux besoins de bois pour la chaleur et la construction, faiblesse des échanges, dépendance par rapport aux conditions climatiques, besoins importants en main-d'œuvre.

L'irruption du charbon, du pétrole, du gaz naturel et de l'uranium a surtout limité les énergies renouvelables à la valorisation de l'énergie hydraulique pour la production d'électricité et à la biomasse pour les besoins en chaleur.

Un peu plus de deux cents ans plus tard, les énergies renouvelables reviennent sur le devant de la scène, portées par le souci de limiter l'usage des combustibles fossiles et aussi par d'importants progrès technologiques réalisés ou espérés pour leur valorisation. Le potentiel théorique des énergies renouvelables est très nettement supérieur aux besoins actuels ou futurs mais les contraintes économiques et techniques introduisent une limite variable suivant les pays (niveau économique, possibilités géographiques). Les pays industrialisés ont la responsabilité de les développer intensivement afin d'en faire bénéficier les pays en voie de développement.

L'énergie solaire thermique et photovoltaïque

A l'exception de l'énergie marémotrice et de la géothermie, toutes les énergies renouvelables (biomasse, hydraulique, éolien...) proviennent de l'énergie solaire.

Pourtant, son utilisation directe reste limitée alors qu'il est possible de l'utiliser :

- pour la production de chaleur et de froid : conception des bâtiments, utilisation de capteurs, essentiellement pour la production d'eau chaude sanitaire, mais aussi pour la production de froid, pompes à chaleur (incluant la géothermie à faible profondeur) ;
- pour la production électrique par conversion directe (effet photovoltaïque) ou indirect (production de chaleur puis d'électricité) ;
- pour l'éclairage : puits de lumière, conception des bâtiments pour éviter les pièces sans éclairage naturel.

Pour la chaleur, les conditions de production vont dépendre de l'ensoleillement, de la surface couverte, et pour les capteurs, de l'orientation : 400 kWh/an/m² en Allemagne à 1 000 kWh/an/m² en Israël. Au

niveau mondial, les capteurs installés représentent une surface d'environ 9 km², soit une production de chaleur de l'ordre de 45 Mtep.

Enfin, mentionnons la production d'électricité à partir de la chaleur du soleil, La capacité de production d'électricité à partir du solaire thermique est de 364 MWe, la principale installation, 330 MWe, étant située en Californie.

Ce procédé qui avait été expérimenté en France entre 1977 et 1986 (installation Themis d'une puissance de 2,5 MW) mais dont le développement se heurte à des problèmes économiques et techniques très importants.

En France, le solaire thermique n'est donc pas encore vraiment exploité malgré des conditions climatiques adaptées dans beaucoup de régions : sa production ne représente que 0,3 Mtep. La surface des capteurs était seulement de 84 hectares en 2004 contre 1 536 hectares pour l'Union européenne.

Pour la production d'électricité, l'énergie photovoltaïque est surtout utilisée pour répondre aux besoins de sites isolés. Son développement est actuellement limité par trois facteurs : technique avec des rendements de conversion encore faibles, pratique avec le caractère diurne de la production nécessitant de prévoir des dispositifs de stockage de l'énergie électrique et enfin économique avec un coût encore très élevé. Au niveau mondial, la puissance photovoltaïque atteint 2,5 GW ; elle est implantée principalement aux États-Unis, au Japon et en Allemagne.

Le développement de la production photovoltaïque reste conditionné à l'obtention d'une rupture technologique significative au niveau du capteur.

La biomasse et les biocarburants

La biomasse est une forme de stockage de l'énergie solaire, qui a été quasiment la seule source accessible et contrôlable jusqu'à la révolution industrielle du XIX^e siècle. Les deux formes les plus utilisées étaient le bois et, pour les usages « industriels », le charbon de bois. Actuel-

lement, plusieurs formes de biomasse sont utilisées pour répondre à des besoins énergétiques.

Tout d'abord, le bois et le charbon de bois (ce que l'on désigne comme la biomasse ligneuse) à des fins de chaleur et de production électrique. La forêt française représente une surface de 15 millions d'hectares en constante augmentation depuis le milieu du XIX^e siècle. L'accroissement biologique annuel de la biomasse ligneuse est estimé à 108 millions de m³, dont environ 40% sont utilisés pour la production de chaleur et d'électricité. Par ailleurs, près d'un quart de ce potentiel naturel sert actuellement pour le bois d'œuvre (notamment charpentes et meubles).

L'utilisation du bois pour la production de chaleur a eu un regain d'intérêt après les chocs pétroliers de 1973 et de 1979. Cependant, le potentiel de la biomasse peut encore être mis en valeur aujourd'hui. Compte tenu de ce potentiel, qui n'est pas encore complètement exploité, un accroissement de l'utilisation de la biomasse ligneuse de 30% est possible en France. Cela ne sera possible que grâce à une valorisation locale de la production de bois.

Il existe par ailleurs aujourd'hui d'autres sources relativement nouvelles d'énergie produites à partir de la biomasse. Il s'agit notamment du biogaz, utilisé afin d'obtenir non seulement de la chaleur, mais aussi de l'électricité et de l'énergie mécanique. Le biogaz, comme le méthane, provient de la décomposition de déchets organiques. Son utilisation présente un double intérêt, énergétique et environnemental. En France, la production d'électricité à partir du biogaz s'est fortement développée depuis quelques années compte tenu des conditions avantageuses de rachat de la production. Il est toutefois difficile d'estimer précisément le potentiel de biogaz susceptible d'être valorisé.

L'énergie mécanique peut également être produite en utilisant de nouvelles formes de bio-carburants obtenus à partir de végétaux, qui poussent naturellement ou qui sont cultivés spécialement à cette fin. Plusieurs types de végétaux peuvent être utilisés : les oléagineux, les plantes contenant des sucres ou des amidons, les déchets végétaux d'une autre activité.

Les plantes sont majoritairement composées de celluloses et d'hémicelluloses que l'on ne sait pas transformer. On cherche des procédés pour transformer ces composantes infermentescibles en amidon et sucre, sans succès pour l'instant. Cela doit constituer un thème prioritaire de recherche.

Pour le moment, les biocarburants ne constituent donc que des additifs aux carburants classiques, gazole ou essence. Ils ne permettent pas encore de s'affranchir du recours au pétrole. Cependant, on peut très bien imaginer que les constructeurs automobiles proposent, comme c'est déjà le cas au Brésil, des véhicules fonctionnant uniquement avec des biocarburants.

Il faut s'interroger enfin sur le bilan énergétique de l'usage des biocarburants. En effet, la culture des plantes utilisées pour la production de biocarburants implique une dépense énergétique notable pour le labourage et la récolte, ainsi que pour la fabrication des engrais et des pesticides. Les processus de transformation réclament eux aussi de l'énergie. Ce point a fait l'objet d'une étude réalisée en 2002 par Ecobilan mandatée par l'ADEME et le ministère de l'Industrie (DIDEME).

Les conclusions apparaissent nettement : remplacer les hydrocarbures par des biocarburants, sauf ceux issus du blé, demanderait de mobiliser une superficie de terres arables supérieure à celle disponible dans notre pays. En revanche, une utilisation limitée des biocarburants permet probablement de les utiliser en totalité.

D'autres pays possèdent des superficies plus importantes mais il ne faudrait pas engendrer, pour autant, des dommages environnementaux, comme une déforestation accrue.

L'énergie hydraulique

La production d'électricité d'origine hydraulique a commencé dans les années 1880. Elle n'a été possible que grâce au développement du transport de l'électricité sur des distances de l'ordre de quelques dizaines de kilomètres. Le graphique ci-dessous représente l'évolution de la production hydraulique depuis 1890.

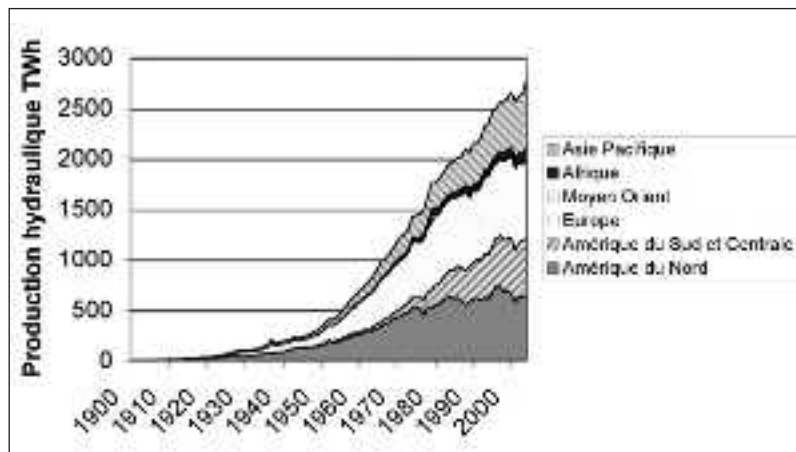


Figure 8 : Évolution historique de la production d'électricité d'origine hydraulique (1880-2004)

Quelle que soit la structure de sa production (barrage, centrale de haute ou de moyenne chute, fil de l'eau), l'énergie hydraulique est une énergie renouvelable, qui ne provoque pratiquement pas de rejet de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

La production d'électricité d'origine hydraulique présente des avantages certains pour la sécurité du système électrique permettant aux barrages de mobiliser très rapidement de la puissance. La technologie de pompage différentiel entre un réservoir inférieur et un réservoir supérieur permet de stocker efficacement de l'énergie électrique rapidement disponible sans consommer d'eau, ce qui est un élément important pour les pays ayant des besoins significatifs pour l'irrigation.

Malgré cela, on constate un ralentissement de la croissance de la production depuis 1990, du fait des difficultés à construire de nouveaux barrages. Ces difficultés proviennent des coûts d'investissement particulièrement élevés et des questions d'acceptation sociale et environnementale. Le déclin de l'hydraulique est également lié aux baisses

répétées des ressources en eau dans plusieurs pays et au comblement progressif de certains réservoirs par des sédiments ou des rochers. Plus généralement, l'eau devient l'objet d'une concurrence de plus en plus accrue pour son usage, notamment entre les besoins pour l'irrigation et pour la production d'électricité. Le potentiel de croissance de l'énergie hydraulique reste cependant très conséquent, surtout en Amérique du Sud, en Afrique et en Asie.

L'éolien

L'énergie éolienne a été la principale source d'énergie mécanique jusqu'au milieu du XIX^e siècle, notamment pour les bateaux et pour les moulins. Elle a ensuite quasiment disparu jusqu'au début des années 70. Depuis, l'énergie éolienne utilisée pour la production électrique a été l'objet d'un spectaculaire développement, d'abord aux États-Unis après les chocs pétroliers de 1973 et 1979, puis en Europe à partir du milieu des années 90 (principalement en Allemagne, en Espagne et au Danemark). Aujourd'hui, la production électrique éolienne varie fortement d'un pays à l'autre en fonction des conditions climatiques, de l'implantation et des caractéristiques des éoliennes.

Dès que la vitesse moyenne du vent dépasse 6-7 mètres/seconde, l'implantation d'éoliennes peut être envisagée, sur terre (« on shore »), mais aussi sur mer (« off shore ») où les conditions de vents sont plus favorables même si se pose immédiatement le problème du transport de l'électricité et donc du coût de l'opération.

En Europe, le Royaume-Uni, l'Irlande et la France disposent de potentiels « on shore » et « off shore » particulièrement intéressants.

On estime à environ 50 000 TWh le potentiel mondial de l'éolien. Bien sûr, il convient de tenir compte des différentes contraintes techniques, comme l'implantation et le raccordement au réseau électrique, la sécurité du réseau, les aléas de la production en fonction des variations météorologiques. Certains pays qui ont implanté des puissances éoliennes significatives (Allemagne ou Espagne) sont obligés de maintenir en veille des équipements de production électrique utilisant des

combustibles fossiles (et donc émettant du CO₂) pour pallier les variations de la production éolienne.

Si l'on se place dans une logique de réduction des émissions de CO₂, le recours à l'éolien est très intéressant dans un pays comme le Danemark, qui produisait son électricité à partir du charbon. Il l'est moins en France où la production éolienne se substituerait majoritairement à la production nucléaire qui n'émet pas de gaz à effet de serre.

La production de l'énergie éolienne nécessitant la mise en place de mesures de soutien par les États, il ne faut pas exclure qu'un changement de politique énergétique ou qu'une contestation croissante d'une implantation d'éolienne puisse conduire à un arrêt brutal du développement de cette énergie.

L'énergie nucléaire

L'énergie nucléaire s'est développée très rapidement depuis la découverte de la fission en 1938 et le premier réacteur nucléaire en 1942 réalisé par Enrico Fermi. C'est aussi la source d'énergie sur laquelle se sont cristallisés le plus d'enthousiasmes, mais également le plus de craintes.

La fission nucléaire produit de la chaleur transformable en électricité, des rayonnements, des déchets plus ou moins radioactifs et des matières radioactives potentiellement valorisables. L'énergie nucléaire ne provoque que des émissions faibles de CO₂, les opérations industrielles pouvant majoritairement être effectuées avec de l'électricité. L'énergie nucléaire est aujourd'hui une réalité. En 2005, en France, la puissance nucléaire installée correspond à 15% de la production d'électricité. Au niveau mondial, la production électrique est responsable de l'émission de 8 milliards de tonnes de CO₂ par an, tandis que le parc nucléaire actuel permet d'éviter l'émission de 1 à 2 milliards de tonnes de CO₂ dans une année. Les pays qui se sont dotés d'un parc nucléaire important sont, dans les faits, ceux qui affichent les meilleurs résultats en matière de limitation des émissions de gaz à effet de serre.

Après la phase d'euphorie des années 60-70 suivie de la phase de recul des années 80-90, l'énergie nucléaire connaît depuis quelques années un regain d'intérêt dans un nombre croissant de pays. C'est en effet le seul moyen actuellement disponible pour produire de façon fiable de l'électricité sans émission de CO₂ avec un coût de production déconnecté de l'évolution des prix des commodités fossiles. L'uranium n'intervenant que pour 5% dans le coût du kWh, une variation de son prix n'affecte donc que faiblement le coût de l'électricité. Pouvant être stocké facilement, l'uranium donne à l'énergie nucléaire un avantage certain contre les aléas d'approvisionnement.

Face à ces avantages indéniables, il faut toutefois éviter de retomber dans l'état euphorique des années 70 car une relance massive du nucléaire nécessite de lever au préalable quelques interrogations.

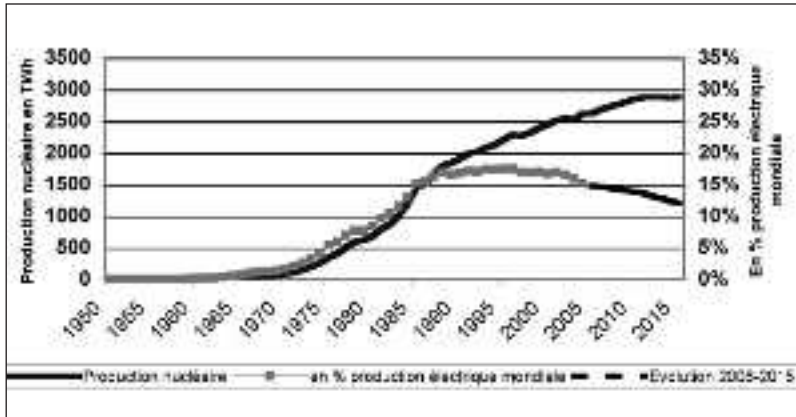


Figure 9 : Évolution de la production électrique d'origine nucléaire au niveau mondial

Trois événements ont influé de façon majeure sur le développement de l'énergie nucléaire au niveau mondial. Tout d'abord, l'accident nucléaire de Three Mile Island aux États-Unis a engendré en 1979 un arrêt du développement du nucléaire dans ce pays. En 1986, c'est

l'accident majeur de Tchernobyl en Ukraine qui a conduit plusieurs pays à arrêter le développement du nucléaire, voire à le stopper (comme en Autriche ou en Italie). De plus, la décennie 1990, avec la libéralisation des marchés électriques, a considérablement modifié les conditions de réalisation de nouveaux investissements.

Les autres questions à prendre en compte sont enfin la prolifération nucléaire et le devenir des déchets nucléaires.

En France, l'expérience de fonctionnement du nucléaire est bonne et l'accumulation des connaissances est précieuse. L'argument de la faible rigueur d'exploitation, effective au sein de la centrale soviétique de Tchernobyl, ne rend pas compte de la réalité technologique des centrales françaises. Tchernobyl confirme cependant un diagnostic connu : le nucléaire exige des pays utilisateurs une maîtrise technologique rigoureuse et une vraie culture de sûreté.

Concernant la prolifération nucléaire, le problème réside dans la perméabilité des frontières, entre les applications civiles et les applications militaires. Les risques engendrés par les conséquences d'un accident nucléaire ou par les dangers potentiels de la prolifération ont conduit très tôt la plupart des pays à se doter, soit au niveau local, soit au niveau international, des outils légaux pour en limiter les conséquences. Citons la création de l'AIEA en 1957, le traité de non prolifération en 1969, le traité d'interdiction complète des essais nucléaires en 1996, ce dernier n'étant toujours pas entré en vigueur du fait que dix États sur quarante-quatre ne l'ont pas encore ratifié (la Chine, la Colombie, la Corée du Nord, l'Égypte, l'Inde, l'Indonésie, l'Iran, Israël, le Pakistan et les États-Unis). La crise actuelle entre l'AIEA et l'Iran montre qu'il est souvent difficile d'empêcher un pays de développer un armement nucléaire s'il en a la volonté.

Concernant les déchets nucléaires, il convient d'abord d'éviter certaines confusions. Le combustible irradié n'est pas un déchet puisqu'il contient des produits utilisables, notamment de l'uranium résiduel et du plutonium. Les déchets les plus problématiques sont les produits des fissions (les corps résultant de la cassure en deux des

noyaux d'uranium) et les transuraniens en dehors du plutonium (corps formés par absorption de neutrons, dont la masse atomique est supérieure à celle de l'uranium). Dans un réacteur, les neutrons en surnombre interagissent avec les matériaux de structure et avec des corps absorbants disposés pour contrôler la réaction en chaîne et éviter qu'elle ne s'emballe (dans une arme nucléaire, on recherche au contraire un emballement maximum). Du fait de leur radioactivité, ces déchets doivent être soigneusement confinés.

Les transuraniens sont très gênants car leur durée de vie se compte en dizaines de milliers d'années. Cependant, des solutions existent car ils peuvent être « brûlés » dans des réacteurs nucléaires. Bien entendu les séparations chimiques ne sont jamais complètes et il restera des traces résiduelles de transuraniens, mais en quantité très réduite. Quant aux produits de fission, à l'exception de cinq d'entre eux, ils ont pour la plupart des vies beaucoup plus courtes.

Comme pour le CO₂, la question des déchets nucléaires n'avait pas vraiment été prise en compte au démarrage de l'exploitation de l'énergie nucléaire. L'immersion dans les océans de déchets faiblement radioactifs a été pratiquée par la plupart des puissances nucléaires jusque dans les années 80. Après l'accident de Tchernobyl, la plupart des pays ont revu leur politique, notamment pour les déchets de haute activité à vie longue. Pour les autres catégories de déchets nucléaires, des solutions satisfaisantes ont été mises en œuvre.

En France, Michel Rocard, lorsqu'il était Premier ministre, a imposé un moratoire sur la recherche d'un site de stockage définitif en 1990. Un an plus tard, le Parlement adoptait une loi confirmant le moratoire, introduisant l'obligation de prendre en compte les droits des générations futures, définissant trois axes de recherche à conduire pendant quinze ans et obligeant le gouvernement à soumettre au Parlement toute autorisation visant à créer un centre de stockage définitif des déchets radioactifs à vie longue.

La loi Bataille de 1991 a notablement fait progresser le problème, tracé la marche à suivre et précisé les contraintes. Elle a fait

l'objet, cette année, d'un bilan et d'une mise à jour. En effet, quinze ans après, le gouvernement actuel a fait adopter une proposition de loi validant le principe du stockage profond. Cependant, certains termes de la loi de 1991 n'ont pas été respectés : un seul laboratoire a été ouvert pour étudier le stockage dans les couches d'argile alors que la loi en prévoyait un deuxième pour étudier le granit. De plus, la construction de l'unique laboratoire n'a commencé qu'en 2000, les premières expériences n'ont débuté qu'en 2004 et par conséquent les résultats complets des recherches en cours ne seront pas disponibles avant plusieurs années (il s'agit de simuler en accéléré les conséquences d'un stockage sur des milliers d'années).

Même si aucun pays nucléaire n'a trouvé encore de solution définitive pour les déchets nucléaires de haute activité à vie longue, les solutions techniques existent, la plus prometteuse étant le stockage géologique profond. Mais la complexité et les enjeux sont tels qu'il faudrait développer les collaborations au niveau mondial pour arriver au concept de stockages internationaux (tous les pays nucléaires n'ayant pas les structures géologiques adéquates garantissant un stockage sur leur territoire).

Il existe également une question liée au financement des investissements nucléaires. Ils nécessitent des capitaux importants et compte tenu de la durée de réalisation (2-5 ans d'études préliminaires, 5-8 ans de réalisation) le temps de retour sur investissement est particulièrement long (environ 10-15 ans après le début de la mise en service). Les incertitudes sont telles qu'en pratique, peu d'investisseurs acceptent dans une logique de marché de prendre le risque d'investir dans un réacteur nucléaire à moins que les pouvoirs publics définissent un cadre adapté prenant en charge une partie du risque. Les États-Unis, pourtant acteur historique de la dérégulation électrique, ont pris la mesure de cette difficulté en adoptant en 2005 plusieurs mesures visant à encourager la réalisation de nouvelles centrales nucléaires, avec prise en charge au niveau gouvernemental d'une partie des risques liés à la réalisation des prototypes.

Enfin, se pose la question des ressources en uranium. Le ralentissement des programmes nucléaires depuis deux décennies conjugué à la constitution antérieure de stocks d'uranium (en y incluant l'uranium à usage militaire) a conduit à une situation inédite dans le domaine énergétique, à savoir un déséquilibre depuis une quinzaine d'années entre la consommation et la production d'uranium naturel. Simultanément, le niveau des prix de l'uranium était tellement bas que beaucoup de mines ont été fermées (comme en France) et les dépenses d'exploration ont fortement baissé. Depuis 2002, les tensions sur le marché de l'uranium ont conduit à un quadruplement des prix et à un renouveau de l'intérêt des grandes compagnies minières pour l'uranium. Mais, compte tenu du délai moyen entre les premières explorations et le démarrage de la production (environ 10 à 15 ans), les tensions devraient persister jusqu'en 2015-2020. A plus long terme, la situation sera probablement moins tendue en cas de mise en œuvre de réacteurs nucléaires de « quatrième génération » capables de valoriser le potentiel énergétique de l'uranium 238 ou du thorium 232, augmentant ainsi les réserves d'au moins un facteur 50 (le thorium est deux à trois fois plus abondant que l'uranium). Les ressources existent donc et la situation devrait se normaliser avec le temps.

Les réacteurs actuels (dits de « 3^e génération ») n'utilisent pas encore assez efficacement l'uranium. Le processus de « conversion interne » (transmutation de l'uranium 238 en plutonium 239) peut être amplifié en modifiant convenablement la conception des réacteurs. Un niveau très satisfaisant est atteint lorsque le réacteur produit plus de matière fissile qu'il n'en brûle : on parle alors de surrégénération. On tire alors 50 à 80 fois plus d'énergie d'une même quantité d'uranium. Sans aller si loin, on peut donc facilement faire de l'électricité nucléaire une ressource abondante.

La fission nucléaire reste une énergie d'avenir durable, à condition de ne pas évacuer les questions sensibles que nous venons d'évoquer. Cette énergie reste davantage adaptée aux économies des pays riches. Une condition de taille existe en effet : pour diminuer les surcoûts

initiaux comme la mise en place des organismes de contrôle ou la gestion des déchets, un pays doit avoir un système électrique de taille suffisante pour pouvoir accueillir plusieurs réacteurs s'il fait le choix du nucléaire. Cette contrainte limite de fait aujourd'hui le recours au nucléaire à une cinquantaine de pays. On peut cependant imaginer qu'une des solutions à ce problème serait l'interconnexion électrique de « petits » pays ayant conclu des accords permettant de réaliser un parc nucléaire en commun. C'est l'orientation que viennent de se fixer les Pays Baltes. Cela peut relancer aussi indirectement l'idée de stockages internationaux de déchets nucléaires.

Au total, le renforcement ou l'introduction d'un parc nucléaire dans les « grands » pays rend envisageable et réaliste un accroissement de 50% de la capacité nucléaire d'ici 2030. Les décisions prises par la Chine, l'Inde et les États-Unis semblent le confirmer.

Les énergies non carbonées porteuses de peu d'espoir à moyen terme

Il faut signaler que différentes formes d'énergie font depuis longtemps l'objet de propositions plus ou moins réalistes qui ont en commun le rêve d'une abondance énergétique illimitée et à faible prix. Théoriquement possibles, elles pèchent le plus souvent par manque de réalisme pratique ou manque de rationalité économique. Le but des choix politiques est aussi de dissiper ce qui doit être considéré comme des espoirs vains.

La fusion

Le soleil est le théâtre de réactions de fusion nucléaire dont il tire son rayonnement. Ce phénomène est l'une des sources de la vie sur terre. Sans doute faut-il voir là l'origine de la popularité dont bénéficie l'énergie de fusion. De plus, l'hydrogène est abondant sur terre puisque c'est un composant de la molécule d'eau.

Les fusions, qui se produisent au sein du soleil, partent de l'hydrogène, à des niveaux de température et de pression que nous ne pouvons pas reconstituer artificiellement. Les travaux de recherche en cours ont un objectif plus modeste avec l'utilisation d'isotopes de l'hydrogène : elles concernent la fusion D-T (Deutérium-Tritium), avec l'ambition de passer ensuite à la fusion D-D (Deutérium-Deutérium), qui est bien plus difficile à réaliser.

Pourquoi le processus de fusion est-il difficile à obtenir ? Les deux noyaux qui doivent se combiner sont tous deux chargés positivement. Pour les rapprocher jusqu'à les unir, il faut leur impulser une grande vitesse, donc une énergie cinétique suffisante pour surmonter la répulsion entre charges électriques de même signe. A vitesse égale, les hydrogènes « lourds » (Deutérium ou Tritium) ont une énergie supérieure et se prêtent ainsi plus facilement à la fusion.

Le deutérium est relativement abondant : une molécule d'eau de mer sur 5000 contient des atomes de deutérium. Il n'en est pas pour autant gratuit car il faut l'extraire. Quant au tritium, élément radioactif, il n'existe même pas dans la nature. Il faut donc le créer artificiellement en recourant à une réaction nucléaire : en bombardant du lithium par des neutrons.

N'étant pas « contrôlée » dans le cas de l'arme nucléaire, la fusion a connu un développement important dans le domaine militaire. En revanche, les avancées sont beaucoup plus lentes dans le domaine civil.

La fusion a été découverte en 1930, avant la fission (1938), mais on ne sait toujours pas établir une réaction en chaîne contrôlée pour la fusion. Pour obtenir les premiers neutrons démontrant l'obtention d'une réaction de fusion en 1991 (pendant quelques secondes), la puissance électrique consommée était de plusieurs dizaines de MW. Le prototype ITER devrait avoir une puissance thermique de l'ordre de 500 MW pendant quelques centaines de secondes.

La faisabilité technologique ne sera que partiellement atteinte avec ces réalisations, l'énergie thermique dégagée ne compensant même pas l'énergie électrique consommée pour assurer la réaction de fusion.

De ce panorama rapide, on peut conclure que l'on n'est pas à la veille de produire des kWh à partir de la fusion nucléaire. La fusion contrôlée est et restera pendant encore longtemps un thème de recherche. Autant dire que l'on ne peut la prendre en compte dans la définition d'une politique énergétique à l'horizon de 2050, ni faire le pari que la fusion sauvera l'humanité dans la deuxième moitié du XXI^e siècle.

Les sources renouvelables probablement utopiques

L'énergie thermique des mers, qui vise à tirer parti de la différence de température entre les eaux profondes, plus froides, et les eaux de surface, reste un espoir limité dans la lutte contre le réchauffement climatique. Dans les années 1930, le physicien Georges Claude avait proposé d'utiliser cette différence pour faire fonctionner une machine produisant de l'électricité. Cependant, toutes les expériences en la matière se sont révélées peu concluantes, le rendement étant trop faible et les coûts de maintenance trop élevés.

D'autres chercheurs se sont intéressés à l'énergie issue de la géothermie profonde. Le fondement de cette recherche est le fait que la température de la terre s'accroît en moyenne de 3 °C tous les cent mètres. Ainsi, en creusant jusqu'à 5 000 mètres deux puits distants de 2 à 3 km et en faisant passer de l'eau de l'un à l'autre, on pourrait récupérer suffisamment de chaleur pour alimenter une machine à vapeur. Toutefois, la fracturation de la roche peut s'avérer difficile et inégale, ce qui limite considérablement la quantité de chaleur récupérable. Un essai est en cours en Alsace. Il n'a pas encore apporté de résultat concluant.

Les marées aussi ont également suscité les créativité, au point qu'une installation d'une puissance de 250 MW fonctionne en France sur la Rance depuis presque quarante ans. Toutefois, les sites adéquats présentant une hauteur de marée suffisante sont assez rares au niveau mondial. Des problèmes d'acceptation par l'opinion publique se posent également. Dans les années 1960, on envisageait de réaliser une usine marémotrice au niveau de la baie du Mont Saint-Michel

d'une puissance de l'ordre de 10 GW. Nul doute qu'une telle proposition n'aurait aucune chance d'aboutir de nos jours.

L'hydrogène : un nouveau vecteur énergétique ?

L'hydrogène fait rêver : sa combustion idéale ne produit que de l'eau. De plus, on peut le stocker. Mais son abondance – c'est un des deux composants de la molécule d'eau – est trompeuse, puisqu'il n'existe pas à l'état libre. Comme l'électricité, ce n'est qu'un vecteur.

Avant de l'utiliser il faut le fabriquer et, ce faisant, sauf à utiliser de l'électricité nucléaire ou renouvelable, émettre du CO₂, en délocalisant simplement la pollution. Faute de « transporter les villes à la campagne » comme l'avait suggéré l'humoriste Alphonse Allais, on transporterait les pollutions à la campagne.

L'hydrogène est déjà couramment utilisé comme matière chimique dans l'industrie : raffineries, aciéries, usines d'ammoniac ont besoin d'hydrogène. On sait donc le produire, soit à partir d'hydrocarbures soit par électrolyse de l'eau. L'électrolyse est un procédé cher réservé à la production d'hydrogène très pur. Pour les emplois industriels de masse, on part d'hydrocarbures ou du charbon avec malheureusement des émissions de CO₂.

Pour que l'hydrogène présente un progrès, il faut donc le produire sans utiliser de combustibles fossiles, ou associer à sa production la séquestration du CO₂.

Comment le produire ?

De nombreuses possibilités ont été suggérées ; certaines, très séduisantes, sont encore futuristes, comme la dissociation de l'eau par action des rayons solaires, la production d'hydrogène par des micro-organismes ou même la mise au point de catalyseurs remplaçant la chlorophylle avec efficacité accrue. Elles méritent un effort de recherche mais ne peuvent pas encore figurer dans une prospective énergétique réaliste.

L'électrolyse est un procédé cher, mais les prix actuels du pétrole l'ont rendue presque rentable. A long terme, deux méthodes sont très prometteuses : l'électrolyse haute température et la dissociation thermique. L'électrolyse à haute température requiert moins d'électricité car une part de l'énergie y est fournie sous forme de chaleur, mais sa mise en œuvre réclame la mise au point de matériaux aux performances élevées. L'autre voie serait la dissociation de la molécule d'eau sous l'effet de la chaleur à haute température. Sa mise en œuvre est freinée car elle exige des matériaux performants à haute température (entre 700 et 1 000 °C) et l'utilisation d'un réacteur nucléaire à haute température.

Comment l'utiliser ?

L'hydrogène peut fournir de la chaleur par combustion avec l'oxygène, ce qui ne présente qu'un intérêt limité, sauf comme substitut du gaz naturel, s'il venait à manquer. Plus prometteuse est la mise en œuvre d'une réaction électrochimique qui produit de l'électricité. Ce dispositif – la pile à combustible – affranchirait les transports de leur dépendance au pétrole (à plus de 90%). C'est l'inverse d'un électrolyseur : l'hydrogène s'y combine à l'oxygène (celui de l'air par exemple) pour générer directement un courant électrique qui est consommé par des moteurs électriques. C'est une technologie très ancienne, connue depuis 1839, soit vingt ans avant l'accumulateur au plomb. Cela révèle des progrès lents et laborieux. Durant les quarante dernières années, la pile à combustible a, néanmoins, vu ses performances s'améliorer, même si cette amélioration reste encore insuffisante pour remplacer le moteur à explosion. Son premier marché viendra probablement de divers dispositifs portables dont elle accroît l'autonomie ou d'implantations fixes isolées.

Pour utiliser l'hydrogène, il faut aussi pouvoir le stocker. En faire le carburant des automobiles suppose trois conditions : disposer d'un système de stockage à bord du véhicule, qui assure une autonomie suffisante, mettre en place un réseau de distribution, assorti d'un rem-

plissage commode, assurer la sécurité, la fiabilité et la facilité d'usage. Le stockage à bord des véhicules est particulièrement exigeant. Trois solutions sont principalement étudiées : sous forme liquide (à $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ sous une pression de 10 bars), sous pression (entre 350 et 700 bars) ou encore par absorption sur un matériau solide. Le cahier de charge du stockage de l'hydrogène pour véhicules reste exigeant et nécessite encore des investissements très importants pour permettre une autonomie suffisante à un coût acceptable.

Enfin, dans l'hypothèse d'un développement massif, il ne faut pas négliger les problèmes d'acceptation par le public.

La pile à combustible et l'automobile

Les piles à combustible produisent de l'électricité à partir d'un combustible hydrogéné sans rejet polluant, ni nuisance sonore. On comprend, dès lors, qu'elles suscitent un vif intérêt de la part des constructeurs automobiles. Aussi consacrent-ils un travail soutenu au développement de la pile à combustible. Mais l'application à l'automobile est très exigeante et les objectifs sont très ambitieux. Rappelons que les automobiles doivent fonctionner avec une température extérieure qui peut varier de -20 à $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$: les exigences sont multiples : puissance nominale de -0 à 80 kW , rendement d'au minimum 50% (plus pour l'utilisation à basse puissance en ville), durée de vie d'au moins 5000 heures, compacité du système, démarrage à la demande. Le tout doit être obtenu avec un coût relativement modeste (environ 45 euros/kW). Pour rendre opérationnel un système aussi complexe, il faut également satisfaire des contraintes concernant l'alimentation en hydrogène et en air, les performances de la pile, la gestion de l'énergie électrique et de la chaleur.

Donnons la parole à un constructeur (PSA) :

« Remplacer le moteur à explosion par une pile à combustible constitue un problème social (réduction des émissions de CO_2) qui n'a que peu de poids dans la décision d'achat et cela sans diminuer les prestations et le plaisir de conduire, ni augmenter le coût d'achat ou d'usage. La technologie de la pile à combustible a un fort potentiel d'évolution. Elle

doit cependant relever de nombreux défis techniques et économiques avant d'être commercialisée. Au-delà du coût à la production de la pile elle-même et du stockage de l'hydrogène, de nombreuses difficultés techniques restent à surmonter, par exemple le démarrage à froid (gel) ou le refroidissement, la compacité et la durée de vie à bord du véhicule. De plus, la mise en place d'un système de distribution d'hydrogène nécessitera des investissements importants. Pour toutes ces raisons, PSA Peugeot Citroën prévoit une introduction progressive dans l'automobile avec une possibilité de production en série à l'horizon 2020 ».

On constate la modestie de ce propos, fort prudent, qui renvoie à quinze ans une éventuelle diffusion de cette technique. Et pourtant, pour des raisons de relations publiques, les constructeurs doivent se montrer enthousiastes (en 2001, l'un d'entre eux annonçait que dans les quatre années suivantes, sa firme commercialiserait des voitures hybrides associant pile à combustible et moteur à explosion). Il leur faut aussi éviter tout risque de se laisser distancer par des concurrents, situation qui serait stratégiquement catastrophique.

En conclusion, l'hydrogène est peut-être le vecteur énergétique de demain mais ne constitue pas la panacée pour s'attaquer au problème du changement climatique. Son développement et son encadrement vont nécessiter des efforts continus et coûteux de recherche et développement qui devront survivre aux effets de mode.

Les régulations économiques et politiques

Pendant longtemps, l'approvisionnement énergétique d'un pays relevait des fonctions régaliennes de l'État, en raison de son importance stratégique, économique et militaire. Progressivement, le rôle de l'État s'est effacé, laissant une partie de ses prérogatives au marché.

Le développement des marchés énergétiques

A partir de la Première Guerre mondiale, l'approvisionnement en pétrole devient stratégique. Les grandes puissances veulent alors sécuriser leurs approvisionnements en cherchant à « contrôler » de fait les principales zones de production pétrolière. Les compagnies pétrolières finissent par conclure des contrats à long terme, à prix fixe, avec les principaux pays producteurs du Moyen Orient. Le premier choc pétrolier de 1973, puis celui de 1979 ont mis fin à ce système de contrats à long terme, provoquant une instabilité des prix. Les principaux opérateurs pétroliers confrontés à cette nouvelle donne se sont alors intéressés aux instruments physiques et financiers qui leur permettaient de gérer les risques engendrés.

Les premiers marchés qui sont apparus concernaient des échanges physiques. Ce sont les marchés « *spot* » (livraison immédiate le mois d'après), puis les marchés « *forward* » (livraison décalée dans le temps).

Plus tard sont apparus les marchés financiers avec les produits dérivés et les options, les transactions ne donnant pas lieu à des

échanges physiques. Une option, par exemple, donne simplement un droit (et non pas une obligation) de vendre ou d'acheter une certaine quantité de pétrole à une date spécifique et à un prix fixe.

Prenons le cas d'une compagnie aérienne, qui veut gérer le risque lié à une évolution du prix du carburéacteur, tout en ne connaissant pas exactement ses besoins réels, qui vont dépendre de l'évolution du trafic. Elle peut acheter des « *derivatives* » avec des dates de livraison correspondant à ses besoins prévisionnels. Mais elle peut également opter pour l'acquisition d'options d'achat ou de vente qu'elle pourra éventuellement exercer suivant l'évolution des prix du carburéacteur et de son trafic.

Avec le développement de ces stratégies énergétiques et financières, les volumes échangés sur les principaux marchés – NYMEX (New York), IPE (Londres) et SIMEX (Singapour) – ont, très rapidement, représenté plusieurs fois la consommation annuelle.

Les autres produits énergétiques ont progressivement été concernés par le développement des marchés : tout d'abord, le gaz naturel, puis l'électricité, le charbon, et maintenant l'uranium et les permis d'émissions de gaz carbonique. La figure suivante montre la croissance des volumes échangés en pétrole et en gaz naturel sur NYMEX.

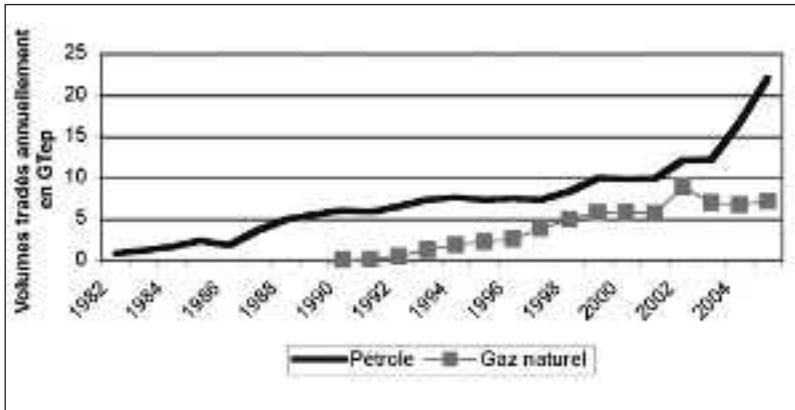


Figure 10 : Évolution des volumes échangés (pétrole – gaz naturel) à NYMEX

En 2005, les échanges ont porté sur l'équivalent de 22 milliards de tonnes de pétrole, soit respectivement environ six fois la consommation mondiale de pétrole et trois fois celle du gaz.

Les marchés électriques sont apparus à partir des années 90 avec une dimension locale liée aux spécificités de l'électricité. Dans un premier temps, on a assisté à une baisse des prix du marché. Cette baisse, observable dans la plupart des pays européens, a duré quelques années, conduisant d'ailleurs à la fermeture de plusieurs structures de production.

Par la suite, les prix du marché ont sensiblement augmenté à partir de 2003, en raison de plusieurs facteurs : insuffisance de nouveaux moyens de production électrique, évolution des prix des combustibles fossiles, baisse de la production hydraulique et croissance de la demande globale.

Actuellement, le niveau des prix de marché est couramment supérieur à celui constaté quelques années auparavant, et pas uniquement dans des situations exceptionnelles de grand froid ou de canicule comme pendant l'été 2003.

Le paradoxe est que les prix de marché ont augmenté de façon presque similaire dans des pays ayant des parcs de production très différents. Par exemple, l'évolution a été parallèle dans un pays comme la France, avec une énergie essentiellement nucléaire et hydraulique, et un pays comme l'Allemagne, avec une énergie essentiellement thermique, à base de charbon. D'une certaine façon, la libéralisation des marchés électriques a conduit à une uniformisation des prix de l'électricité en Europe, uniformisation dépendant des capacités d'interconnexions entre les pays. Ainsi, la France, qui, grâce à ses choix effectués dans le passé, bénéficiait d'un prix moyen de l'électricité concurrentiel, a perdu cet avantage.

Les principaux intéressés des marchés énergétiques sont naturellement les producteurs ou les grands consommateurs confrontés à la volatilité des prix. Les grands animateurs de ces marchés sont de plus en plus souvent des acteurs bancaires, qui trouvent ainsi le moyen de gérer une partie des risques liés aux prêts consentis aux opérateurs. Tout cela se développe dans le cadre de valeurs très élevées pour les investissements dans le secteur de l'énergie.

Ces marchés sont devenus indispensables à la plupart des opérateurs pour gérer le risque lié au prix et au volume des transactions. On peut cependant s'interroger sur la pertinence des signaux envoyés par ces marchés sur l'évolution des prix. Par exemple, les variations des prix de marché de l'électricité intègrent les variations des prix du charbon, du gaz naturel et maintenant du prix des permis d'émission du gaz carbonique. De même, le développement du transport du gaz naturel sous forme liquéfié rend de plus en plus interdépendants les marchés du gaz naturel en Europe de l'Ouest et ceux de l'Amérique du Nord.

L'exemple type des limites des marchés est la fourniture « d'extrême » pointe en électricité. Ce type de fourniture consiste à n'utiliser un volume d'électricité que pendant quelques dizaines à quelques centaines d'heures, du fait de la nécessité d'équilibrer en permanence l'offre et la demande électrique. En période d'extrême pointe, il est nécessaire de recourir aux moyens de production les plus onéreux ou

de négocier avec certains grands consommateurs pour qu'ils réduisent leur demande. On observe des pics de prix sur le marché « *spot* » qui reflètent la difficulté à atteindre un équilibre stable.

D'une certaine façon, les marchés énergétiques peuvent être considérés comme l'une des voies permettant une affectation optimale des ressources disponibles. Mais ces mêmes marchés peuvent conduire à des dysfonctionnements graves, si les États n'exercent pas réellement leurs rôles de régulateurs.

L'évolution du rôle du pouvoir politique

Suivant les époques, le pouvoir politique s'est impliqué de façon variable dans les questions énergétiques. Après 1945, l'approvisionnement énergétique d'un pays était d'une importance primordiale pour répondre aussi bien aux préoccupations de sécurité nationale, aux besoins industriels, alors en plein développement, qu'au souci d'assurer une égalité d'accès à l'énergie. D'où les nationalisations du secteur électrique et gazier en France en 1946, avec la création d'EDF et de GDF. Entre 1950 et 1973, la consommation énergétique en combustibles fossiles a été multipliée par 3,1. Simultanément, la part de la production nationale dans la consommation française d'énergie décroissait de 64% à 16%.

Le pouvoir politique a accru son rôle après le choc pétrolier de 1973. L'État français a mobilisé des acteurs majoritairement publics pour réaliser un programme d'investissements massifs pour construire et exploiter des réacteurs nucléaires. Ces réacteurs étaient destinés à répondre aux besoins électriques du pays en se substituant à des centrales brûlant du fuel, mais aussi à assurer l'indépendance de son approvisionnement. Par ailleurs, la consommation électrique augmentant alors de 5 à 7% par an, soit un doublement tous les 10-15 ans, les politiques publiques françaises ont, pour la première fois, défini un programme visant à réduire la croissance de la demande énergétique. En somme,

l'objectif global de ces choix publics était de mettre en œuvre une politique étrangère visant à sécuriser l'approvisionnement énergétique du pays en limitant la dépendance en produits pétroliers et gaziers.

L'élection présidentielle de 1981 a modifié sensiblement la politique énergétique.

L'énergie dans le projet socialiste de 1980

« Le capitalisme a fondé son développement sur l'ignorance des conséquences écologiques et particulièrement de l'épuisement des gisements qu'il comporte. Le socialisme fondera le sien en priorité sur l'économie de l'énergie et le recyclage des matières premières. Nous entendons dissocier la consommation d'énergie de l'augmentation du produit national. Il faut pour cela transformer les comportements des ménages et le mode de vie urbain. Des investissements considérables seront nécessaires pour rendre l'appareil de production plus économe. Un plan ambitieux d'économies d'énergie sera élaboré en utilisant toutes les possibilités de la technologie.

Aucune pénurie physique ne menace véritablement, à l'horizon 2000, l'approvisionnement énergétique de la planète. Mais nous savons que depuis 1973, le cours des choses a été profondément modifié : l'énergie est devenue, de manière irréversible dans l'état actuel des techniques, un produit coûteux. La dépense énergétique, autrefois insensible, constitue désormais une menace pour l'équilibre de notre balance commerciale et donc pour l'indépendance nationale.

La France ne dispose que de ressources naturelles énergétiques limitées. Les trois quarts de l'énergie qu'elle consomme proviennent d'importations de pétrole, de gaz et de charbon. L'origine d'une telle situation réside dans le choix du « tout pétrole » imposé dans les années 60 par les compagnies importatrices. La politique actuelle se borne à une fuite en avant dans le nucléaire, sans véritable effort d'économie d'énergie et de diversification des approvisionnements, sans véritable promotion des nouvelles formes d'énergie.

La prise en compte des problèmes liés à l'énergie est au cœur du Projet socialiste. Une action à long terme, articulée autour d'un véritable plan, et démocratiquement débattue, sera entreprise selon trois axes :

- dissocier les liens entre la croissance économique et la croissance énergétique
- stimuler les nouvelles formes de production d'énergie
- diversifier et assurer les approvisionnements de la France en produits énergétiques ».

Un quart de siècle plus tard, ces lignes restent globalement d'actualité si ce n'est qu'il faudrait y ajouter la problématique du changement climatique, ce phénomène n'étant pas encore perçu à l'époque comme une menace.

En vingt-cinq ans, dont quinze sous une majorité de gauche, des progrès ont été réalisés. En 2003, les énergies renouvelables représentaient 18,3 MTEP dont 9,3 pour le bois, 5,6 pour l'hydraulique, 2,2 pour les déchets et 1,1 pour les nouvelles formes.

Mais il convient de déplorer un manque de continuité et de détermination dans l'application de ces objectifs.

Ainsi, un certain nombre de décisions dans le domaine de l'efficacité énergétique n'ont pas résisté au contre-choc pétrolier de 1986. L'exemple de l'évolution de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) est révélateur des variations de la politique énergétique française depuis un quart de siècle. Jusqu'en 1986, l'ADEME avait une action forte dans le domaine du diagnostic thermique et de l'aide aux économies d'énergie. Après 1986, l'ADEME s'est orientée vers le conseil énergétique, pour finalement consacrer l'essentiel de ses ressources à la gestion des déchets à partir du début des années 1990. De 1998 à 2002, les priorités de l'ADEME se sont à nouveau portées sur la maîtrise de la demande énergétique, en particulier en direction des collectivités locales, avec la préparation des Schémas de service collectifs de l'énergie. Actuellement, l'ADEME s'est recentrée vers le conseil et l'expertise dans le domaine plus général du développement durable.

L'année 1986 a donc marqué un tournant dans l'implication du pouvoir politique. Le contre-choc pétrolier s'est alors conjugué avec une appréciation significative du franc par rapport au dollar. A débuté une

période de baisse sensible du montant des importations pétrolières et gazières et bien sûr des prix payés par les consommateurs. Suite au changement de majorité, la même année a vu le démarrage de la privatisation d'un certain nombre d'entreprises bancaires et industrielles. Cette époque correspond à la montée progressive au niveau mondial d'un courant de pensée préconisant la fin des monopoles d'État, en particulier pour le secteur électrique et gazier.

Pendant presque deux décennies, le pouvoir politique s'est, de fait, de moins en moins impliqué dans le dossier énergétique. Symboles forts : le dernier secrétariat d'État à l'Énergie qui date du gouvernement Bérégovoy, la privatisation totale d'Elf et de Total et l'abandon ensuite de la « *golden share* » de l'État dans ces sociétés.

La libéralisation des secteurs électrique et gazier, qui sera totale en 2007, rajoute un sentiment d'impuissance, qui grandit encore avec l'ouverture du capital de GDF et EDF. Rappelons aussi la disparition programmée et inéluctable de Charbonnages de France après la vente de ses actifs (ORKEM et SNET) et l'arrêt de la production de charbon en 2002, faute de rentabilité et de ressources.

Périodiquement, la question énergétique a fait l'objet de « débats nationaux », censés faire partager à l'ensemble des citoyens les choix énergétiques. Citons les débats de 1983-84 (assises de l'énergie), de 1994 (débat énergie et environnement) et de 2003 (débat national sur les énergies). En pratique, il n'y a pas vraiment eu de débat, les principaux protagonistes campant sur leurs positions et le grand public étant plutôt absent. Dorénavant, suite à l'adoption de l'Acte unique en 1986, la politique énergétique est en grande partie définie au niveau de l'Union européenne avec l'adoption de plusieurs directives majeures concernant la libéralisation des services et la protection de l'environnement.

Il faudrait également ajouter les tentatives avortées de nouvelles dispositions, dont un certain nombre visant à réduire la compétitivité de l'énergie nucléaire : le projet de directive définissant les obligations de base et les principes généraux dans le domaine de la sûreté des installations nucléaires (2004), la gestion du combustible nucléai-

re irradié et des déchets radioactifs (2003) et enfin l'utilisation des ressources financières destinées au démantèlement des installations nucléaires (2004-2005).

Face à cette avalanche de textes, les États sont surtout confrontés à un problème de transposition des directives, décisions et règlements communautaires en droit national. Dans la plupart des cas, le Parlement ne peut modifier un texte approuvé au niveau européen, ce qui limite très nettement ses possibilités d'interventions.

Enfin, la plupart des États ont « délégué » une partie de leurs prérogatives à des autorités de régulation, comme en France avec la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE). Si leurs missions consacrées à garantir l'accès aux réseaux d'énergie et le bon fonctionnement des infrastructures de réseaux ne sont pas en soi contestables, c'est davantage discutable pour la régulation des marchés énergétiques. Par exemple, c'est la CRE qui a décidé avec ses homologues étrangers de mettre aux enchères les capacités d'interconnexions électriques, dont la principale conséquence est la constitution de rente aux bénéfice des gestionnaires des interconnexions sans que ces derniers soient incités à investir dans de nouvelles capacités. Autre exemple, avec cette déclaration de la CRE à l'occasion d'une conférence de presse en février 2006, qui semble s'ériger en pouvoir d'orientation et non seulement de régulation : *« Après plus de cinquante ans d'une gestion monopolistique, une nouvelle organisation des marchés de l'électricité et du gaz naturel se met progressivement en place dans notre pays. Si les obstacles techniques sont en passe d'être levés en France, la réalisation d'un marché unique européen nécessitera encore beaucoup de volontarisme. C'est l'un des rôles essentiels des régulateurs de contribuer, par leur indépendance et leur efficacité, au nécessaire changement culturel qui doit accompagner l'ouverture des marchés. »* Une autorité de régulation est-elle au-dessus du Parlement et donc des citoyens pour définir ainsi le cadre de fonctionnement du paysage énergétique ?

Le rôle du politique doit être réaffirmé. Et dans cet esprit, ne serait-il pas judicieux d'instaurer un grand ministère de l'Énergie, des Trans-

ports et de l'Environnement, comme le préconise le dernier rapport de la Mission sur l'effet de serre de l'Assemblée nationale ?

Fondamentalement, la question énergétique est toujours un enjeu primordial pour les États, mais le poids croissant de la réglementation européenne tend à les déresponsabiliser, sans que soient réellement traités les problèmes de fond, qu'il s'agisse de sécurité énergétique ou de sûreté environnementale. Un exemple illustratif des limites des tentatives de régulation des marchés est celui du protocole de Kyoto.

L'espoir déçu du protocole de Kyoto

Le protocole signé en 1997 reposait sur un équilibre entre les objectifs de réduction des émissions et ceux de l'instauration de mécanismes de flexibilité. Ainsi, des mécanismes de mise en œuvre conjointe pour les pays de l'Europe de l'Est étaient prévus, tandis que des mécanismes de développement propre étaient arrêtés pour les pays en voie de développement. En adoptant ces mécanismes, les pays soumis à des réductions peuvent acheter des crédits d'émission, qui seront pris en compte dans la vérification de leurs engagements. De plus, un marché d'échange de permis d'émission entre les pays devait permettre à des pays a priori fortement excédentaires (comme la Russie et l'Ukraine) de vendre leurs permis non utilisés.

Cependant, la non-ratification du protocole de Kyoto par les États-Unis, et dans une moindre mesure par l'Australie, modifie complètement ces équilibres. D'ores et déjà, l'objectif fixé pour 2008-2012 ne devrait pas être respecté. Entre 1990 et 2010, les émissions mondiales de gaz à effet de serre devraient, selon les prévisions générales, augmenter de 40 à 50%. En cumulé, la quantité rejetée entre 1990 et 2010 sera donc du même ordre de grandeur que la quantité rejetée entre 1800 et 1950. Cette accélération sans précédent du niveau des émissions démontre les limites du Protocole de Kyoto.

Le même constat peut être fait au vu du fonctionnement du marché européen des permis d'émission que l'Union européenne avait décidé de mettre en place en 2003, de façon anticipée par rapport au protocole de Kyoto. Chaque installation a la faculté de vendre son excédent si ses émissions sont en dessous de son quota, ou d'acheter des permis dans le cas contraire. A la fin de chaque année, chaque installation doit indiquer le niveau de ses émissions et transférer un nombre équivalent de permis d'émission. Si une installation ne fournit pas assez de permis d'émission, elle est soumise à une amende non libératoire de 40 euros par permis manquant.

La figure suivante montre l'évolution du prix de marché de la tonne de CO₂ depuis 2004.

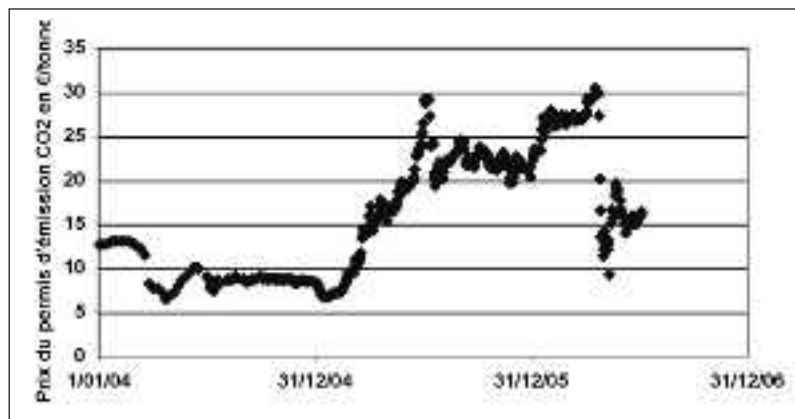


Figure 11 : Évolution du prix du permis d'émission en Europe (2004-2005)

Pendant un an, le prix du permis d'émission était en dessous de 10 euros avant de grimper dans la zone 20 – 25 euros. Ce niveau particulièrement élevé s'est répercuté sur le prix de l'électricité, accentuant l'impact du système de permis d'émission sur le secteur industriel.

On peut citer, par exemple, la baisse de 3,2% de la production d'acier au sein de l'Union européenne entre 2004 et 2005 alors que la demande mondiale augmentait de 5,9%. Quant à la production européenne d'aluminium, elle augmentait de 1,3% seulement, pour une demande mondiale de 3,6%. Plusieurs producteurs d'aluminium ont d'ores et déjà annoncé des fermetures de capacités de production en Europe à partir de 2006.

En avril 2006, le prix du permis d'émission a baissé spectaculairement avec les premières annonces sur le fait que le niveau des émissions en 2005 dans plusieurs pays était inférieur aux quantités allouées.

Il est peut-être trop tôt pour tirer des conclusions définitives mais on peut déjà s'interroger sur l'efficacité d'un système qui pourrait durablement réduire l'activité industrielle de l'Europe et donc les emplois associés, sans véritable gain environnemental. En effet, la production est progressivement transférée dans des pays ayant moins de contraintes environnementales.

Des améliorations sont possibles, comme l'instauration de barrières commerciales reposant, par exemple, sur le contenu en carbone des produits. Cependant, on est en droit de se demander si de telles propositions sont envisageables dans le contexte actuel d'abolition de toutes restrictions voulue par l'Organisation Mondiale du Commerce et par la Commission européenne ?

Un nouveau modèle de croissance

Croissance économique et croissance énergétique restent encore étroitement corrélées, comme le montre la figure suivante.

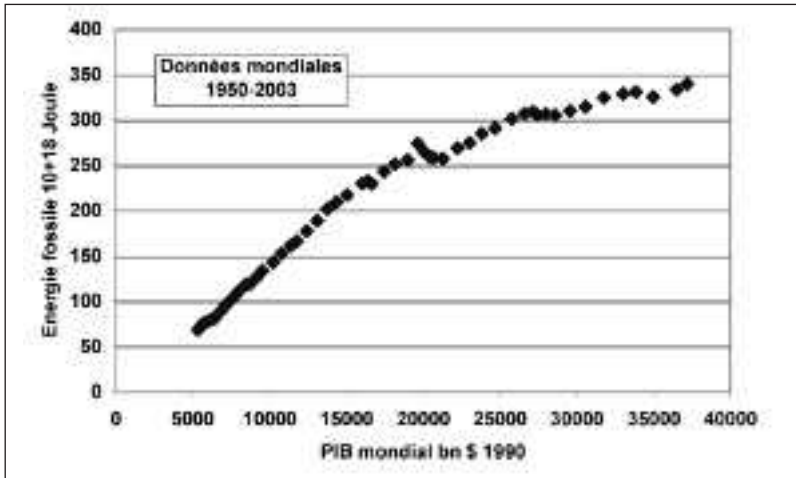


Figure 12 : Corrélation des évolutions de la consommation énergétique fossile et du PIB au niveau mondial

Cependant, certains signes d'espoir sont déjà perceptibles. Par exemple, au niveau de la consommation énergétique fossile par habitant, on constate un certain plafonnement depuis une vingtaine d'années.

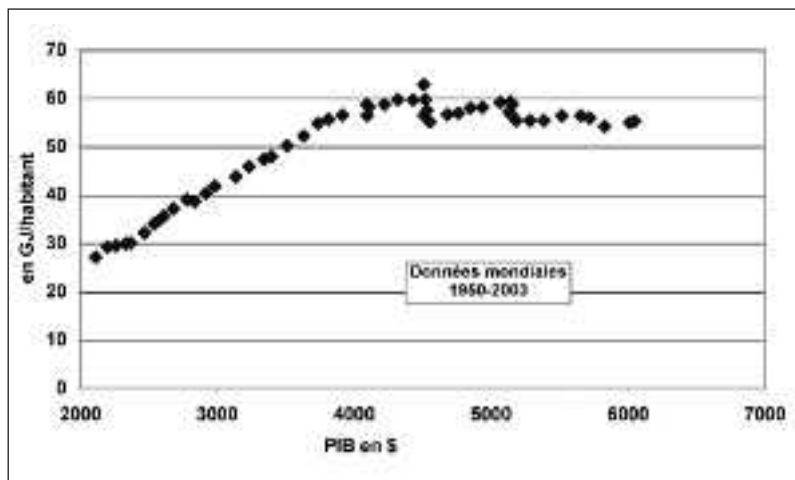


Figure 13 : Évolution du PIB par habitant (1950-2003)

Ces données agrégées au niveau global ne doivent pas masquer pour autant les profondes disparités entre les différents pays. Ainsi, les valeurs varient entre 0,27 Tep/hab pour certains pays africains à plus de 10 Tep/hab pour certains pays fortement industrialisés et à forte consommation d'énergies fossiles.

La population mondiale devant augmenter dans les prochaines décennies pour atteindre huit à dix milliards de personnes d'ici 2020, il faut réduire drastiquement la consommation par habitant pour réduire la consommation mondiale d'énergie fossile. Comment procéder ?

Pour l'instant, quelques pays ont réussi à baisser leur niveau de consommation d'énergie fossile par habitant en choisissant de mettre en œuvre des solutions de substitution après les chocs pétroliers de 1973 et 1979. La France a opté pour une stratégie fondée sur la substitution du pétrole par le nucléaire. Le Royaume-Uni a substitué le gaz naturel au charbon, se fondant sur les ressources naturelles existantes. Le Danemark a partiellement substitué le pétrole par le gaz naturel et l'éolien, et la Suède le pétrole par le nucléaire et l'hydraulique.

Ces quatre pays industrialisés disposaient des capitaux suffisants pour réaliser ces investissements de substitution. Mais cette solution n'est pas transposable aux pays en voie de développement en l'absence d'aides permettant de pallier l'absence de capitaux.

Il est possible de substituer l'énergie fossile par le travail humain ou animal, mais cette solution n'est pas acceptable excepté sous un régime totalitaire, comme le régime des Khmers rouges de la décennie 70 au Cambodge.

Enfin, tendanciellement, l'accès à l'énergie est de moins en moins cher avec le progrès technique et l'augmentation du niveau de vie. Augmenter le prix de l'énergie fossile réduira certes la demande mais aura des conséquences plus importantes sur les plus défavorisés. Le kWh fourni par une pile électrique, seule possibilité pour accéder par exemple à l'information dans les zones dépourvues de réseau électrique, est cent fois plus cher que le prix du kWh dans les pays industrialisés.

La réduction de la consommation d'énergie fossile par habitant est illusoire sans remettre en cause le modèle actuel de croissance économique.

La première piste est de s'interroger sur la pertinence de la mesure du PIB d'un pays comme du monde. Le PIB est-il un bon indicateur des progrès d'une société ? Il y a longtemps que l'on en doute. Cet agrégat est d'ailleurs hétérogène : il compte au même titre les productions utiles et celles qui conduisent à des dégradations de la santé de l'homme ou de son environnement. Aussi la production de tabac figure dans le PIB au même titre que le coût des soins prodigués aux victimes de la tabagie. Où est la logique ?

Sans abandonner le concept de PIB, au moins conviendrait-il de l'amender pour tenir compte notamment des attaques contre l'environnement (rejets de gaz à effet de serre, autres polluants – SO₂ ou NO_x en particulier, dégradation des sols...). Puisque l'on corrige le PIB pour tenir compte des parités d'achat, pourquoi ne pas le corriger en fonction des dégâts écologiques ? Une croissance obtenue au détri-

ment de l'environnement est à courte vue. Le temps est venu pour le monde d'en prendre conscience.

La deuxième piste est de mettre en œuvre une véritable politique de coopération avec les pays en voie de développement, afin de les aider à arriver le plus rapidement possible à un niveau suffisant de richesses pour que la préoccupation environnementale soit partagée par leurs populations, facilitant ainsi la mise en œuvre de mesures parfois contraignantes.

Commencer vite, agir progressivement

Même si les effets sont diffus et lentement perceptibles, les conséquences du changement climatique seront telles qu'il est impératif de s'engager vite et réellement dans une politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Il s'agit d'une orientation radicalement nouvelle qui exige progrès technologiques et changements de comportement. Pour être crédible et donc réellement mise en œuvre, une telle intention nécessite un consensus mondial et une adhésion des populations.

Il y a urgence : il faut donc commencer vite. Compte tenu des contraintes et des efforts nécessaires, il faut agir progressivement, pour éviter que les mesures décidées ne soient rejetées par nos concitoyens.

L'adhésion du plus grand nombre, condition de changement

L'objectif fondamental est une réduction forte et durable des émissions de gaz à effet de serre afin de minimiser les risques sanitaires et environnementaux et de préparer l'avenir et la prospérité des générations futures.

La réduction d'un facteur 4 des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050 implique une diminution annuelle moyenne des émissions de 3%, alors que la tendance actuelle est une augmentation de 2%. Nous avons souligné qu'il faut diviser au moins par deux les émissions de CO₂. Un calcul arithmétique simple montre que pour permettre aux PVD (80% de la population mondiale mais seulement 20% de la consom-

mation d'énergie) d'augmenter simplement de 50% leur consommation d'énergie, les pays riches doivent diviser leurs émissions par quatre.

Pour pouvoir être qualifié de durable, cette nouvelle politique doit, avant tout, s'inscrire dans une logique de réduction de la demande énergétique globale et de substitution vers une offre non carbonée.

On ne peut envisager un tel changement sans informer les citoyens sur les capacités d'approvisionnement qui restent suffisamment abondantes, sur les risques sanitaires réels et sur les espoirs ou illusions technologiques. Cette information préalable s'avère indispensable pour les impliquer ensuite, avec de réelles chances de succès, dans l'élaboration de nouvelles orientations qui seront contraignantes.

Mais la population est probablement beaucoup plus consciente des dégâts environnementaux provoqués par l'activité humaine que ne le supposent beaucoup de responsables politiques ou économiques. En revanche, elle n'est pas prête à accepter des discours extrémistes, voire apocalyptiques, qui feraient l'impasse sur les équilibres sociaux et économiques nécessaires à la bonne marche de notre monde.

Il est urgent de faire preuve d'intelligence et de pédagogie.

Pour être efficace et suivie par le plus grand nombre, cette nouvelle politique doit d'abord s'inscrire dans la durée. Concrètement, pour un industriel comme pour un particulier, une décision d'investissement dans un système énergétique est un choix qui engage sur le moyen ou le long terme. Une chaudière, par exemple, a une durée de vie de quinze à trente ans.

Et puis, l'expérience nous enseigne que les efforts ne doivent jamais être relâchés.

Ainsi, malgré leurs impacts financiers significatifs, les chocs pétroliers de 1973 et de 1979 n'ont entraîné qu'une baisse temporaire de la consommation énergétique. Depuis le contre-choc de 1986, la consommation énergétique par habitant a malheureusement connu une croissance quasiment continue.

Afin de retrouver le niveau de consommation énergétique de 1985, il faudrait une baisse de cette consommation par habitant de 25 %. Il s'agit donc bien de « casser » cette dynamique de croissance de la demande énergétique qui, malgré des efforts variables suivant les gouvernements, n'a pu être véritablement maîtrisée, moins encore enrayée. C'est la condition impérative pour que la France arrive à diminuer significativement ses émissions de CO₂.

Pour être partagée par le plus grand nombre, cette nouvelle politique doit également se concevoir en termes de solidarité avec les populations défavorisées, aussi bien dans les pays en voie de développement que dans les pays industrialisés. Cet aspect global de la solidarité sociale fait écho à la globalité des problèmes énergétiques et environnementaux, le changement climatique concernant l'ensemble de la planète.

Le partage des ressources énergétiques au profit des pays les plus pauvres doit être recherché, en transférant par exemple les progrès réalisés dans les pays du Nord vers ceux du Sud, afin de leur permettre de concilier leur nécessaire croissance économique et une bonne maîtrise de leur dépense énergétique. Cet objectif doit être poursuivi en tenant compte aussi bien de l'impact économique des décisions prises, dans le cadre de la compétition internationale, que du coût social, sanitaire et financier des dégradations environnementales dues au changement climatique.

L'objectif concret qu'il convient de se fixer pour la période 2007-2012 est l'arrêt de l'augmentation de la consommation énergétique par habitant tout en gardant un taux de croissance du PIB nettement positif pour assurer un développement économique indispensable à la cohésion sociale du pays. Ce scénario innovant nécessite une véritable rupture dans le comportement des citoyens afin d'obtenir une baisse significative et durable de la consommation énergétique en France, comme le montre le graphique ci-dessous.

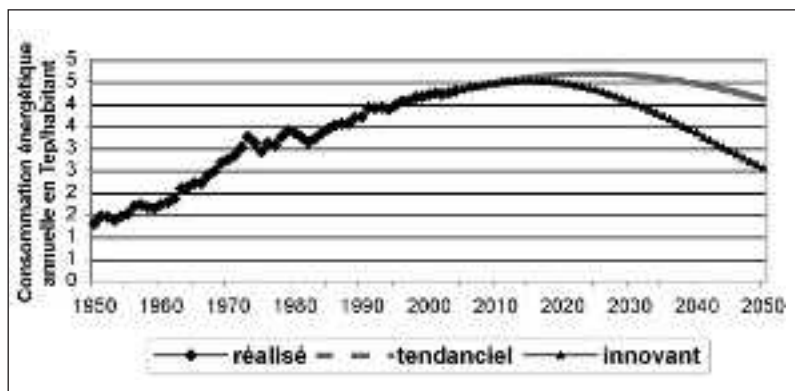


Figure 14 : Scénarios d'évolution de la consommation énergétique par habitant en France (2000-2050)

Pour répondre à ce défi, il faut une forte détermination politique à faire partager par le plus grand nombre. Et on peut regretter qu'en France, les ministères concernés, en particulier celui des transports, proposent des scénarios fondés principalement sur des avancées technologiques, comme s'il était impossible techniquement, ou inadmissible politiquement, de provoquer des changements de comportements, c'est-à-dire des transferts de trafics voyageurs ou marchandises vers les modes les moins émetteurs de gaz à effet de serre.

Il faut au contraire faire preuve de courage, de pédagogie et de persévérance. Les efforts ne seront partagés et les effets ne seront sensibles et durables qu'à ces conditions.

Les orientations pour la recherche et l'industrie

Depuis le Conseil de Lisbonne de mars 2000, la recherche et l'innovation sont souvent présentés comme les moteurs de la croissance

économique. Pourtant ni la France, ni l'Europe n'ont su pour l'instant gérer les modifications inhérentes aux évolutions nécessaires.

Pour s'en convaincre, il suffit de citer le rapport publié en janvier 2006 à la demande de la Commission Européenne « *Creating an innovative Europe* » qui, après avoir fait le constat des faibles progrès réalisés depuis Lisbonne, propose une stratégie en vue de créer une Europe innovante en mettant en avant trois conditions :

- un engagement et une volonté de la part des responsables politiques, des chefs d'entreprise et des dirigeants sociaux,
- l'ouverture aux entreprises d'un marché favorable à l'innovation,
- l'accentuation de la mobilité des hommes, des capitaux et de la connaissance.

En conclusion, le rapport affirme que *« l'augmentation des ressources affectées à la R&D et à l'innovation est une condition nécessaire mais non suffisante pour atteindre l'objectif d'une Europe innovante. Il faut un changement de paradigme préservant les valeurs européennes mais dans le cadre d'une nouvelle structure sociale. Les Européens devraient se rendre compte que leur mode de vie est menacé, mais que la voie de la prospérité par la recherche et l'innovation leur est ouverte si leurs dirigeants entreprennent dès à présent une action de grande envergure avant qu'il ne soit trop tard. »*

L'Espace européen de recherche (EER)

La création de l'EER s'inscrit dans le cadre de la stratégie arrêtée lors du Conseil de Lisbonne en mars 2000 visant à faire de la recherche et l'innovation le moteur de la compétitivité européenne afin de moderniser et de renforcer le modèle social européen.

Cinq ans plus tard, la Commission mettait en parallèle la poursuite de la constitution du marché intérieur avec la définition d'une politique de recherche et d'innovation comme conditions pour conserver une croissance durable.

En pratique, les possibilités d'action de la Commission ne sont toujours pas en adéquation avec les objectifs visés. Le sixième programme-cadre (2002-2006) représentait un budget total de 17,5 milliards d'euros, soit même pas l'équivalent de deux années du budget civil de recherche et développement français.

La procédure particulièrement lourde des appels d'offres des programmes-cadres ne permet pas d'offrir la réactivité suffisante indispensable à la recherche et à l'innovation en particulier pour des secteurs en constante évolution comme les sciences de la vie ou les technologies de l'information et de la communication. De plus, certaines entités ont adopté une véritable démarche commerciale afin de maximiser leurs chances de sélection indépendamment de leurs véritables compétences scientifiques et techniques.

Enfin, une politique commune de recherche se heurte rapidement à la question de la propriété industrielle : comment la partager de façon juste entre diverses entités avec des règles différentes d'un pays à l'autre ?

Le devenir de l'EER va dépendre de la possibilité de mener une politique innovante dans une logique de marché.

Quant à la France, elle n'a pas encore intégré les conséquences de la privatisation de plusieurs acteurs industriels qui rend plus difficile la définition d'une politique nationale cohérente intégrant recherche, développement et industrialisation. Elle n'a pas, non plus, pris toute la mesure de la logique de la compétition internationale : qu'il s'agisse des programmes européens de recherche qui, pour une thématique donnée, mettent toutes les équipes en concurrence ; qu'il s'agisse des grands groupes industriels dont l'implantation des centres de recherche et développement est optimisée au plan mondial, indépendamment des préférences nationales. Et même, à l'échelle de l'Hexagone, et jusqu'à très récemment, l'État n'avait concédé aux régions aucune initiative dans le domaine de l'innovation. Or, on sait que ce sont les pays qui conjuguent l'initiative locale avec le concours ou l'impulsion du pouvoir

national qui réussissent le mieux. Ainsi en est-il, par exemple, des États-Unis qui représentent 5% de la population mondiale, 20% de sa production et plus de 50% de l'innovation.

En Espagne, c'est à l'initiative des élus de Catalogne que le solaire a gagné du terrain dans tout le pays. En France, les prochains Contrats de projet État-Région doivent être négociés pour donner enfin une priorité décisive au rail et aux transports collectifs.

Depuis 2002, se sont multipliés en France les commissions, les agences de recherche ou d'innovation, les pôles de compétitivité, et autres dispositifs voués à l'émergence de solutions nouvelles dans le domaine des véhicules, des moteurs et des carburants plus respectueux de la planète. A titre d'exemple, treize pôles de compétitivité au moins ont des préoccupations concernant l'énergie ou les véhicules. De même, au moins sept organismes publics de recherche ont des thématiques de recherche liées à l'énergie : IFP, CEA, CNRS, INRA (biomasse, bio-carburants), CSTB (bâtiments), INES (énergie solaire), INRETS (transports). A cette liste, il faut ajouter les laboratoires de recherche implantés dans les universités et les écoles d'ingénieurs. Enfin, mentionnons la recherche implantée dans les entreprises industrielles dont les activités relèvent principalement des secteurs de l'énergie, du transport et du bâtiment. Une conclusion s'impose : la recherche et l'innovation dans le secteur énergétique ne souffrent pas d'une pénurie, mais plutôt d'une dispersion, avec saupoudrage des moyens, et d'un manque de définition claire et hiérarchisée des orientations.

Pourtant, le secteur énergétique concerne un nombre très limité d'acteurs industriels et de recherche. Il peut devenir un domaine privilégié pour mettre en œuvre un nouveau mode de relation tripartite collectivités – recherche – industrie. Pour cela, il faudrait tout d'abord que l'État, une fois définis les fondements de sa politique énergétique, traduise en termes de recherche fondamentale et appliquée les principaux objectifs à atteindre. En quelque sorte, il devrait d'abord évaluer sa propre demande de recherche et de développement et en évaluer la cohérence au vu de ses possibilités financières. Il devrait donc

hiérarchiser ses priorités en distinguant les thématiques pour lesquelles la France doit être leader (par exemple la biomasse et la photovoltaïque), celles pour lesquelles il serait judicieux de s'associer avec un ou plusieurs autres pays européens (par exemple la séquestration du CO₂ et la filière hydrogène) et enfin celles pour lesquelles les compétences actuelles ne permettent pas d'atteindre un niveau suffisant à moyen terme.

Ensuite, l'État devrait désigner pour chaque thématique l'entité responsable, parmi les organismes actuels (IFP, CEA, CNRS, INRA, CSTB, INES, INRETS, Universités, etc.). Simultanément, il faudrait mettre en œuvre une nouvelle politique de ressources humaines afin de faciliter les échanges de personnels entre les universités, les organismes de recherche et les entreprises, et d'attirer les meilleurs chercheurs français et étrangers. Pour accroître l'efficacité et la cohérence de cette stratégie de développement, il faudrait en outre qu'aux entités de recherche soient associées des unités d'enseignement supérieur aptes à former des techniciens, des ingénieurs, des chercheurs et des enseignants. Cela est nécessaire non seulement pour les activités de recherche, mais aussi pour le développement et les activités liées à l'industrialisation.

Actions et priorités pour la recherche et l'industrie (en dehors de la réduction de la demande)

I. Investissements importants sur le moyen et long terme

a) Séquestration du CO₂

- * capture : séparation en précombustion
séparation en post-combustion,
oxycombustion
- * stockage : géologique dans les aquifères salins profonds
injection dans les zones de production du pétrole et du charbon

b) Production et stockage de l'hydrogène

- * production : électrolyse à haute température
dissociation thermique de l'eau
- * stockage : stockage liquide
stockage par absorption sur matériau solide

c) Pile à combustible

- * catalyseurs à haute performance
- * optimisation de systèmes

d) Liquéfaction du charbon

II. Priorités pour les énergies non émettrices de CO₂

a) Biomasse et biocarburants

- * carburants issus de la biomasse ligno-cellulique
- * engrais moins polluants du point de vue du climat

b) Photovoltaïque : capteurs à haute performance

c) Nucléaire : stockage profond des déchets à vie longue (argile et granit)

Enfin, il n'est pas inutile de rappeler que pour agir au niveau de la demande, l'État peut jouer sur deux leviers : d'une part, celui de la fiscalité, pour favoriser, par exemple, le développement de moteurs à faible consommation qui seraient les fruits de la recherche française ; d'autre part, celui de la création de *start-ups* afin d'inciter les chercheurs à exploiter leurs découvertes puis de les accompagner dans leur développement. Cette idée a déjà fait ses preuves dans le nucléaire, l'exemple le plus marquant étant les filiales du CEA regroupées maintenant au sein d'AREVA.

Pour l'État, il s'agit bien d'avoir une vision patrimoniale permettant la création d'emplois et d'activités économiques, le soutien des industriels existants et l'éclosion des AREVA de demain pour des activités prometteuses comme l'hydrogène, le stockage du CO₂ ou les énergies renouvelables.

En créant ainsi des entités de recherche rénovées capables d'affronter la concurrence, la France pourra occuper une place significative au sein de l'Espace européen de la recherche et partager avec un ou plusieurs pays des préoccupations communes.

C'est par la recherche et l'innovation que la France et l'Europe pourront aussi proposer des solutions aux pays en voie de développement pour les aider à agir favorablement en matière d'environnement, par exemple en réalisant des avancées significatives dans le domaine de la biomasse, du solaire photovoltaïque ou de l'habitat.

Les orientations sociétales

Certains secteurs sont prioritaires pour modifier significativement le paysage énergétique et diminuer globalement l'impact environnemental de la consommation d'énergie. Deux de ces secteurs concernent la demande (le bâti et la mobilité), tandis que les deux autres se situent au niveau de l'offre (l'agriculture et les énergies non carbonées).

Une redéfinition de la fiscalité énergétique

La protection de l'environnement ne peut être efficacement optimisée que si elle s'insère, chaque fois que c'est possible, dans les mécanismes du marché en corrigeant les prix par des taxes ajoutées à ces prix et représentatives des atteintes à l'environnement résultant de nos activités de producteurs et de consommateurs. Il faut installer un système de taxation de l'énergie (progressivement et inéluctablement croissante) bénéficiant aux initiatives d'innovation, créant ainsi un cercle vertueux.

Tous les prélèvements obligatoires ont pour but premier de financer les dépenses publiques jugées opportunes. Certains d'entre eux ont un effet vertueux car ils sont une incitation à réduire la dépense publique (taxes sur l'alcool et le tabac, taxe intérieure sur les produits pétroliers), d'autres au contraire ont pour résultat pervers d'augmenter cette dépense. C'est en particulier le cas des prélèvements assis sur les salaires qui représentent près de 40% du total et accroissent les coûts budgétaires du chômage en incitant à économiser la main-d'œuvre. Mieux vaut donc taxer directement l'énergie que le travail.

La voie fiscale présente plusieurs avantages. Tout d'abord, elle réduit le prix à payer pour protéger l'environnement en suscitant les initiatives décentralisées les moins coûteuses, ce que ne savent pas faire les règlements. Elle semble en outre la plus apte à permettre d'atteindre l'objectif d'une division par quatre, en cinquante ans, des consommations d'énergie fossile. Il faut également mentionner que la gestion de la fiscalité est moins coûteuse que le contrôle du respect des normes. Enfin, une fiscalité écologique bien conçue n'est pas un impôt de plus, mais un impôt qui se substitue à un autre impôt dont les effets pervers sont parfois importants.

Pour orienter les choix en matière énergétique, le pouvoir politique a, pour l'instant, plusieurs outils. L'établissement de normes est la solution juridique. Le processus d'élaboration est souvent long compte tenu du poids des lobbies et du cadre européen. Les taxes sont un instrument privilégié de la politique énergétique, notamment du fait de la popularité croissante du principe « pollueur-payeur ». Toutefois, les inconvénients majeurs consistent dans le fait que leurs montants correspondent rarement à l'optimum économique et que leur collecte peut s'avérer délicate et non rentable, sans même évoquer les possibilités de fraude. Pour le citoyen, la taxe s'apparente simplement à un impôt sur ses ressources. Dans certains cas, le montant des taxes collectées peut être redistribué, par exemple sous forme de diminution des charges sociales. Enfin, le consensus européen étant indispensable à ce sujet, les produits taxés peuvent souffrir d'une

distorsion de concurrence. En cela, les taxes rejoignent les subventions, qui nécessitent une définition préalable des conditions d'attribution et de l'enveloppe budgétaire associée. Enfin, les crédits d'impôts se heurtent aux mêmes contraintes que les subventions, avec une discrimination supplémentaire vis-à-vis des personnes non imposables. Plus récemment, sous l'influence de plusieurs pays anglo-saxons, le pouvoir politique a commencé à recourir à différents instruments financiers comme les permis d'émission, les certificats verts pour l'électricité d'origine renouvelable et plus récemment les certificats blancs pour les économies d'énergie. Comme cela a été évoqué précédemment, l'utilisation de ces instruments ne résout pas les problèmes de distorsion de concurrence, sans améliorer automatiquement la situation d'un point de vue environnemental.

Un outil probablement bien adapté pour les problèmes environnementaux est la combinaison des subventions et de la taxe : la « subventaxe ». Mettre en place un tel outil suppose tout d'abord de définir un indicateur reflétant un niveau de pollution potentielle, par exemple un taux d'émission de CO₂ par km pour une voiture neuve. Il s'agit également de déterminer un seuil qui, s'il est dépassé, donne lieu au versement d'une taxe, et dans le cas inverse, au versement d'une subvention. Les niveaux de la taxe et des subventions doivent ensuite être calculés de façon à ce que leurs montants se compensent.

Le système de la « subventaxe » a plusieurs avantages déterminants. Evidemment, chaque citoyen garde sa liberté de choix tout en assumant les conséquences financières de ses actes. Le système étant globalement équilibré, ce système n'apparaît pas comme un nouvel impôt, et peut être facilement modifiable en fonction des progrès technologiques ou de la modification du comportement des citoyens. Un tel système a déjà été mis en œuvre, par exemple aux Pays-Bas avec la mise en place d'une « subventaxe » sur la consommation électrique annuelle. Le principe est simple : pour les consommations en dessous d'un certain seuil, les consommateurs reçoivent une subvention. Au-delà, ils payent une taxe jusqu'à un deuxième seuil. Ensuite, la taxe baisse progressi-

vement de façon à ne pas introduire de distorsion de concurrence pour les industriels. Une telle fiscalité judicieusement conçue et correctement expliquée devrait permettre de réorienter progressivement et durablement les choix énergétiques des citoyens et des entreprises.

Dans la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre, le secteur des transports reste particulièrement stratégique, comme on l'a vu précédemment.

Compte tenu du désengagement financier de l'État et de la nécessité d'engager sans tarder de nouveaux investissements, il serait nécessaire d'adopter enfin une mesure préconisée depuis longtemps par le Groupement des autorités responsables de transport (GART), à savoir la création d'un fonds alimenté par la ponction de quelques centimes sur la taxe intérieure sur les produits pétroliers (TIPP). Une partie de cette TIPP qui rapporte chaque année quelques 24 milliards d'euros à l'État pourrait servir efficacement à développer les transports publics, créant un cercle vertueux dans une période où s'envoient les profits des groupes pétroliers.

La réforme du bâti

Le bâti concerne l'ensemble des citoyens : c'est une donnée universelle. Plus de la moitié des logements qui existeront en 2050 en France sont déjà construits aujourd'hui : c'est une donnée temporelle qu'il faut aussi intégrer.

On doit en premier lieu faire prendre conscience à chacun de l'impact de la nature de son logement sur l'environnement en élaborant des indicateurs sur les consommations en espace, en eau et en air. En effet, la surface des terrains, ainsi que leur localisation, déterminent largement l'énergie nécessaire à la vie dans un bâtiment. Il est évident que la construction collective consomme moins d'espace au sol que la construction individuelle. De même, il existe des différences environnementales notables entre un magasin situé en centre ville et une zone commerciale en périphérie avec des parkings. Il faut aussi se soucier des besoins de fourniture en eau potable, et notamment prendre

en compte l'existence éventuelle d'un système de valorisation de l'eau de pluie ou encore mesurer les conséquences structurelles de l'installation d'une piscine. Les performances énergétiques d'un bien immobilier doivent également être appréciées en fonction des conséquences sur l'air, via des analyses des modes de chauffage et des consommations énergétiques au m².

Il revient aux politiques publiques d'inciter les propriétaires à investir, soit au moment de la construction, soit lors des rénovations, dans les équipements permettant de limiter voire de diminuer les impacts environnementaux et notamment l'isolation thermique, le renouvellement de chaudières, les systèmes individuels de régulation.

Des dispositifs existent en ce sens comme les Opérations programmées d'amélioration thermique des bâtiments (O.P.A.T.B.), qu'il faut compléter judicieusement pour amplifier leur déploiement. Ainsi, il est essentiel que ces opérations puissent se financer par leur économie propre. En effet, le volume de logements à traiter est tel que la puissance publique sera dans l'incapacité de supporter des mécanismes basés sur la subvention publique sans retour. Le dispositif doit surmonter deux obstacles. Tout d'abord, les économies de fonctionnement réalisées dans la durée et qui garantissent le retour sur investissement doivent revenir à l'investisseur initial des travaux d'économie d'énergie. C'est pourquoi nous proposons par exemple d'autoriser les bailleurs sociaux à percevoir un surloyer dans la limite de la réduction de charges de fluides concomitante. L'autre difficulté tient au fait que les investissements à réaliser sur une période courte sont souvent dissuasifs pour les copropriétaires alors que le retour sur investissement tardera à venir. Nous proposons de mettre en place des systèmes de préfinancement spécifiques pour pallier cet obstacle souvent rédhibitoire.

Par ailleurs, il serait judicieux de faire évoluer progressivement la taxe foncière vers une subventaxte qui prenne en compte les considérations précédentes. Cette évolution doit s'accompagner de procédures obligatoires d'inventaire des performances environnementales de chaque bâtiment, qui déterminerait le montant de la nouvelle taxe foncière. En termes concrets,

cela se traduirait par une transition progressive, par exemple sur cinq ans, de la taxe foncière de la valeur ancienne vers la valeur nouvelle : si le propriétaire investit dans des équipements permettant de diminuer l'impact environnemental, une nouvelle taxe foncière serait calculée. Par la suite, la taxe foncière serait recalculée périodiquement, par exemple tous les dix ans, pour prendre en compte le vieillissement des équipements et les progrès technologiques intervenus. En ciblant en priorité les logements anciens, il devrait être possible en dix ou quinze ans de mettre en place au niveau national ce nouveau système de taxe foncière. La révision périodique du calcul de la taxe foncière constituerait une incitation permanente à minimiser l'impact environnemental. La taxe foncière représentant une source de revenus importante pour les collectivités publiques, il serait obligatoire de maintenir un niveau minimal de recettes. Par contre, entre deux logements identiques du point de vue de la surface et de la localisation, mais ayant des impacts environnementaux différents (existence d'un chauffe-eau solaire, isolation thermique renforcée), la modification du système de calcul permettrait de différencier significativement le niveau des taxes foncières des deux logements. Par ailleurs, contrairement à la situation actuelle, une résidence secondaire ou un logement vacant devrait avoir une subvention majorée sensiblement, car ces types de logements accroissent l'impact sur l'environnement, sans pour autant répondre au besoin fondamental de se loger. Si la majoration est significative (par exemple 50 % pour une résidence secondaire, 150 % pour un logement vacant), la pression immobilière pourrait en être allégée.

Il n'est pas facile de modifier l'impact sur le sol. Toutefois il ne faut pas oublier que la différence de prix du m² entre centre-ville et campagne n'intègre pas les différences d'impact sur l'environnement : l'implantation en dehors du centre-ville accroît le trafic routier. Il faut en tenir compte : un nouveau mode de calcul permettrait d'internaliser en partie la différence des coûts environnementaux.

L'efficacité dicte d'appliquer aussi cette subvention aux bâtiments de l'État et des collectivités locales, qui représentent une partie

significative du bâti en France. Le but de ces transformations est de mieux appréhender les coûts directs et indirects des bâtiments, afin d'inciter à les réduire, soit en investissant, soit en vendant une partie des surfaces concernées.

Une nouvelle ère de mobilité durable

Une nouvelle politique des transports doit adopter des choix énergétiques qui consacrent le principe de la mobilité durable. Avec l'avènement de la société de l'information, ce fait social est la vraie révolution des trente dernières années. Statistiquement, un Français se déplaçait 16 km par jour, il y a trente ans, contre 35 km par jour aujourd'hui.

La mobilité est souvent associée à la liberté, et si la liberté n'a pas de prix, la mobilité a un coût, qui n'est que très partiellement répercuté dans la tarification des transports individuels ou collectifs : coût des infrastructures, accidents, temps perdu du fait de la congestion, atteintes à l'environnement local (bruit, pollution de l'air, effet de coupure des infrastructures) et global (effet de serre et changement climatique), consommation accélérée d'une ressource pétrolière non renouvelable dont le prix actuel est loin des niveaux qu'il atteindra du fait de son épuisement. En omettant d'imputer à la mobilité tous ces coûts externes, nous induisons une demande de déplacements des personnes et des marchandises qui excède leur utilité sociale réelle. Les collectivités doivent tenir compte du coût d'usage prévisible des véhicules particuliers pour développer des transports collectifs, plus longs à mettre en œuvre, mais beaucoup plus propres.

Chaque citoyen souhaite légitimement avoir le choix de sa mobilité. Mais ce choix implique un arbitrage entre nos consommations de biens et services : subventionner la mobilité est une incitation à accroître sa part dans nos consommations. La politique de la ville doit donc créer un archétype nouveau en matière de déplacement urbain qui maximise les possibilités offertes à l'individu tout en respectant l'environnement urbain. Pour que la mobilité n'entraîne pas la dégra-

dation du climat et de l'écologie de la ville, il faut créer de fortes incitations en faveur du développement des transports en commun.

La politique de mobilité durable cherche à répondre aux besoins de communication et d'échanges de la société sans sacrifier les hommes ou l'écologie. Elle satisfera donc les attentes de nos concitoyens en matière de vie quotidienne. Facteur d'attractivité économique, de solidarité sociale et de protection de l'environnement, elle constitue un puissant outil pour le développement durable.

Une partie non négligeable de la mobilité quotidienne est constituée par la mobilité courte en distance urbaine. Il s'agit aujourd'hui d'accroître l'offre en transports en commun en privilégiant les moyens faiblement émetteurs de CO₂ et simultanément de poursuivre les incitations visant à réduire le parc automobile urbain. Le choix fondamental parmi les différents modes de transport en commun dépend des caractéristiques de chaque zone urbaine (en particulier de la géographie, de la densité, du réseau existant). Un effort particulier doit être apporté pour modifier la technologie de fonctionnement des bus et des taxis qui sont actuellement les modes de transport particulièrement émetteurs de CO₂ et d'autres polluants. La stratégie à mettre en place consiste à privilégier le développement de nouvelles technologies pour ces véhicules, qui constituent environ un centième du parc automobile. Par exemple, pourquoi ne pas faire un appel d'offre pour la mise au point d'un modèle de taxi émettant moins de 100 grammes de CO₂ par km, type de taxi qui serait obligatoire dans quelques années? Cette proposition vaut aussi pour les bus circulant en zone urbaine.

Toute décision publique relative aux mobilités urbaines ne doit pas occulter la question du transport de marchandises. Aujourd'hui, les villes consomment beaucoup plus qu'elles ne produisent, les centres villes étant presque exclusivement des zones de consommation.

La mobilité des biens en zone urbaine est responsable de 15% des déplacements de véhicules dans les agglomérations, de 20% de l'occupation de la voirie ou encore de 35% des émissions de gaz à effet de serre. A cela, il faut ajouter les impacts sur l'occupation de la voirie. En

effet, l'espace public en ville est limité et une trop forte consommation d'espace est une nuisance en elle-même.

Le transport est ainsi, à juste titre, un élément à traiter obligatoirement lors de l'élaboration d'un plan de déplacements urbains. Dans ce cadre, des collectivités ont décidé de s'investir et de créer par exemple des espaces logistiques urbains qui permettent à partir d'un lieu unique d'éclater la marchandise, ou encore d'expérimenter les livraisons par camions électriques. Diverses solutions existent, toutes permettant une diminution des kilomètres parcourus par les marchandises.

Mais les solutions techniques ne suffisent pas, il est nécessaire d'apporter des solutions organisationnelles, notamment en favorisant l'harmonisation des réglementations, des autorisations de livraison (qui sont régies par le pouvoir de police du maire) à l'échelle de l'agglomération.

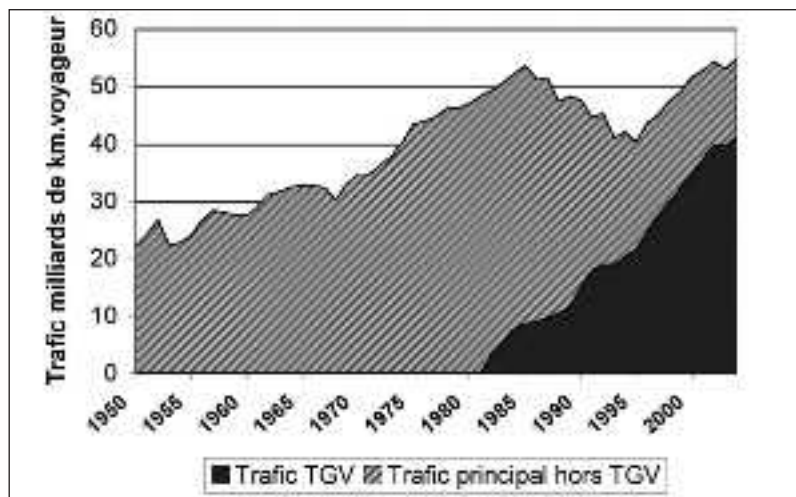
Concernant les modes de mobilité courts sur des distances extra-urbaines, il ne faut pas négliger les possibilités d'accroissement de l'offre en transports en commun. Mais la voiture restera toutefois très probablement le moyen de transport de prédilection. Il faut donc faire évoluer le parc automobile vers des voitures faiblement émettrices de CO₂. La subvention est probablement un instrument particulièrement adapté au moment de l'achat d'un véhicule neuf, l'indicateur essentiel en la matière devant être l'émission de CO₂ par km. Entre 100 et 140 g de CO₂ par km, on pourrait imaginer que la subvention serait nulle. Au-dessus, il s'agirait d'une taxe fortement croissante. En dessous, il s'agirait d'une subvention.

La mise en place d'une telle subvention permettrait de supprimer certaines niches fiscales et serait une incitation forte à privilégier les voitures faiblement émettrices de gaz carbonique, sans introduire de distorsions entre les technologies. Actuellement, une voiture hybride (diesel-électrique) bénéficie d'une subvention, ce qui n'est pas le cas d'une voiture ordinaire ayant le même niveau de consommation.

De manière plus générale, il serait souhaitable de réduire le parc automobile. Plusieurs mesures sont envisageables. Un effort pédagogique permettrait d'expliquer le coût réel d'une voiture pour un foyer. Lors de plusieurs réunions et séances de tests, réalisés par le Groupement des autorités responsables de transports, on a pu constater que les véritables « accros du volant » restent très sensibles à l'argument du prix de revient du véhicule, ainsi qu'à l'impact de l'automobile sur l'environnement, et donc sur la santé et le bien-être des générations futures.

Un croisement entre les fichiers des cartes grises et celui des compagnies d'assurances permettrait, par ailleurs, d'empêcher la circulation des voitures se déplaçant sans assurance. Une vérification automatique des contrôles techniques obligatoires pourrait être mise en place en couplant le contrôle technique avec le paiement d'une taxe permettant de circuler deux ans, taxe calculée sur le niveau d'émission du véhicule. Cette mesure est probablement indispensable en cas de mise en œuvre de la subvention sur les véhicules neufs, pour éviter de donner un avantage certain aux véhicules anciens les plus polluants. Ces mesures viendraient utilement compléter celles visant à limiter le trafic automobile par le principe du stationnement payant.

Pour le transport à longue distance, on a actuellement une réelle concurrence entre la route, le chemin de fer et l'aérien. Cette concurrence donne des structures de marché différentes suivant la distance et le trajet parcourus. L'amélioration des rendements permettra certainement de limiter l'accroissement de la dépense énergétique et, donc, dans le cas du transport par route ou par air, des émissions de CO₂. Au-delà de ces prévisions, il faut encourager le transfert des trafics par route et par air vers le fer. Cela nécessite inéluctablement une augmentation de l'offre ferroviaire sur le réseau TGV, comme le montre la figure suivante.



**Figure 15 : Évolution du trafic voyageurs de la SNCF
(hors TGV, TER, Réseau Ile-de-France)**

Le Comité interministériel d'aménagement du territoire du 18 décembre 2003 a certes défini un plan d'équipement en lignes TGV à l'horizon 2025. Cependant, l'absence de financements associés rend illusoire l'achèvement d'une nouvelle ligne à grande vitesse à l'horizon 2010, en dehors du TGV-Est (dont la réalisation a commencé en 2001). Dans ce cadre, il faut sortir rapidement de la logique actuelle qui conditionne la réalisation d'une ligne TGV à l'obtention d'un financement multiple (État, régions, départements, villes, pays étrangers, Commission européenne), ce qui ralentit voire empêche le début des travaux.

Le transport des marchandises étant intimement lié à la recherche de la productivité maximale, en ralentir la croissance risque de s'avérer extrêmement délicat. Pourtant, comme pour l'énergie, il faudrait arriver à découpler la croissance économique de la croissance du trafic de marchandises. En dehors de la période 1980-1985, au cours de laquelle la forte hausse du prix du pétrole s'est conjuguée à la montée

en puissance de la production nucléaire, le transport national par unité de PIB reste stable. Quant au transport international, il continue à augmenter. L'objectif réalisable pourrait être de stabiliser d'ici 2012 le tonnage de marchandises transporté par route en France. Cela nécessite toutefois de profonds et nécessaires bouleversements de la politique de transports.

Il s'agit, avant tout, de réguler la progression du trafic étranger en réduisant les distorsions de concurrence existant entre la situation française et la situation d'autres pays européens. L'idée est d'utiliser les nouvelles dispositions de la directive « eurovignette » adoptée en mars 2006 pour mettre en place un système de taxation applicable à tout poids lourd circulant sur le sol français. Un tel système de taxation prendrait en compte la puissance du moteur, l'impact sur l'environnement avec une référence aux normes EURO pour les poids lourds (CO, NO_x, particules, hydrocarbures non brûlés), l'âge du véhicule et le kilométrage annuel parcouru en France, afin de déterminer le coût de circulation (les poids lourds ne roulent pas uniquement sur des autoroutes à péage).

L'instauration d'un tel système devrait avoir un impact significatif sur le trafic de transit qui, actuellement, apporte surtout des nuisances environnementales et introduit une distorsion en termes de conditions de travail.

Il serait judicieux d'affecter les recettes de l'eurovignette aux autres modes de transport de marchandises (fluvial, maritime et ferroviaire) en inscrivant cette disposition dans la loi de transcription de la directive européenne.

Il paraît également nécessaire de dédier quelques lignes ferroviaires au transport exclusif de marchandises. Cela nécessite des investissements stratégiques de modernisation et de mise à niveau permettant le transport de conteneurs. Il ne s'agit pas ici de créer de nouvelles lignes (« autoroutes ferroviaires »), dont la réalisation prendrait au moins dix à quinze ans, mais d'utiliser au mieux les infrastructures existantes qui sont sous-utilisées ou fermées.

Un autre objectif consiste à relier à terme le réseau fluvial français à grand gabarit (supérieur à 3 000 tonnes) au réseau fluvial européen (liaisons Seine – Nord et Saône – Moselle).

Une incitation globale de l'ensemble des « consommateurs » de transports de marchandises doit viser à stimuler la réflexion sur les flux afin d'en faire diminuer le kilométrage parcouru. La baisse des coûts et du temps du transport a conduit à une centralisation excessive, en quelques lieux, de certaines productions induisant des flux toujours croissants. Dans certains cas, des productions locales, en particulier dans le domaine agroalimentaire, permettrait de réduire les flux. L'incitation peut venir aussi des citoyens qui, lors de leurs achats, pourraient privilégier les productions locales, chaque produit alimentaire mentionnant son lieu de fabrication. Le fait d'acheter un produit laitier à Grenoble, fabriqué à 500 km du lieu de vente, a des incidences automatiques sur le trafic et les flux de transport et, par ricochet, sur les émissions de gaz carbonique.

Au-delà de 2012, pour réduire le trafic des marchandises, il faudra probablement s'inscrire dans une logique européenne, voire mondiale, avec l'élaboration d'un schéma international du transport des marchandises.

L'avènement des villes compactes

Les responsables des transports dans nos agglomérations agissent trop souvent comme si la structure de leur ville était une donnée intangible dans le cadre de laquelle ils sont chargés de développer une offre de transport qui réponde à une demande dont ils subissent la croissance continue. En réalité, la structure de la ville évolue constamment. Les choix d'aujourd'hui en matière d'infrastructures de transport et de tarification sont responsables de la forme de la ville de demain et de la future demande de déplacements.

Pour évaluer la rentabilité d'une nouvelle infrastructure de transport (route ou transport collectif) et comparer entre elles différentes solutions, on a l'habitude de calculer les gains de temps procurés

par cette infrastructure pour l'ensemble des déplacements actuels. Or, après réalisation de l'infrastructure choisie, on constate qu'elle a pour résultat de modifier la carte des déplacements et pas seulement d'en accroître la vitesse. Les usagers vont ailleurs. Il faut donc apprendre à modéliser la transformation de la ville en fonction des choix d'infrastructures et de la tarification des déplacements. A court terme, la seule solution pour ajuster l'offre et la demande de transport est d'agir sur l'offre, mais à long terme les actions sur la demande sont seules capables de répondre aux exigences d'un développement durable.

La politique de l'habitat doit avoir pour but de développer des villes compactes pour le logement résidentiel et les établissements du secteur tertiaire. L'une des difficultés tient à la baisse rapide du prix des terrains quand on s'éloigne du centre-ville. Elle crée une incitation à habiter loin, dans un urbanisme de moins en moins dense, où les déplacements sont de plus en plus longs et où l'on ne peut plus organiser de transports collectifs performants à subvention constante.

Comme nous l'avons vu précédemment le développement des transports publics urbains et périurbains peine à suivre l'expansion de l'urbanisation. Les investissements nécessaires, pour les lignes de tramway par exemple, se chiffrent en centaines de millions d'euros et leur financement est de plus en plus complexe. Il est donc essentiel d'inverser le phénomène, en subordonnant l'ouverture des droits à construire au schéma de transports publics, et non l'inverse.

On pourrait donc proposer de mettre en place des outils d'une portée supérieure aux actuels Schémas directeurs et de les placer sous contrôle paritaire de l'État et des collectivités locales, notamment des Autorités organisatrices de transport (AOT), de manière à pouvoir mettre en œuvre rapidement une cohérence rigoureuse entre les schémas d'urbanisation et ceux de transport.

L'étalement urbain est plus rapide que la mise en place des AOT ou leur regroupement. Bien souvent, les périmètres de celles-ci sont insuffisants pour développer des schémas de transport complets. C'est pourquoi il convient d'aller vers la création d'AOT élargies et vers l'har-

monisation de leur financement à travers la taxe transport prise en charge par certains employeurs.

L'adaptation du secteur agricole

Le secteur agricole est également un fort émetteur de gaz à effet de serre. Ce n'est pas dû à sa consommation énergétique, mais à une partie de sa production, comme l'élevage.

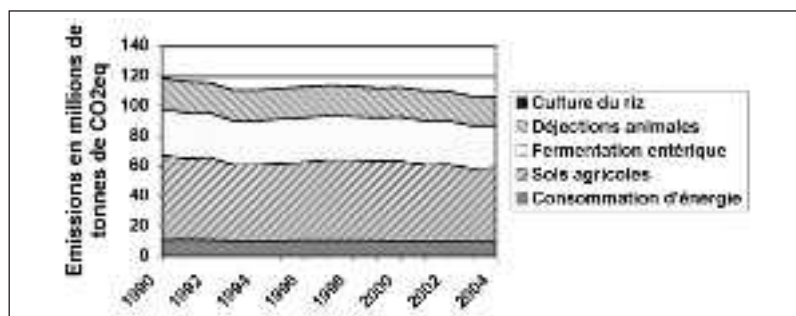


Figure 16 : Répartition des émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole en France

Le secteur agricole peut aussi contribuer à modifier significativement le secteur énergétique, en particulier pour l'obtention de combustibles liquides pouvant être utilisés dans le transport.

Mais au-delà des annonces médiatiques sur les objectifs assignés à la production de biocarburants, il convient de réfléchir à la cohérence globale de la politique agricole. Les biocarburants ne doivent pas être un biais pour accorder de nouvelles subventions, compte tenu des évolutions de la politique agricole commune. Une analyse exhaustive permettrait de répondre à des questions légitimes sur la compétition de l'usage des sols pour répondre aux besoins alimentaires ou énergétiques ou sur le fait que la plupart des productions céréalières sont déjà des commodités (avec, il est vrai, des prix de marché mondiaux moins volatils que les produits pétroliers).

Une nouvelle politique internationale

A la différence des pollutions usuelles, l'émission de CO₂ n'atteint pas principalement le voisinage de l'émetteur. La tentation d'un « laisser-aller » est grande. La lutte contre l'effet de serre doit être une préoccupation générale, un principe universel et nul pays ne devrait s'en affranchir par devoir de solidarité mondiale. Si le principe doit être universel, sa mise en application peut et doit être différenciée et spécifique. Pour un Burkinabé ou un Malawien, elle ne doit pas induire de pénalités économiques, mais au contraire valoir assistance technique et financière. Les Européens et les Américains peuvent au contraire consentir quelques sacrifices.

Le nécessaire consensus mondial

Grâce à l'action diplomatique, chaque pays prend conscience de l'urgence d'agir en acceptant certaines contraintes. La concertation et le dialogue s'imposent. Il faut tenir compte en particulier des soucis et des priorités des pays en développement et des pays pauvres, sans essayer de leur imposer des schémas et des plans d'action imaginés par les pays riches, même bien intentionnés. La notion féconde de développement durable a malheureusement été pervertie : elle est devenue l'occasion d'afficher des objectifs environnementaux, assortis de recommandations inacceptables pour le Tiers monde, au lieu d'élaborer un schéma de développement conçu en commun et incluant l'impératif prioritaire de lutte contre la pauvreté.

Au plan national, l'absence d'un consensus mondial pour une lutte efficace et solidaire contre les émissions de CO₂ conduirait à une démobilisation politique et citoyenne, rendant faiblement lisible toute mesure même énergique.

La relance du protocole de Kyoto

Il faudra donc revoir les accords de Kyoto dont les effets pervers apparaissent maintenant clairement. Il faut affirmer bien fort qu'un

problème global exige un traitement global. A défaut de cela, des échappatoires vont être imaginés, comme on commence à le constater. La limitation des émissions doit être une obligation universelle posée en principe. Toutefois, son application doit rester modulée en fonction de la situation de chacun.

Les pays en développement insistent justement sur le fait que leur priorité est le développement économique. On peut comprendre facilement cette attitude qui revient à dire : « entre mourir de faim aujourd'hui et souffrir après-demain du réchauffement, le choix est clairement fait ».

La problématique est différente pour les pays riches, les pays (réellement) en développement et les pays pauvres (qu'il faut distinguer des précédents, car ils sont le plus souvent en voie d'appauvrissement).

Les pays riches devront, d'urgence, réduire leurs émissions. Leur premier impératif sera une meilleure efficacité d'utilisation de l'énergie, le gisement d'économies restant important. Cet effort n'est toutefois pas suffisant et les modes de vie devront changer eux aussi.

Les plus pauvres ne consomment pratiquement pas d'énergies fossiles. Le Tiers monde doit se développer et ce développement passe nécessairement par un accroissement de sa consommation d'énergie. Aussi devons-nous nous employer à leur éviter de répéter nos erreurs. Il faut les aider à utiliser les techniques les moins dispendieuses en énergie et, s'il le faut, suspendre les droits de propriété industrielle dans ce domaine (comme on le fait pour certains médicaments). Ils ne doivent subir aucune restriction car la croissance économique y est impérative. Cependant, l'amélioration de la qualité de la vie passera probablement par des carburants liquides pour remplacer le bois, qui a tendance à s'épuiser, et alimenter des groupes électrogènes diesels.

La Chine et l'Inde, qui représentent aujourd'hui le tiers de l'humanité, connaissent une croissance intense, hélas fondée essentiellement sur l'utilisation du charbon, respectivement pour 69% et 55%.

Il faut en tout cas dès maintenant s'assurer qu'ils renoncent à un développement quasi-exclusivement lié à la voiture particulière comme ce fut le cas chez nous.

Le comportement des États-Unis apparaît inacceptable : le plus gros émetteur de gaz à effet de serre (6 tonnes de CO₂ par habitant) s'affranchit de tout effort. Ce comportement est choquant. Il convient de l'analyser. Le protocole de Kyoto était difficilement applicable pour un pays qui produit la moitié de son électricité avec du charbon et où l'automobile est plus nécessaire qu'ailleurs en raison de l'étendue de son territoire. On peut penser que les États-Unis ont signé le protocole de Kyoto avec l'espoir de voir le gaz se substituer largement au charbon pour la génération de l'électricité, les centrales pouvant facilement être adaptées. Le renchérissement du prix du gaz est venu contrarier un espoir réel et on constate donc, au contraire, un retour au charbon.

Plusieurs États américains ont toutefois commencé à lutter contre le CO₂ et le gouvernement fédéral semble en train d'amorcer un changement. Malgré un potentiel important, cela prendra du temps car il faut avant tout que les citoyens américains soient convaincus. On connaît la capacité de ce pays à agir vite et efficacement. Son comportement peut alors susciter un effet d'entraînement sur les autres. Nous touchons là un point clé parce qu'il ne peut pas y avoir de lutte efficace contre l'effet de serre sans les États-Unis. Que nous enseigne l'Histoire ? Qu'il faut d'abord apprendre à écouter les Américains eux-mêmes. Ils sont capables de jugement sévère sur leur propre politique. Ainsi hier avec le Vietnam, peut-être demain pour le changement climatique. Ils ont compris que l'économie dépendait de l'innovation et ils entendent bien se maintenir à la tête de cette course au progrès. Peut-on imaginer qu'ils pensaient que le pétrole était une ressource illimitée, les dispensant de tout effort pour préparer les véhicules de demain, voitures hybrides ou à l'hydrogène ?

De même pour l'électricité : le gaz risque de rester cher et le charbon est très néfaste pour le CO₂. Comme nous, ils le savent.

Il paraît logique de prévoir une relance du nucléaire appuyé sur une volonté populaire qui annihilera la propagande et le lobbying des mouvements antinucléaires. Sachons que si, dans les quinze prochaines années, les nouvelles centrales américaines font appel au nucléaire, l'émission annuelle de CO₂ s'en trouvera fortement réduite. Parallèlement, on peut parier sur un effort de développement intense sur la séquestration du CO₂, qui profitera aux autres pays par le truchement de techniques efficaces. Certes, cela ne leur épargnera pas un effort plus douloureux de remise en cause de leur mode vie et de croissance.

Au demeurant, le cas américain ne doit pas cacher le reste de la forêt. Kyoto n'impose aucune contrainte à la Chine, l'Australie n'a pas signé ce protocole, le Canada et le Japon ne tiennent pas leurs engagements, l'effondrement de l'URSS a placé la Russie dans la position avantageuse de vendeur de permis d'émission, l'Allemagne, à qui la réunification a donné des facilités équivalentes, construit des centrales au lignite. La tâche est ardue.

Alors, comment « sauver » le protocole de Kyoto qui représente encore l'un des espoirs en matière de lutte contre le réchauffement climatique ? Tout d'abord, en allouant à l'avenir les quotas d'émission non pas selon la « méthode du grand-père » (émissions d'une année de référence diminuées d'un objectif de réduction), mais selon une valeur moyenne exprimée en quantité émise par unité de PIB. La « méthode du grand-père » constitue une prime aux pays riches et pollueurs en faible croissance démographique.

Pour être efficace, le protocole de Kyoto doit s'inscrire dans des périodes longues (une durée de cinq ans paraît trop courte pour entreprendre des investissements lourds et évaluer l'application des dispositifs). Il doit être étendu aussi au plus grand nombre de pays. Cette extension se heurte aux réticences des pays en voie de développement, qui ne veulent pas voir leurs émissions plafonnées avant d'avoir atteint un certain niveau de développement. Une référence faisant intervenir le PIB permettrait de résoudre ce problème. Un achat de permis d'émission auprès des pays les plus pauvres leur permettrait de se dévelop-

per en mettant en œuvre, en contrepartie, des politiques conduisant à émettre peu de gaz à effet de serre. Et pour les pays industrialisés se développerait un mode de croissance vertueux réduisant leur taux d'émissions de CO₂ par unité de PIB.

Une politique européenne cohérente et durable, sans attendre

La cohésion européenne est indispensable, mais elle doit tenir compte des réalités. Face à des positions idéologiques différentes, nous devons exprimer fortement nos analyses.

Le récent Livre Vert de la Commission européenne intitulé « Une stratégie énergétique pour l'Europe » fait suite à plusieurs autres Livres Verts sur le même sujet, le dernier en date étant celui sur l'efficacité énergétique de juin 2005. Ce Livre Vert contient plusieurs éléments positifs et d'autres qui le sont moins.

Il a d'abord le grand mérite de poser le problème de l'énergie en termes de stratégie énergétique pour l'Europe et de reconnaître qu'il est indispensable de fixer des objectifs clairs pour assurer un approvisionnement durable, efficace et diversifié. On est donc loin de l'attitude qui a prévalu dans le passé de faire aveuglément confiance aux lois du marché. Bien au contraire, il s'agit maintenant de définir et de mettre en œuvre les moyens de compenser les insuffisances du marché.

On doit cependant regretter que le protocole semble considérer comme inéluctable l'augmentation de la demande d'énergie (et donc des émissions de CO₂) de quelques 60 % d'ici 2030. L'objectif premier de toute politique énergétique ne doit-il pas être de limiter ces augmentations ? On ne peut que regretter la timidité des objectifs de maîtrise de l'énergie, affichés déjà dans le Livre Vert de juin 2005 sur l'efficacité énergétique.

Certaines positions de ce Livre Vert sont appréciables et constituent des progrès importants. Ainsi, pour compenser les insuffisances des mécanismes de marché, sont proposés la mise en place d'un cadre pour stimuler les nouveaux investissements, des accords à long terme avec les fournisseurs extérieurs d'énergie et des mesures de sou-

tien pour les énergies renouvelables. Est également souhaitée une analyse stratégique de la politique énergétique de l'Union européenne portant « sur les avantages et les désavantages des différentes sources d'énergie ».

Au contraire, certains principes importants sont oubliés dans le détail des propositions. La grande priorité de la Commission reste la mise en place d'un grand marché intérieur de l'énergie dont on attend davantage de sécurité énergétique (alors que les risques principaux concernent les approvisionnements extérieurs) et le maintien d'une énergie « à des prix abordables ». Le dogme qui veut que la concurrence dans le domaine énergétique conduise à un optimum économique demanderait à être davantage confronté aux faits.

De plus, dans « l'approche intégrée pour lutter contre le changement climatique », les énergies renouvelables fournissant de la chaleur, dont le potentiel est important, sont à peine évoquées. Le développement du stockage de l'électricité, pourtant indispensable au développement des électricités intermittentes n'est pas non plus traité avec assez d'attention. Quant à la stratégie européenne en matière d'énergie nucléaire, elle est tout simplement absente du Livre Vert.

Plusieurs indices font penser que les mesures préconisées dans le livre vert auraient pour effet d'augmenter les importations de pétrole et de gaz, et donc les émissions de CO₂. A l'inverse, les besoins de pétrole et de gaz des pays en développement sont passés sous silence, alors qu'ils sont vitaux, associés aux énergies décentralisées pour permettre un décollage économique des régions difficiles à alimenter par des réseaux.

Ce Livre Vert doit donc être retravaillé pour devenir cohérent avec les principes qu'il affiche. Il de mettre en œuvre une stratégie énergétique européenne, en corrigeant la « myopie » du marché qui tend spontanément à privilégier le court terme.

Il n'est pas sûr qu'un modèle énergétique reposant sur le postulat que la croissance économique et les marchés énergétiques résoudront tout soit un choix judicieux, comme le prouvent les contorsions de la

Commission européenne pour essayer de faire adopter une politique énergétique assurant à la fois l'efficacité énergétique, la cohésion entre les États membres, la cohérence avec les mesures déjà adoptées comme la sécurité de l'approvisionnement énergétique, la compétitivité économique et la viabilité environnementale.

En attendant une position politique concrète de l'Union européenne, il est essentiel que la France précise sa politique énergétique, exerce plutôt délicat compte tenu de l'avalanche des directives européennes adoptées ces dernières années. Cela doit s'accompagner d'une présence renforcée aussi bien au niveau de la Commission européenne que des instances internationales, afin que la France puisse défendre sa politique énergétique et éviter qu'elle ne soit mise en péril par des décisions prises sous l'égide de pays ayant des intérêts divergents. Nous laisser imposer sans contreparties la libéralisation du marché de l'électricité n'a pas été très avisé. Notre production nous donnait, grâce à un kWh moins cher, à prix stable et sans aléas d'approvisionnement, un avantage compétitif pour notre propre industrie et pour attirer des investissements étrangers. L'Italie, en revanche, qui a banni le nucléaire pour se vouer d'abord au fuel lourd puis maintenant au charbon et au gaz, a bénéficié de notre électricité « bon marché ». Et si demain l'Europe faisait face à une crise d'approvisionnement du gaz, le pays imprudent ne serait pas plus pénalisé que nous puisque nous serions obligés de lui vendre notre électricité.

Il ressort de tout cela que l'Europe doit impérativement mettre en œuvre une véritable régulation mettant un terme à ces contradictions qui profitent aux pays affichant volontiers leur libéralisme pour mieux protéger, *in fine*, leurs positions économiques nationales.

Si tel n'est pas le cas, une crise énergétique ou environnementale majeure risquerait d'induire un retour en force des nationalismes pouvant réduire à néant plusieurs décennies de construction européenne.

Une Organisation mondiale de l'environnement

L'objectif aujourd'hui recherché par l'Union européenne et la France est d'obtenir le renforcement de la gouvernance internationale de l'environnement en transformant le PNUE (créé en 1972) en une « ONUe » avec un mandat élargi et des moyens accrus.

Cette ONUe constituerait le cadre unique des politiques de protection de l'environnement global (climat, couche d'ozone, océans, désertification, biodiversité et bientôt forêts, eau potable, ressources énergétiques, agriculture, éco-fiscalité, responsabilité environnementale des entreprises).

Sa construction procéderait d'une réorganisation des compétences environnementales actuellement dispersées au sein d'une douzaine d'organisations internationales et de nombreux secrétariats d'accords multilatéraux sur l'environnement. Parallèlement, une certaine transversalité des politiques environnementales, inhérente à la notion de développement durable, serait conservée.

Cependant, contrairement aux autres institutions spécialisées de l'ONU, l'ONUe ne saurait être un outil technocratique éloigné des citoyens et accroissant les clivages entre le Nord et le Sud. L'éducation à l'environnement et au développement durable pour tous les citoyens mais aussi une formation spécifique pour les délégations des pays du Sud, largement marginalisées lors des négociations internationales faute de personnels qualifiés, l'organisation de conférences de citoyens sur des sujets de société, la reconnaissance du droit de pétition permettant d'engager des débats internationaux sur les problèmes environnementaux... sont autant de moyens de rapprocher cette structure des citoyens.

La gouvernance mondiale de l'environnement ne doit plus être l'affaire exclusive des États. La voix des citoyens, des collectivités territoriales, des ONG et des acteurs économiques du Sud doit aussi pouvoir trouver un écho dans le choix des politiques environnementales. Fidèle au principe de subsidiarité et à la formule « penser globalement, agir localement », l'ONUe pourrait susciter des accords de coopération renforcée entre collectivités territoriales.

A l'échelle globale, la priorité actuelle est d'améliorer l'application effective des centaines d'accords multilatéraux sur l'environnement. Pour ce faire, l'ONU doit devenir un véritable outil de prévention, acteur d'un transfert des technologies propres et assistant financier pour l'application des traités. En complément, sous son impulsion, les mécanismes d'observance des traités mériteraient d'être harmonisés et simplifiés. En aval, l'ONU pourrait avoir la capacité de sanctionner la violation des accords multilatéraux sur l'environnement par le biais d'une cour mondiale pour l'environnement ouverte aux ONG.

En attendant cette mise en place, il serait utile d'intégrer le climat dans les politiques d'investissement des institutions financières internationales (en particulier de la Banque mondiale), mais aussi dans les décisions de l'Organisation Mondiale du Commerce. Rappelons à ce propos le texte fondateur de l'OMC : « L'organisation vise à élever le niveau de vie, réaliser le plein emploi, provoquer la croissance de la production, la préservation de l'environnement et l'intégration des pays en développement dans le commerce mondial ».

Réduire significativement les émissions de CO₂ d'ici 2020, c'est possible !

Le temps est venu de décréter la mobilisation générale à l'échelle française, européenne et mondiale pour commencer vite, tout en agissant progressivement.

Eviter l'émission de cinq milliards de tonnes de CO₂ dans le monde d'ici 2020, c'est possible.

Les cinq actions pour le monde

1. Réduction de 20 % de la consommation des voitures, poids lourds, bateaux et avions.
2. Augmentation de 30 % du recyclage des matériaux (acier, aluminium, cuivre, zinc).
3. Amélioration de 10 % du rendement des installations thermiques fossiles de production électrique.
4. Implantation d'installations hydrauliques d'une puissance totale de 300 GW.
5. Implantation de centrales nucléaires d'une puissance totale de 150 GW.

Éviter l'émission de 500 millions de tonnes de CO₂ en Europe d'ici 2020, c'est possible.

Les cinq actions pour l'Union européenne

1. Développement de l'usage des énergies renouvelables (biomasse, biocarburants, photovoltaïque... pour la production électrique).
2. Uniformisation de la réglementation concernant les normes d'isolation des bâtiments neufs.
3. Renforcement des normes sur les émissions du parc automobile.
4. Développement d'un transport de marchandises par voies ferrées, fluviales ou maritimes.
5. Accroissement de 15 GW de la puissance du parc nucléaire.

Éviter l'émission de 50 millions de tonnes de CO₂ en France d'ici 2020, c'est possible.

Les cinq actions pour la France

1. Accroissement de l'usage des transports collectifs (métro, tramway, bus).
2. Diminution de 10 % du niveau des émissions du parc automobile.
3. Diminution des demandes de chaleur et de froid par action sur le parc immobilier.
4. Augmentation de la production de biocarburant de 3 MTep.
5. Développement des installations de stockage de l'électricité (stations de pompage) pour éviter l'émission de 10 millions de tonnes de CO₂ par les centrales thermiques fossiles.

Sans reprendre l'intégralité des propositions évoquées dans ce chapitre et en ne retenant que quelques objectifs réalistes, il est possible, avec une volonté politique authentique, d'économiser 5 milliards de tonnes de CO₂ dans le monde d'ici 2020, c'est-à-dire d'enclencher une dynamique vertueuse permettant d'atteindre en 2050 une division par quatre des émissions de gaz à effet de serre.

Conclusion

La science du climat en est encore à ses prémices, mais le temps n'est pas loin où personne ne pourra dire « je ne savais pas ». Certes, nul ne peut fixer l'ampleur du réchauffement de la planète au cours de ce XXI^e siècle, ni décrire avec précision les conséquences d'une croissance continue des émissions de gaz à effet de serre. Mais chacun sait, dès aujourd'hui, qu'il s'agit d'un phénomène universel qui oblige à penser mondialement et d'un processus malheureusement cumulatif qui exige d'agir vite. Les menaces sont graves, les risques sont immenses si le monde tout entier ne décrète pas une mobilisation générale pour lutter avec efficacité contre l'accroissement des teneurs en gaz carbonique dans l'atmosphère et contre les phénomènes extérieurs, dont la probabilité est à la multiplication.

Les opinions publiques sont désormais sensibles aux atteintes à l'environnement et réclament aux politiques d'élaborer des propositions concrètes, même si elles conduisent à modifier leurs modes de vie. Les citoyens ont aussi pris conscience que la dimension du problème déborde très largement du cadre national. Les solutions ne peuvent être que globales comme le sont les contraintes, dont la première est que le Tiers Monde a le droit de se développer, de sortir de la misère. Développement est le premier mot de l'expression « développement durable ». Il faut lui redonner la prééminence, en acceptant de pratiquer la solidarité internationale active que cela implique. Les mesures à adopter pour lutter contre le changement climatique ne peuvent être une charge supplémentaire pour les pays pauvres.

Le recours aux combustibles fossiles est à la source du formidable développement qu'a connu le monde au cours de ces deux cent cinquante dernières années. Mais, dans le même temps, la température moyenne du globe s'est élevée de 1 °C. Phénomène inquiétant quand on sait que la différence de température entre notre époque et celle des grandes glaciations ne dépasse pas 5 °C, et que ce XXI^e siècle pourrait connaître une augmentation de plusieurs degrés si rien ne vient contrarier l'évolution actuelle.

Tous les experts sont formels, le changement climatique est dû aux gaz à effet de serre, au premier rang desquels figure le gaz carbonique. Et c'est l'homme qui est à l'origine de cette accumulation, émettant chaque année six milliards de tonnes de carbone dans l'atmosphère, la végétation et les océans n'en absorbant que trois.

Quelques optimistes ont pu croire que l'épuisement des combustibles fossiles se chargerait de limiter la concentration atmosphérique de CO₂. Il n'en est rien : les réserves sont plus que suffisantes pour détériorer dramatiquement et à tout jamais l'environnement.

D'autres ont rêvé que la fée technologie nous délivrerait de ce mauvais sort : piègeons le CO₂ au lieu de le laisser s'échapper dans l'atmosphère. Certes, les techniques existent, mais elles ne peuvent s'appliquer qu'aux grandes installations. Elles restent coûteuses et n'assurent pas le stockage final de CO₂. Autant dire qu'il n'existe pas aujourd'hui de solution technologique miracle qui dispenserait les dirigeants politiques, comme les citoyens, d'assumer leurs responsabilités. Commençons par réduire les émissions en supprimant les gaspillages et en promouvant les techniques sobres. Dans les pays riches existe un ample gisement d'économies faciles à mettre en œuvre à coûts réduits. Outre l'industrie, deux domaines sont particulièrement concernés : les transports et l'habitat. Le secteur des transports, en particulier, qui connaît la plus forte croissance, et qui dépend à plus de 95 % du pétrole, interpelle non seulement la technologie, mais aussi les modes de vie. De même pour l'habitat, secteur où les possibilités d'actions du politique sont grandes.

En revanche, le développement du Tiers Monde requiert beaucoup d'énergie et doit pouvoir bénéficier des techniques sobres et des concours financiers des pays industriels.

Mais quel que soit l'effort de sobriété, nous aurons toujours besoin d'énergie. Que nous promettent les sources d'énergie qui n'émettent pas de CO₂? Même limitées, les énergies renouvelables apportent une contribution utile. Citons, au premier rang, la biomasse, principalement le bois, qui couvre environ 10% de la consommation mondiale actuelle. Les biocarburants méritent d'être soutenus, même si leur apport reste limité par de faibles productions nettes à l'hectare. L'hydraulique offre encore d'importantes possibilités dans le monde en développement, avec son cortège de contraintes écologiques et sociales. Si le solaire thermique, l'éolien et la géothermie doivent être développés en fonction des territoires et des opportunités, l'espoir le plus important réside dans le photovoltaïque, secteur dans lequel il convient d'accentuer fortement les recherches technologiques.

Objet de débats, souvent passionnés, l'énergie nucléaire est déjà une réalité fournissant 6% de la consommation mondiale d'énergie. Elle est opérationnelle pour la production d'électricité et sa mise en œuvre ne tient qu'à des décisions industrielles et politiques. Produites par des installations de grande taille, elle ne convient qu'aux pays dont le réseau électrique est de taille suffisante, supérieur à 10 GW. Les réacteurs actuels utilisent mal l'uranium et le développement de filières plus efficaces demandera de vingt à trente ans. Le nucléaire doit encore faire face aux questions sensibles du devenir des déchets et de la prolifération. Cependant, dans la lutte contre les émissions de CO₂, l'énergie nucléaire reste un atout important. On ne saurait la rejeter, même si elle ne résout pas tous les problèmes.

De nombreuses propositions sont formulées promettant des ressources merveilleuses, mais de tels espoirs relèvent le plus souvent de l'illusion ou du très long terme; ainsi de l'énergie thermique des mers, de la houle, des courants marins, des roches sèches profondes.

La fusion est la plus vantée des sources d'abondance. Les difficultés scientifiques ou techniques de sa mise en œuvre sont immenses.

Et on ne peut raisonnablement espérer disposer de centrales électriques à fusion avant la fin du siècle.

Pour parvenir à ses utilisateurs, l'énergie passe parfois par des vecteurs. L'électricité en est le plus apprécié pour sa commodité d'usage et de transport. L'hydrogène reste pour l'instant un vecteur virtuel. Combustible idéalement non polluant, il pourrait remplacer le gaz naturel et fait rêver pour son utilisation dans les transports, associé à la pile à combustible qui produirait directement de l'électricité. Le recours à l'hydrogène mérite un effort soutenu de recherche, notamment pour sa production sans émission de CO₂, qui reste délicate. Il implique également la création d'une infrastructure de distribution et d'un cadre réglementaire.

Après la Première Guerre mondiale, les États ont pris conscience de l'importance stratégique du pétrole et sont intervenus pour assurer leurs approvisionnements à des prix stables. Les chocs pétroliers de 1973 et 1979 ont remis en cause le système établi. Les États ont alors cherché à promouvoir des stratégies de substitution au pétrole. Le contre-choc de 1986 a rafraîchi ces velléités et la primauté est revenue aux marchés pour allouer les tonnages et inventer des palliatifs aux instabilités. Mais si le marché est un utile instrument de court terme, il ne tient pas compte des questions de terme plus lointain, comme la sécurité d'approvisionnement ou la conservation de l'environnement. En Europe, depuis l'Acte unique européen de 1986, la définition de la politique énergétique est progressivement passée à Bruxelles. S'est ajoutée la libéralisation, qui sera totale en 2007, de l'électricité et du gaz ; et pour couronner le tout la plupart des États ont délégué des prérogatives parfois excessives aux autorités de régulation, qui ont la responsabilité d'assurer un bon fonctionnement des réseaux.

On touche au paradoxe d'un libéralisme qui crée de nouvelles technocraties, bien plus libres de leurs mouvements que les administra-

tions nationales; et pendant que les États consommateurs se dépouillaient de leurs pouvoirs, les États producteurs renforçaient le leur.

Mais la menace sur l'environnement a obligé les États à se préoccuper davantage des enjeux liés à l'énergie. Ainsi a-t-on abouti en 1987 à la déclaration unanime de Rio sur la défense de l'environnement, qui a abouti en 1993 le protocole de Kyoto, lequel a fixé des objectifs de réduction des émissions. Le résultat est pourtant plutôt décevant : des États ne sont pas parties prenantes, comme la Chine ; d'autres ne l'ont pas ratifié, comme les États-Unis ; d'autres enfin ne respectent pas leurs engagements. Ajoutons que ce protocole permet des échappatoires dont on constate déjà l'effet pervers : des industriels préfèrent exporter la pollution que la combattre, entraînant, en outre, des pertes d'emploi dans les pays d'origine.

Le fond du problème tient à la corrélation entre croissance économique et consommation d'énergie : peut-on les découpler ? À partir de quel niveau de richesse les États consacrent-ils des ressources à la réduction de la consommation d'énergie ? Quelles sont les limites de la technologie ? Le PIB est-il une bonne mesure du progrès et de la qualité de vie ? On peut en douter, puisqu'il comptabilise positivement les productions utiles et les nuisances. Il conviendrait donc de l'amender en y incluant des critères environnementaux.

Les conséquences de l'aggravation de l'effet de serre sont inquiétantes. Elles dictent d'agir vite et fort. Une division par quatre des émissions des pays riches serait nécessaire d'ici 2050. Défi impossible à relever sans une forte détermination politique, soutenue par l'opinion publique, le tout dans la durée. Un grand effort d'explication s'impose pour commencer vite tout en agissant progressivement, condition du succès.

L'occasion ne doit pas être manquée de relancer, aux plans français et européen, un modèle de croissance fondée sur la connaissance et le progrès, ainsi que nous y invitait le sommet de Lisbonne. Il faut

enfin décider de se doter d'une recherche coordonnée et ambitieuse dans le domaine des énergies nouvelles, renouvelables et durables, du traitement des déchets nucléaires, des véhicules électriques et hybrides. Plus fondamentalement, la capture, le transport et le stockage du CO₂, ainsi que la filière hydrogène et la pile à combustible, doivent bénéficier d'initiatives et de moyens publics importants.

Mais alors qu'aucune initiative n'est en fait laissée aux régions, l'État a multiplié en France commissions, agences, pôles de compétitivité... Sept organismes de recherche, au moins, interviennent dans le domaine de l'énergie, conduisant à une dispersion et un saupoudrage regrettables alors qu'il conviendrait de concentrer les efforts, de désigner des chefs de file et d'évaluer ensuite les résultats.

Si nous voulons réellement diminuer nos émissions de gaz à effet de serre, nos comportements devront changer. La fiscalité est l'instrument privilégié pour y inciter. Un outil bien adapté serait une « subventaxe » c'est-à-dire la combinaison d'une taxe et de subventions, sans aggravation de la pression fiscale. Le principe est simple. On commence par définir un indicateur de référence reflétant le niveau de pollution. Le dépasser entraîne une taxation, en revanche faire mieux donne droit à une subvention. On peut ajuster le processus pour que taxes et subventions se compensent. La mobilité et les bâtiments constituent les cibles prioritaires pour l'instauration d'une « subventaxe ».

Un bâtiment dure longtemps, plus de cinquante ans. Modérer son impact sur l'environnement doit faire partie de toute action à long terme. Pour inciter les propriétaires à investir en vue de diminuer ou, au moins, de limiter les incidences sur l'environnement, faisons évoluer progressivement la taxe foncière vers une « subventaxe ».

Il y a trente ans, un Français parcourait en moyenne 6 km par jour; aujourd'hui il est passé à 35 km. Cette libre mobilité est un acquis, qu'il convient de préserver; en se souvenant toutefois que, si la liberté n'a pas de prix, elle a un coût. Ce coût n'est pas complètement réper-

cuté sur l'utilisateur ; c'est une subvention indirecte, incitation à la mobilité sauvage. Il convient désormais de réduire les parcs urbains de véhicules, tout en poursuivant les efforts pour la conception et la diffusion de modèles faiblement émetteurs de gaz à effet de serre.

Une politique vigoureuse au bénéfice du transport par rail des marchandises et des voyageurs trouvera son essor avec une conception plus vertueuse des fléchages budgétaires et fiscaux des collectivités publiques.

Mesurons d'ailleurs la chance de la France et de l'Europe de bénéficier, dans l'ensemble, de villes à taille humaine, comparativement aux grandes mégapoles asiatiques ou américaines. La qualité de la vie doit y être soigneusement préservée. Education, culture, sport, cohésion sociale et protection de l'environnement restent les meilleurs atouts dans notre compétition mondiale. Évitions les phénomènes pénalisants d'étalement urbain en promouvant la ville compacte et conviviale.

Chacun de nous est responsable d'émissions de CO₂ qui affectent le monde entier. La lutte ne peut être que globale. Mais si le principe est universel, sa mise en œuvre doit être différenciée selon le niveau de développement des pays. Notre avenir dépend désormais de la capacité à réunir un consensus international dans la lutte contre le réchauffement climatique. Nous devons pour cela renforcer notre présence dans les instances européennes pour y promouvoir des conceptions moins libérales, plus déterminées et plus solidaires. Soixante ans après la Seconde Guerre mondiale, l'ONU cherche toujours ses marques politiques. Son destin passe pourtant aussi par son aptitude à fonder une véritable Organisation mondiale de l'environnement qui imposerait à chaque État un critère climatique, modulable selon la situation économique, sociale et environnementale du pays.

Face au péril climatique, la tâche est donc immense. A ceux qui seraient tentés par le découragement et la résignation, rappelons

que les évolutions majeures de société et les progrès technologiques qui les accompagnent ont toujours été source d'expansion économique et de progrès social. Il n'y a pas d'avenir pour les attitudes frileuses, les postures anti-progrès, la décroissance, le repli sur soi, qui tournent le dos à la connaissance, au savoir, à l'avenir et finalement à l'homme.

La «révolution durable» nécessaire naîtra de la rencontre entre une opinion publique consciente des enjeux et des responsables politiques et économiques déterminés et imaginatifs. Nos concitoyens, préoccupés à juste titre par un chômage persistant, reportent désormais leurs espoirs vers les générations à venir. S'ouvre la perspective du développement durable dont la mise en œuvre repose sur des dynamiques locales, nationales, européenne et mondiale.

C'est une chance pour l'humanité.

Alors, énergie et climat, couple durable ou infernal ?

La réponse nous appartient !

Annexes

Bilans énergétiques de la France, de l'Europe et du Monde

Date des données	2004	2004	2004
Unité	Mtep	Mtep	Qtep
Production			
Pétrole	1,4	134	3,9
Gaz naturel	1,1	182	2,4
Charbon	0,6	190	2,7
Total Production combustibles fossiles	3,1	506	9,0
Electricité nucléaire	115,9	254	0,7
Electricité hydraulique	5,3	26	0,3
Electricité renouvelable (éolien, photovoltaïque, etc.)	0,4	8	0,0
Chaleur renouvelable	10,3	75	1,0
Total Production énergétique	136,9	880	11,1
Consommation			
Pétrole	92,6	686	3,8
Gaz naturel	40,0	410	2,4
Charbon	13,1	253	2,8
Total Consommation combustibles fossiles	145,7	1349	9,0
Electricité	117,2	289	1,0
Chaleur	10,3	75	1,0
Total Consommation énergétique	273,2	1712	11,0

France : DGEMP

Europe : Eurostat

Monde : BP stats

Glossaire

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

AOT : Autorité Organisatrice de Transport

- CRE** : Commission de régulation de l'énergie
- DIDEME** : Direction de la demande et des marchés énergétiques (Ministère de l'Industrie)
- EER** : Espace européen de recherche
- Exajoule** : 10^{18} joule (un milliard de milliard de Joule)
- GIEC** : Groupe Intergouvernemental d'experts sur le climat
- GJ** : milliard de Joule
- GTep** : milliard de tonnes équivalent pétrole
- Gtonnes** : milliard de tonnes
- GW** : milliard de Watts
- GWh** : milliard de kWh
- kW** : millier de Watt
- kWh** : équivalent à 3,6 millions de Joule
- MJ** : million de Joule
- Mtonnes** : million de tonnes
- MW** : million de Watt
- MWh** : équivalent à 3,6 milliards de Joule
- IPCC** : Intergouvernemental Panel on Climate Change
- Joule** : unité d'énergie
- MTep** : million de tonnes équivalent pétrole
- MW** : million de Watts
- OMC** : Organisation Mondiale du Commerce
- PAC** : piles à combustible
- PIB** : Produit intérieur brut
- PNUE** : Programme des Nations-Unies pour l'Environnement
- R&D** : Recherche et développement
- RT 2005** : Réglementation thermique 2005 (normes applicables à la construction neuve)
- UNFCC** : United Nations Framework Convention on Climate Change
- Tep** : tonne équivalent pétrole (1 tep = 42 GJ)
- TIPP** : Taxe intérieure sur les produits pétroliers
- TWh** : milliard de kWh
- Watt** : unité de puissance (1 Joule = 1 Watt * 1 seconde)

RÉFÉRENCES

La plupart des données utilisées proviennent des références suivantes :

BP Statistical review of world energy (2005)
AIE World energy outlook 2004
AIE Energy statistics (oil, natural gas, coal, electricity, CO₂)
DOE-EIA statistics
World Energy Production 1800-1985 (1991) CNRS-CHEI
Base de données DGEMP – PEGASE
Inventaires gaz à effet de serre UNFCCC
Enerdata
United Nations statistical database
Eurostat

Références spécifiques des figures

Figure 1 : http://isls SCP2.sesda.com/ISLSCP2_1/html_pages/parameter_list.html

Figure 2 : AIE World Energy Outlook

Figure 3 : CLIP n° 17 – Le stockage du CO₂ (2004)

Figure 4 : SO₂ Global Sulfur Emissions by country D.I. Stern (2005)

Figure 5 : DOE-EIA

Figure 6 : World Energy Production et BP stats pour le passé, les auteurs pour le futur

Figure 7 : Enerdata

Figure 8 : World Energy Production, DOE-EIA

Figure 9 : IAEA – PRIS, CEA – Elecnucl

Figure 10 : NYMEX

Figure 11 : Point Carbon

Figure 12 : World population and GDP 1-2003 (2006) A. Maddison

Figure 13 : idem

Figure 14 : DGEMP pour le passé et la référence, les auteurs pour le scénario innovant

Figure 15 : Mémento statistique des transports, Ministère de l'équipement, des transports, de l'Aménagement du territoire, du tourisme et de la mer

Figure 16 : UNFCC database

Introduction

Une prise de conscience citoyenne	7
Refonder le développement durable	10
L'énergie au cœur des enjeux	11
Énergie et climat : couple infernal ou durable ?	12

Le péril environnemental

L'effet de serre, un phénomène indispensable à la vie, perturbé par l'activité humaine	
Un péril universel	13
Une réaction urgente et d'envergure	16
Les sources des émissions de CO ₂	20
L'exemple réussi de la réduction des émissions de SO ₂	21
Le dilemme du péril environnemental	23

État des lieux

L'épuisement des ressources fossiles ?	29
La séquestration du CO ₂ : un rêve technologique ?	31
La réduction de la demande	33
Les transports	
Le résidentiel et le tertiaire	
L'industrie	
L'électricité	
Les énergies non émettrices de CO ₂	41
L'avenir prometteur des énergies renouvelables	
L'énergie nucléaire	

Les énergies non carbonées porteuses de peu d'espoir à moyen terme	54
La fusion	
Les sources renouvelables probablement utopiques	
L'hydrogène : un nouveau vecteur énergétique ?	57
Les régulations économiques et politiques	
Le développement des marchés énergétiques	61
L'évolution du rôle du pouvoir politique	65
L'espoir déçu du protocole de Kyoto	70
Un nouveau modèle de croissance	73
Commencer vite, agir progressivement	
L'adhésion du plus grand nombre, condition de changement	77
Les orientations pour la recherche et l'industrie	80
Les orientations sociétales	86
Une redéfinition de la fiscalité énergétique	
La réforme du bâti	
Une nouvelle ère de mobilité durable	
L'avènement des villes compactes	
L'adaptation du secteur agricole	
Une nouvelle politique internationale	101
Le nécessaire consensus mondial	
La relance du protocole de Kyoto	
Une politique européenne cohérente et durable, sans attendre	
Une Organisation Mondiale de l'Environnement	
Réduire significativement les émissions de CO ₂ d'ici 2020, c'est possible !	109
Conclusion	113
ANNEXES	121

**La Fondation Jean-Jaurès
est une fondation politique.**

La Fondation Jean-Jaurès a été créée en 1992.

La Fondation Jean-Jaurès, reconnue d'utilité publique le 21 février 1992, a pour buts, selon ses statuts,

“de favoriser l'étude du mouvement ouvrier et du socialisme international, de promouvoir les idéaux démocratiques et humanistes par le débat d'idées et la recherche, de mener des actions de coopération économique et culturelle concourant à l'essor du pluralisme et de la démocratie dans le monde”.

La Fondation Jean-Jaurès
est présidée par Pierre Mauroy.

Collection Fondation Jean-Jaurès/PLON
Directeur de la publication : Gilles Finchelstein
Rédacteur en chef : Laurent Cohen

Maquette : Antonio Bellavita
Réalisation : Béatrice Villemant
Impression : Inckôo-75017 Paris.
Imprimé en France en juillet 2006
N° *ISSN* : 1294 - 6133

Fondation Jean-Jaurès
12, cité Malesherbes - 75009 Paris
Téléphone : 01 40 23 24 00
Télécopie : 01 40 23 24 01
e-mail : fondation@jean-jaures.org
web : www.jean-jaures.org

