

Développement de l'énergie nucléaire

L'énergie nucléaire et le Protocole de Kyoto

AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

En vertu de l'article 1^{er} de la Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, et entrée en vigueur le 30 septembre 1961, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a pour objectif de promouvoir des politiques visant :

- à réaliser la plus forte expansion de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays Membres, tout en maintenant la stabilité financière, et à contribuer ainsi au développement de l'économie mondiale ;
- à contribuer à une saine expansion économique dans les pays Membres, ainsi que les pays non membres, en voie de développement économique ;
- à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire conformément aux obligations internationales.

Les pays Membres originaires de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. Les pays suivants sont ultérieurement devenus Membres par adhésion aux dates indiquées ci-après : le Japon (28 avril 1964), la Finlande (28 janvier 1969), l'Australie (7 juin 1971), la Nouvelle-Zélande (29 mai 1973), le Mexique (18 mai 1994), la République tchèque (21 décembre 1995), la Hongrie (7 mai 1996), la Pologne (22 novembre 1996), la Corée (12 décembre 1996) et la République slovaque (14 décembre 2000). La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE (article 13 de la Convention de l'OCDE).

L'AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a été créée le 1^{er} février 1958 sous le nom d'Agence européenne pour l'énergie nucléaire de l'OECE. Elle a pris sa dénomination actuelle le 20 avril 1972, lorsque le Japon est devenu son premier pays Membre de plein exercice non européen. L'Agence compte actuellement 28 pays Membres de l'OCDE : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la République de Corée, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe également à ses travaux.

La mission de l'AEN est :

- d'aider ses pays Membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques ; et
- de fournir des évaluations faisant autorité et de dégager des convergences de vues sur des questions importantes qui serviront aux gouvernements à définir leur politique nucléaire, et contribueront aux analyses plus générales des politiques réalisées par l'OCDE concernant des aspects tels que l'énergie et le développement durable.

Les domaines de compétence de l'AEN comprennent la sûreté nucléaire et le régime des autorisations, la gestion des déchets radioactifs, la radioprotection, les sciences nucléaires, les aspects économiques et technologiques du cycle du combustible, le droit et la responsabilité nucléaires et l'information du public. La Banque de données de l'AEN procure aux pays participants des services scientifiques concernant les données nucléaires et les programmes de calcul.

Pour ces activités, ainsi que pour d'autres travaux connexes, l'AEN collabore étroitement avec l'Agence internationale de l'énergie atomique à Vienne, avec laquelle un Accord de coopération est en vigueur, ainsi qu'avec d'autres organisations internationales opérant dans le domaine de l'énergie nucléaire.

© OCDE 2002

Les permissions de reproduction partielle à usage non commercial ou destinée à une formation doivent être adressées au Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris, France. Tél. (33-1) 44 07 47 70. Fax (33-1) 46 34 67 19, pour tous les pays à l'exception des États-Unis. Aux États-Unis, l'autorisation doit être obtenue du Copyright Clearance Center, Service Client, (508)750-8400, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA, ou CCC Online : <http://www.copyright.com/>. Toute autre demande d'autorisation ou de traduction totale ou partielle de cette publication doit être adressée aux Éditions de l'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France.

AVANT-PROPOS

Cette publication présente des informations sur l'énergie nucléaire et le Protocole de Kyoto à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Elle décrit brièvement les causes et les conséquences du réchauffement planétaire, met en lumière les grandes lignes du cadre international visant à réduire et atténuer les risques de changements climatiques et examine le rôle que l'énergie nucléaire est susceptible de jouer à cet égard.

L'objectif de ce livre, qui ne préjuge pas des politiques des pays Membres en matière d'énergie nucléaire ni de leurs choix en vue de faire face aux préoccupations liées aux changements climatiques, est de clarifier les questions relatives à l'énergie nucléaire et au Protocole de Kyoto. Il fournit des données et des analyses susceptibles d'être utiles dans les processus nationaux de prise de décision.

Ce rapport est une contribution de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) aux travaux de l'Organisation sur les changements climatiques et plus généralement sur le développement durable. Il a été préparé par le Secrétariat de l'AEN, assisté par un consultant, Monsieur Leonard L. Bennett, que l'Agence tient à remercier de sa contribution. Le document a bénéficié également des commentaires et suggestions des représentants des pays Membres et des observateurs d'autres organisations internationales au sein du Comité chargé des études techniques et économiques sur le développement de l'énergie nucléaire. Il est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-Propos	3
Note de synthèse	7
1. Introduction	11
2. Le réchauffement planétaire et ses conséquences	13
3. Évolution des émissions et concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère	19
4. Baisse des émissions de CO ₂ imputables aux centrales nucléaires en service aujourd'hui	21
5. Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques	27
6. Le Protocole de Kyoto	29
7. Application conjointe et mécanisme pour un développement propre	31
8. Échanges de droits d'émission et valeur du carbone	39
9. Après 2008-2012	43
10. Modes de production d'électricité émettant peu de carbone	51
Annexe : Classification des pays dans la CCNUCC	55
Références	57

NOTE DE SYNTHÈSE

Le Protocole de Kyoto¹ à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), signé en 1997, prévoit la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) d'ici 2008-2012. Pourtant, au cours des années 90, les émissions mondiales de CO₂ se sont accrues de près de 9 % et cela malgré une baisse de 32 % dans les pays en transition vers une économie de marché que l'on doit imputer à la récession économique plutôt qu'à une volonté délibérée de contrôler les émissions de GES. La majorité des pays de l'OCDE ont émis davantage de CO₂ depuis 1990, et non l'inverse. Pour l'ensemble des pays de l'OCDE, cette progression s'élève à plus de 10 % entre 1990 et 1999.

Si l'on étudie de manière approfondie les émissions de GES des différentes filières de production de l'électricité, l'énergie nucléaire apparaît comme celle qui a la plus faible intensité de carbone, avec des émissions de 2.5 à 5.7 g de GES (exprimés en grammes d'équivalent C) par kWh d'électricité produite (gC_{eq}/kWh) contre 105 à 366 gC_{eq}/kWh pour la production thermique classique et 2.5-76 gC_{eq}/kWh pour les énergies renouvelables. Si l'on fait l'hypothèse que les tranches nucléaires actuellement en service remplacent des centrales thermiques classiques modernes, l'énergie nucléaire permet d'abaisser aujourd'hui les émissions de CO₂ du secteur énergétique de plus de 8 % dans le monde entier (pour le secteur électrique, cette réduction représente 17 %).

Dans les pays de l'OCDE, les centrales nucléaires ont déjà contribué, depuis 40 ans, à nettement diminuer la production de gaz à effet de serre du secteur électrique. Sans l'énergie nucléaire, les émissions de dioxyde de carbone des centrales des pays de l'OCDE seraient supérieures d'environ un tiers à leur niveau actuel. L'économie ainsi réalisée représente près de 1 200 millions de tonnes de dioxyde de carbone ou environ 10 % des émissions totales de CO₂ imputables à la consommation d'énergie. Les objectifs du Protocole de Kyoto demandent une réduction totale des émissions de dioxyde de carbone d'environ 700 millions de tonnes vers 2008-2012, par rapport au niveau de 1990. Si toutes les centrales nucléaires des pays de l'OCDE devaient cesser de fonctionner dans

1. Les chapitres 5 et 6 donnent des détails sur la CCNUCC et le Protocole de Kyoto.

les prochaines décennies il faudrait, pour atteindre les objectifs de Kyoto, compenser l'accroissement des émissions de CO₂ qui risquerait de résulter de ces arrêts soit par leur remplacement intégral par des sources n'émettant pas de carbone, soit par une réduction additionnelle de 1 200 millions de tonnes de CO₂ dans les autres secteurs de l'économie.

Le Protocole de Kyoto n'interdit pas de bénéficier des avantages de l'énergie nucléaire en termes de réduction des émissions de dioxyde de carbone. La construction de nouvelles centrales nucléaires aidera les pays qui ont choisi de recourir à cette source d'énergie pour satisfaire une partie de leurs besoins domestiques à atteindre les objectifs de Kyoto.

En revanche, le Protocole de Kyoto contient des dispositions qui aboutissent en fait à exclure l'énergie nucléaire des solutions envisageables pour la mise en œuvre de deux des trois « mécanismes de flexibilité » auxquels les Parties visées à l'annexe I² peuvent recourir, en plus des mesures prises au niveau national, pour remplir leurs engagements. Ces trois mécanismes sont : les projets conjoints (article 6), le mécanisme pour un développement « propre » (MDP, article 12) et les échanges d'unités de réduction des émissions (article 17). Les restrictions relatives à l'énergie nucléaire ne s'appliquent pas à l'échange d'unités de réduction des émissions.

Les arguments pour et contre le recours à l'énergie nucléaire dans le cadre des mécanismes de flexibilité semblent découler de différentes conceptions du développement durable et des types de systèmes énergétiques correspondants à ces conceptions. Pour certains, l'énergie nucléaire ne possède aucune propriété fondamentale qui pourrait l'exclure définitivement des stratégies énergétiques durables, et il faut conserver les moyens d'y recourir et de la développer à moyen et à long terme. D'autres, au contraire, lui attribuent des spécificités, liées à la sûreté, au stockage des déchets radioactifs et à la prolifération des armements nucléaires, interdisant de considérer son exploitation comme durable.

La sixième Conférence des Parties à la CCNUCC (COP6) a affirmé qu'il appartient à la Partie hôte de décider si un projet contribue ou non à son développement durable. De ce fait, le MDP n'interdit pas à un pays hors annexe I des recourir à l'énergie nucléaire, mais l'empêche de bénéficier des subsides du MDC pour ce faire.

2. Les différentes catégories de pays Parties à la CCNUCC sont décrites en annexe.

Jusqu'à présent, les objectifs et mécanismes de flexibilité se rapportent seulement à la période d'engagement du Protocole de Kyoto (2008-2012). Bien que l'entrée en vigueur du Protocole de Kyoto soit de nature à renforcer la pertinence d'utiliser des technologies n'émettant pratiquement pas de carbone, telle l'énergie nucléaire, c'est au delà de 2012 que l'énergie nucléaire pourra véritablement contribuer à la réduction des émissions de GES. C'est également à cette échéance que la réflexion sur la place de l'énergie nucléaire dans une perspective de développement durable prendra toute son importance.

L'exclusion de l'énergie nucléaire de deux des mécanismes de flexibilité pendant la période d'engagement actuelle a un impact essentiellement symbolique sur le développement de l'énergie nucléaire d'ici 2012. Très peu de tranches nucléaires auraient, en fait, pu être commandées au titre de ces mécanismes. Pourtant, le débat sur l'énergie nucléaire qui a conduit à l'exclure de ces mécanismes pourrait avoir des prolongements négatifs au cours de la période ultérieure. C'est pourquoi, il importe que des organisations telles que l'AEN continuent à fournir des informations exactes et fiables sur le rôle que pourrait jouer l'énergie nucléaire dans des stratégies visant à atténuer ou stabiliser les émissions de gaz à effet de serre du secteur énergétique.

1. INTRODUCTION

Ce rapport vise à analyser comment la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) et les dispositions du Protocole de Kyoto à cette convention peuvent influencer sur l'évolution future de l'énergie nucléaire. Tout d'abord le chapitre 2 évoque les risques d'un réchauffement du climat de la planète et leurs conséquences. D'après le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), ces effets pourraient comprendre : une aggravation ou une recrudescence des accidents météorologiques, un déplacement des zones climatiques susceptible de se répercuter sur la production alimentaire de certaines régions, des répercussions sur des ressources en eau déjà limitées, la détérioration des infrastructures matérielles due à la montée du niveau des océans et à des catastrophes météorologiques, et des répercussions indésirables sur les activités économiques. Le chapitre suivant (chapitre 3) évoque l'évolution des émissions et concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, qui révèle une importante augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère (de plus de 30 %) depuis l'industrialisation (c'est-à-dire avec la combustion accrue des combustibles fossiles). On notera que la concentration actuelle de CO₂ n'a jamais été dépassée au cours des 420 000, voire des 20 millions, d'années précédentes. Le chapitre 4 fait ressortir la forte réduction des émissions de CO₂ imputable aux centrales nucléaires en service aujourd'hui. Il apparaît que, si les 438 réacteurs nucléaires actuellement exploités dans 21 pays (85 % de la puissance nucléaire installée dans le monde se trouvent dans les pays Membres de l'OCDE) devaient être fermés et remplacés par des centrales thermiques modernes, les émissions de CO₂ du secteur énergétique augmenteraient de 8 % environ (d'un tiers dans les pays Membres de l'OCDE).

Certains éléments essentiels de la Convention-cadre sont décrit au chapitre 5 tandis que le Protocole de Kyoto est présenté brièvement au chapitre 6. Les mécanismes de flexibilité du Protocole de Kyoto et leurs répercussions sur l'énergie nucléaire font l'objet du chapitre 7 (application conjointe et mécanismes pour un développement « propre ») et du chapitre 8 (échanges de droits d'émission et valeur du carbone). Il y est souligné que si la réduction des émissions de CO₂ était le seul objectif visé par les mécanismes de flexibilité, il serait logique de n'écarter aucune technologie susceptible d'y

contribuer, sachant que, dans chaque situation, ce sera l'option la plus rentable qui sera finalement choisie. Or, ce n'est pas le cas, puisque les installations nucléaires sont explicitement exclues de deux des mécanismes de flexibilité, du moins pour la réalisation des objectifs de réduction d'émissions dans la période d'engagement couverte par le Protocole de Kyoto (2008-2012). Cette exclusion revêt un caractère largement symbolique, étant donné le très petit nombre de centrales nucléaires qui pourraient être construites dans le cadre de ces mécanismes de flexibilité et contribuer à la réduction des émissions d'ici 2008-2012. Cependant, cette exclusion risque de perdurer lors de la négociation des futures périodes d'engagement et objectifs d'émission.

Les perspectives au-delà de 2008-2012 (c'est-à-dire au-delà de Kyoto) sont évoquées au chapitre 9. Il apparaît que, si le processus des négociations sur le changement climatique aboutit à la décision de stabiliser les concentrations de CO₂ à un niveau équivalent au double environ des niveaux préindustriels, les objectifs de réduction d'émissions devront être encore plus contraignants que ceux spécifiés dans le Protocole de Kyoto et la participation de tous les pays sera nécessaire. Ce chapitre présente les résultats de scénarios d'évolution à long terme de l'offre et de la demande d'énergie qui révèlent qu'une plus large exploitation de l'énergie nucléaire pourrait jouer un rôle de premier plan dans des stratégies énergétiques destinées à atténuer ou stabiliser les émissions de CO₂ dans l'atmosphère terrestre.

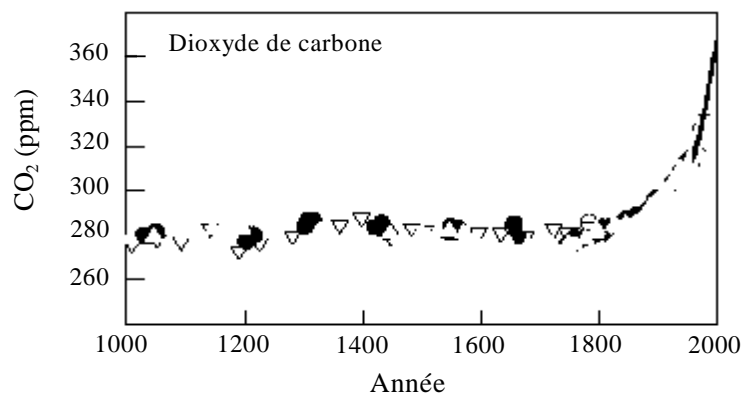
Enfin, le chapitre 10 résume les émissions de gaz à effet de serre à toutes les étapes des différentes filières de production d'électricité et montre que sur la base des émissions globales de la chaîne énergétique, le nucléaire se situe à un niveau similaire à celui des énergies renouvelables et très en dessous de celui des énergies fossiles.

2. LE RÉCHAUFFEMENT PLANÉTAIRE ET SES CONSÉQUENCES

Le climat terrestre est déterminé par un flux continu d'énergie qui nous parvient du soleil sous forme de lumière visible essentiellement. Environ 30 % de cette énergie est renvoyée dans l'espace, tandis que la majorité des 70 % restants traverse l'atmosphère et réchauffe la surface de la Terre. Pour que la Terre ne se réchauffe pas trop, cette énergie doit être renvoyée dans l'espace. Cependant, notre planète, qui est beaucoup plus froide que le soleil, n'émet pas d'énergie sous forme de lumière visible mais sous forme de rayonnement infrarouge (invisible). Ce rayonnement ne traverse pas directement l'atmosphère, il est absorbé par des gaz (comme la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, l'ozone, le méthane, l'oxyde nitreux et les hydrocarbures halogénés, plus d'autres gaz industriels) présents dans l'atmosphère. À l'exception des gaz industriels, tous ces gaz existent à l'état naturel et représentent un peu moins de 1 % de l'atmosphère. Ce pourcentage peut paraître infime, mais il est suffisant pour produire un « effet de serre » naturel qui maintient la Terre à une température supérieure de 30 % environ à ce qu'elle serait sinon, différence essentielle aux formes de vies que nous connaissons [1].

Le problème vient de ce que les concentrations atmosphériques de tous les principaux gaz à effet de serre (à l'exception peut-être de la vapeur d'eau) augmentent sous l'effet direct des activités humaines. Les niveaux du dioxyde de carbone auraient varié de moins de 10 % au cours des 10 000 années qui ont précédé l'ère industrielle mais, depuis 1800, c'est-à-dire 200 ans, ils ont augmenté de plus de 30 % (voir figure 1).

Figure 1. **Concentration du CO₂ dans l'atmosphère au cours du dernier millénaire**



(source: <http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf>. Summary for Policy Makers – A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC Third Assessment Report – Climate Change 2001)

Bien que la moitié des émissions de CO₂ soit absorbée par les océans et la végétation, les niveaux atmosphériques continuent de progresser à raison de 10 % tous les 20 ans. C'est ainsi que la hausse des concentrations de dioxyde de carbone (imputables essentiellement à la combustion des combustibles fossiles), de méthane et d'oxyde nitreux (agriculture et changements d'affectation des terres), d'ozone (gaz d'échappement et autres sources) et de gaz industriels à longue durée de vie (CFC, HFC et PFC) accentuent le phénomène de piégeage par l'atmosphère du rayonnement infrarouge émis par la surface de la terre. Il en résulte une intensification de l'effet de serre qui provoque un réchauffement général de la surface de la terre (voir figure 2) et de la basse atmosphère qui, à son tour, modifie le climat de la planète.

Potentiel de réchauffement de la planète des GES

Le potentiel de réchauffement de la planète (PRP) est une mesure de la capacité d'un gaz de capter la chaleur rayonnée par la surface de la Terre par rapport à un gaz de référence, en général le CO₂. On trouvera ci-dessous les estimations du PRP effectuées par le GIEC pour la plupart des GES couramment émis.

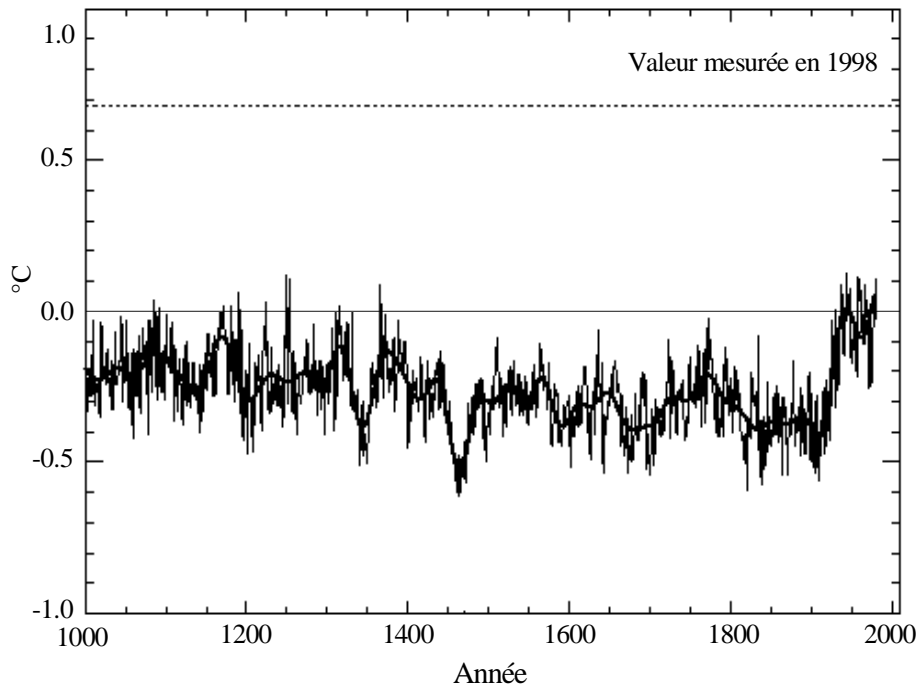
- dioxyde de carbone (CO₂) = 1
- méthane (CH₄) = 21
- oxyde nitreux (N₂O) = 310
- hexafluorure de soufre (SF₆) = 23 900
- tétrafluorométhane (CF₄) = 6 500
- hydrofluorocarbones (HFC) :
HFC-134a = 1 300
- chlorofluorocarbones (CFC):
CFC-114 = 9 300
- hydrochlorofluorocarbones (HCFC):
HCFC-22 = 1 700

Les changements climatiques provoqués par les activités humaines risquent d'avoir des effets indésirables sur l'habitat et l'économie de la quasi-totalité de la planète. C'est ce qui ressort des conclusions du troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) [2], approuvé au début de 2001. Ce rapport a été établi par des milliers de spécialistes travaillant pour des universités, des organismes publics, l'industrie et des organisations environnementales du monde entier et représentant toutes les disciplines scientifiques pertinentes (sciences naturelles et sociales, technologies).

Récemment, le Président du GIEC a résumé les résultats des travaux de ce groupe dans une communication présentée à la sixième session de la CCNUCC [3]:

Certes, il existe une majorité écrasante de spécialistes des pays développés et en voie de développement pour dire qu'il subsiste des incertitudes scientifiques. Toutefois, il est à peu près certain que les activités humaines ont provoqué un réchauffement de notre planète au cours des 100 dernières années et qu'elles continueront d'altérer le climat.

Figure 2. Reconstitution des températures dans l'hémisphère nord



(Source: <http://www.ipcc.ch/pub/wg1TARtechsum.pdf> – Technical summary: A report accepted by Working Group I of the IPCC but not approved in detail – IPCC Third Assessment Report - Climate Change 2001)

Il ne s'agit donc pas de savoir si le climat continuera de se modifier avec les activités humaines mais quelle sera l'ampleur du changement (son importance), où il interviendra (ses variations régionales) et quand (son rythme). Il ne fait pas de doute non plus que ce changement climatique aura des répercussions négatives sur les secteurs socio-économiques de bien des régions du monde, et notamment sur les ressources en eau, l'agriculture, la foresterie, les pêcheries et les habitats humains, les systèmes écologiques (en particulier les récifs coralliens) et la santé de l'homme (maladies véhiculées par les insectes). De fait, le troisième rapport d'évaluation du GIEC conclut qu'une majorité d'entre nous devra en subir les conséquences néfastes.

La bonne nouvelle est que, de l'avis du GIEC, il existe un large éventail de technologies qui permettent de réduire fortement les émissions nettes de gaz à effet de serre aux niveaux de la fourniture et de la consommation

d'énergie et dans les secteurs agricole et forestier, souvent à un coût nul ou faible pour la société.

Si la volonté de pallier les changements climatiques ne débouche pas sur des politiques de maîtrise des émissions, les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère devraient passer du niveau actuel de 370 ppm³ à un chiffre situé entre 490 et 1 260 ppm d'ici 2100, suivant le scénario envisagé. Il faudra donc fournir un effort considérable pour stabiliser les concentrations en-dessous de ces niveaux. Par exemple, stabiliser les concentrations à 450 ppm suppose que les émissions mondiales passent en-dessous des niveaux de 1990 au cours des prochaines décennies. Compte tenu de la croissance démographique et de la poursuite du développement économique, cette stabilisation exigerait une amélioration spectaculaire du rendement d'utilisation de l'énergie et des changements technologiques dans les systèmes de production d'énergie, par exemple l'adoption de systèmes qui émettent peu ou pas de CO₂.

Les modèles climatiques prévoient une hausse de la température de la planète d'environ 1,4 à 5,8°C d'ici 2100 si rien n'est fait pour maîtriser les émissions de gaz à effet de serre [1]. Cette projection repose sur une large panoplie d'hypothèses concernant les principaux facteurs à l'origine des émissions, par exemple la croissance démographique et le changement technologique. En général, le risque de dégradation s'accroît avec le rythme du changement climatique car les systèmes naturels s'adaptent mal à un changement rapide.

Parmi les effets, on prévoit une augmentation des précipitations mondiales et une évolution de la gravité et/ou de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes (tempêtes et inondations). Les zones climatiques seraient remodelées, perturbant les forêts, les déserts, les zones de pâture naturelles et tout autre écosystème non exploité, ce qui pourrait provoquer le dépérissement ou le morcellement de ces systèmes et la disparition de certaines espèces. Au niveau mondial, la sécurité alimentaire ne devrait pas être menacée, bien que la production alimentaire puisse être localement compromise, provoquant pénuries et famines. Les modifications des régimes d'évaporation et de précipitation dans le monde se répercuteront sur les ressources en eau. Les infrastructures matérielles seront endommagées par l'élévation du niveau des mers et par les accidents météorologiques. Les activités économiques, la santé et les établissements humains subiront les multiples conséquences directes et

3. ppm (parties par million) ou ppb (parties par milliard, 1 milliard = 1 000 millions) est le rapport du nombre de molécules de gaz à effet de serre au nombre total de molécules d'air sec. Par exemple, une valeur de 300 ppm représente 300 molécules de gaz à effet de serre par million de molécules d'air sec.

indirectes de ce réchauffement. Les pauvres et les démunis sont aussi les plus exposés aux effets des changements climatiques.

Comme l'a fait remarquer le président du GIEC, la bonne nouvelle est qu'il existe de multiples moyens de limiter les émissions de GES à court et à moyen terme. Les décideurs peuvent favoriser l'efficacité énergétique ainsi que d'autres mesures en faveur du climat, tant au niveau de la production d'énergie que de sa consommation, par exemple en créant un cadre économique et réglementaire qui réponde aux besoins des consommateurs et des investisseurs. Ce cadre doit être de nature à favoriser des initiatives rentables, l'utilisation des meilleures technologies actuelles et futures et le choix de stratégies « sans regret ». Les réglementations, les normes, les permis d'émissions négociables, les programmes d'information, les actions volontaires ou l'abandon de subventions contre-productives, sont autant d'outils appelés à jouer un jour un rôle. Quoi qu'il en soit, la mise en place de ces mesures comme d'autres, exige une forte volonté des pouvoirs publics et des organisations internationales.

Le « Principe de la Précaution » impose de prendre des mesures dès à présent pour réduire les émissions de gaz à effet de serre même si des incertitudes scientifiques importantes demeurent sur les risques associés au changement climatique.

3. ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS ET CONCENTRATIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DANS L'ATMOSPHÈRE

Dans sa synthèse destinée aux décideurs [4], le Groupe de travail n°1 du GIEC conclut que les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et le forçage radiatif qu'elles provoquent ont continué d'augmenter avec les activités humaines. Pour chaque gaz à effet de serre, les résultats précis présentés dans le rapport sont les suivants :

- La concentration de CO₂ dans l'atmosphère a augmenté de 31 % depuis 1750. La concentration actuelle n'a jamais été dépassée au cours des 420 000 dernières années, et probablement pas non plus pendant 20 millions d'années. Elle progresse aujourd'hui à un rythme inégalé pendant 20 000 ans au moins.
- Les trois-quarts environ des émissions anthropiques de CO₂ dans l'atmosphère au cours des vingt dernières années sont dus à la combustion des combustibles fossiles. Le reste est essentiellement imputable aux changements d'utilisation des terres, en particulier à la déforestation.
- La concentration atmosphérique de CO₂ a progressé au rythme de 1,5 ppm environ (0,4 %) par an au cours des vingt dernières années. Dans les années 90, l'augmentation annuelle se situait entre 0,9 ppm (0,2 %) et 2,8 ppm (0,8 %). Cette fluctuation est due en grande partie à l'effet de la variabilité climatique (phénomènes tels qu'El Niño) sur l'absorption et la libération de CO₂ par la végétation et les océans.
- La concentration atmosphérique de CH₄ a augmenté de 1 060 ppb (151 %) depuis 1750 et poursuit sa courbe ascendante. La concentration actuelle n'a jamais été dépassée au cours des 420 000 dernières années. Toutefois, son rythme de croissance annuel s'est ralenti, devenant plus fluctuant dans les années 90 par rapport aux années 80. Un peu plus de la moitié des émissions de CH₄ aujourd'hui sont d'origine anthropique (combustion des combustibles fossiles, bétail, riziculture et décharges). Par ailleurs, on vient de découvrir que les émissions de monoxyde de carbone pouvaient être à l'origine d'une augmentation des concentrations de CH₄.

- La concentration atmosphérique de N₂O a augmenté de 46 ppb (17 %) depuis 1750 et ne cesse de progresser. La concentration actuelle représente un niveau record pour les mille dernières années au moins. Environ un tiers des émissions actuelles de N₂O sont d'origine anthropique (terres agricoles, parcs d'engraissement de bovins et industries chimiques).
- Depuis 1995, les concentrations atmosphériques de beaucoup des hydrocarbures halogénés responsables à la fois de la disparition de la couche d'ozone et de l'effet de serre (par exemple, le CFC₁₃ et le CF₂Cl₃) progressent plus lentement, voire diminuent, à cause du Protocole de Montréal et de ses amendements. Les composés qui ont été adoptés pour les remplacer (par exemple, le CHF₂Cl et le CF₃CH₂F) ainsi que d'autres composés de synthèse (hydrocarbures perfluorés (PFC) et hexafluorure de soufre (SF₆) notamment) sont également des gaz à effet de serre, et leurs concentrations sont en train d'augmenter.

Le Protocole de Kyoto (voir chapitre 6) préconise de réduire les GES d'ici 2008-2012. Pourtant, comme le montre le tableau 1, les émissions mondiales de CO₂ ont augmenté de près de 9 % dans les années 90, et cela malgré une baisse de 32 % dans les pays en transition vers une économie de marché que l'on doit imputer plutôt à la récession et à la restructuration économiques qu'à une volonté délibérée de contrôler les émissions de GES. Dans la majorité des pays de l'OCDE les émissions de CO₂ ont progressé, et non régressé, depuis 1990 et, dans les pays en transition, la reprise économique ne fera qu'accroître le problème.

De tous les pays de l'annexe I, c'est le groupe européen qui obtient les meilleurs résultats, puisque, en 1999, ses émissions n'avaient progressé que de 0,7 % par rapport à 1990. Malgré tout, d'ici la fin de la période d'engagement 2008-2012, les pays de l'Union européenne devront en fait abaisser leurs émissions d'au moins 8 % par rapport à 1990. Pour les autres pays de l'OCDE, la situation est encore plus grave. Les États-Unis doivent réduire de 7 % leurs émissions⁴ entre 1990 et la période d'engagement alors que leurs émissions ont en fait augmenté de 15,2 % entre 1990 et 1999. Au Canada, elles ont augmenté de 16,1 % alors qu'elles doivent diminuer de 6 % d'ici 2008-2012. Au Japon, où les émissions devaient être réduites de 8 % conformément au Protocole de Kyoto, elles avaient cru en 1999 de 10,5 %. Même l'Australie qui s'était vu concéder une hausse de 8 % jusqu'à la fin de la période d'engagement avait déjà enregistré une progression de 23,8 % en 1999.

4. Notons, toutefois, que les États-Unis ont annoncé qu'ils n'accepteraient pas les réductions d'émissions exigées par le Protocole de Kyoto.

4. BAISSÉ DES ÉMISSIONS DE CO₂ IMPUTABLES AUX CENTRALES NUCLÉAIRES EN SERVICE AUJOURD'HUI

L'avenir de l'énergie nucléaire dans un contexte de changement climatique est examiné dans un rapport de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) [5], où les pays Membres de l'AIE reconnaissent que l'énergie nucléaire pourrait jouer un rôle dans un parc énergétique durable. Ces pays ont adopté en 1993 des « objectifs communs », à savoir des principes permettant aux « secteurs énergétiques de leurs économies de contribuer aussi pleinement que possible à l'essor économique durable ». Les objectifs communs font référence à l'énergie nucléaire pour sa contribution à la diversité d'approvisionnement mais aussi à la fourniture et à l'utilisation de l'énergie dans des conditions écologiquement viables. Les objectifs communs font valoir que « un certain nombre des pays Membres de l'AIE souhaitent que l'énergie nucléaire continue à faire partie des possibilités énergétiques d'avenir, tout en y apportant des perfectionnements, et dans le respect des normes de sûreté les plus strictes, car son emploi n'entraîne pas d'émissions de dioxyde de carbone. » Cependant, le rapport souligne qu'un certain nombre de difficultés doivent être surmontées pour que l'énergie nucléaire contribue à un approvisionnement énergétique durable. Il s'agit notamment de s'assurer que les produits de fission et les déchets radioactifs à vie longue soient traités de façon sûre et sans danger pour l'environnement. S'il reconnaît que des données techniques laissent entrevoir la possibilité de résoudre ce problème, le rapport juge que la mise en œuvre pratique comporte des incertitudes d'ordre politique.

Le Conseil mondial de l'énergie [6] souligne également la nécessité de préserver toutes les options énergétiques car, si certains pays Membres du CME doutent de l'avenir de l'énergie nucléaire, la plupart sont convaincus qu'il faut en stabiliser la contribution pour éventuellement l'étendre. Ces derniers préconisent d'encourager les efforts pour développer une technologie nucléaire intrinsèquement sûre et à faible coût. Pour les membres du CME, ce sont en fin de compte les critères du marché qui décideront en fait de l'avenir de toutes les sources d'énergie.

À la fin de 2000, 438 réacteurs nucléaires étaient exploités dans 31 pays, soit une puissance installée totale de 350 GWe (près de 85 % de cette puissance

se trouvent dans les pays Membres de l'OCDE) [7]. En 2000, les centrales nucléaires ont produit 2 450 TWh, ce qui représente 16 % de la production totale d'électricité dans le monde ou encore près de 6 % de la consommation d'énergie primaire commerciale [8].

Tableau 1. **Niveaux globaux et régionaux de CO₂ dus à l'utilisation de combustibles (en million de tonnes de CO₂) [Réf. 10, pp. 28-29]**

	1990	1999	Changements (%) 1990 à 1999
Annexe I	13 811	13 592	-1,6
Annexe II	9 942	10 952	10,2
<i>Amérique du Nord</i>	<i>5 267</i>	<i>6 074</i>	<i>15,3</i>
Canada	421	489	16,1
États-Unis	4 846	5 585	15,2
<i>Europe</i>	<i>3 344</i>	<i>3 368</i>	<i>0,7</i>
Allemagne	966	822	-15,0
Autriche	57,0	60,5	6,1
Belgique	106	119	11,8
Danemark	49,7	53,3	7,2
Espagne	212	272	28,6
Finlande	53,4	57,8	8,4
France (1)	364	361	-0,7
Grèce	69,0	81,5	18,2
Irlande	32,2	39,9	24,1
Islande	2,0	2,1	3,3
Italie	397	420	6,0
Luxembourg	10,5	7,5	-28,3
Norvège	28,5	37,1	30,4
Pays-Bas	156	166	6,4
Portugal	39,9	61,1	53,1
Royaume-Uni	572	535	-6,5
Suède	48,5	48,2	-0,6
Suisse (1)	41,1	39,8	-3,1
Turquie	138	183	32,2
<i>Pacifique</i>	<i>1 331</i>	<i>1 511</i>	<i>13,5</i>
Australie	260	322,4	24
Japon	1 048	1 158	10,5
Nouvelle Zélande	23,0	30,6	33,1

Tableau 1. Niveaux globaux et régionaux de CO₂ dus à l'utilisation de combustibles (en million de tonnes de CO₂) [Réf. 10, pp. 28-29] (suite)

	1990	1999	Changements (%) 1990 à 1999
Économies en transition (EITs)	3 869 (e)	2 639	-31,8
Biélorussie	na	57,1	na
Bulgarie	76,1	43,8	-42,5
Croatie	na	19,0	na
Estonie	na	14,7	na
Fédération Russe	na	1 486	na
Hongrie	67,6	57,8	-14,4
Lettonie	na	6,8	na
Lithuanie	na	13,0	na
Pologne	348	310	-11,0
République Slovaque	55,3	39,4	-28,9
République Tchèque	150	111	-26,5
Roumanie	172	86,6	-49,5
Slovénie	12,8	15,0	17,0
Ukraine	na	379	na
Non-annexe I	6 840	8 822	29,0
Afrique	600	730	21,8
Amérique Latine	919	1 222	33,0
Asie (excl. Chine)	1 614	2 541	57,4
Autres pays de l'ex-URSS	576	324	-43,7
Chine	2 429	3 051	25,6
Moyen Orient	584	886	51,8
Pays d'Europe non-OCDE	119	67,5	-43,2
Soutages maritimes	348	424	21,6
Soutages de l'aviation	280	335	19,8
Total Monde	21 279	23 172	8,9

Notes :

(1) Les émissions de Monaco sont comptabilisées avec celles de la France et celles du Liechtenstein avec celles de la Suisse.

(e) Estimations.

nd = non disponible.

L'énergie nucléaire contribue pour beaucoup à la baisse des émissions de carbone du secteur énergétique. Une analyse exhaustive des émissions de GES de différentes filières de production d'électricité (voir chapitre 10) place l'énergie nucléaire parmi celles qui ont la moindre intensité de carbone car elle ne produit pas de fumées et que les émissions sur l'ensemble de la filière ne représentent que 2,5 à 5,7 grammes de GES (exprimés en grammes d'équivalent C) par kWh d'électricité produite (gC_{eq}/kWh), un chiffre à comparer aux 105 à 366 gC_{eq}/kWh des filières thermiques classiques et aux 2,5 à 76 gC_{eq}/kWh des énergies renouvelables. En admettant que les tranches nucléaires actuellement exploitées se substituent à des centrales thermiques classiques modernes, l'énergie nucléaire permet aujourd'hui de réduire de plus de 8 % les émissions de CO₂ du secteur énergétique dans le monde (pour le seul secteur électrique, ce pourcentage est d'environ 17 %). S'agissant des pays de l'OCDE, un rapport récemment publié par l'AIE [19] observait que l'énergie nucléaire a déjà contribué de manière significative à abaisser les quantités de gaz à effet de serre produites par les centrales électriques dans les pays de l'OCDE au cours des quarante dernières années. Sans cette énergie, les émissions de dioxyde de carbone des centrales seraient aujourd'hui d'environ un tiers supérieures, ce qui représente une économie annuelle de 1 200 millions de tonnes de dioxyde de carbone, soit 10 % des émissions totales de CO₂ liées à la consommation d'énergie dans la zone OCDE. Les objectifs du Protocole de Kyoto appellent à une réduction des émissions de dioxyde de carbone des pays de l'OCDE de 700 million de tonnes d'ici 2008-2012 par rapport aux niveaux de 1990. Si toutes les centrales nucléaires des pays de la zone OCDE devaient cesser de fonctionner dans les décennies qui viennent, la montant des réductions effectives à réaliser serait accru de 1 200 millions de tonnes.

La figure 3 présente le pourcentage d'émissions de dioxyde de carbone évitées, à l'échelle de la planète, grâce à l'exploitation des centrales nucléaires et hydrauliques entre 1965 et 1993. On constate que le pourcentage de CO₂ que le recours à l'hydraulique a permis d'éviter a peu progressé, à savoir de 6,4 % en 1965 à 8,6 % en 1993, tandis que le chiffre pour l'énergie nucléaire passait de 0,2 % à plus de 8 %. Il apparaît par conséquent que le développement des parcs électronucléaires a largement contribué à éviter des émissions de CO₂ mondiales.

Le cas de la France est illustré sur les figures 4 et 5 qui montrent respectivement les contributions des différentes sources d'énergie à la production d'électricité d'Électricité de France (EdF) ainsi que les émissions de CO₂ de cette même entreprise. On peut voir sur la figure 4 que le développement rapide du parc nucléaire français s'est effectivement opéré au détriment des combustibles fossiles. En 1993, EdF produisait 82,5 % de son électricité dans des centrales nucléaires (si l'on inclut la production d'autres

entreprises, l'énergie nucléaire représentait près de 78 % de la production totale d'électricité de la France). La figure 5 illustre la baisse spectaculaire des émissions de CO₂ d'EdF correspondant au déclin des combustibles fossiles. La reprise temporaire des émissions entre 1988 et 1991 s'explique par les faibles précipitations dont a souffert la production hydraulique ainsi que par des problèmes qui ont empêché d'utiliser à plein les centrales nucléaires. Cette conjonction d'événements a conduit à exploiter davantage les centrales thermiques classiques. Si la puissance nucléaire installée n'avait pas continué d'augmenter, cette hausse des émissions aurait pu être plus importante.

Figure 3. Pourcentage des émissions de CO₂ évitées par l'énergie hydraulique et l'énergie nucléaire

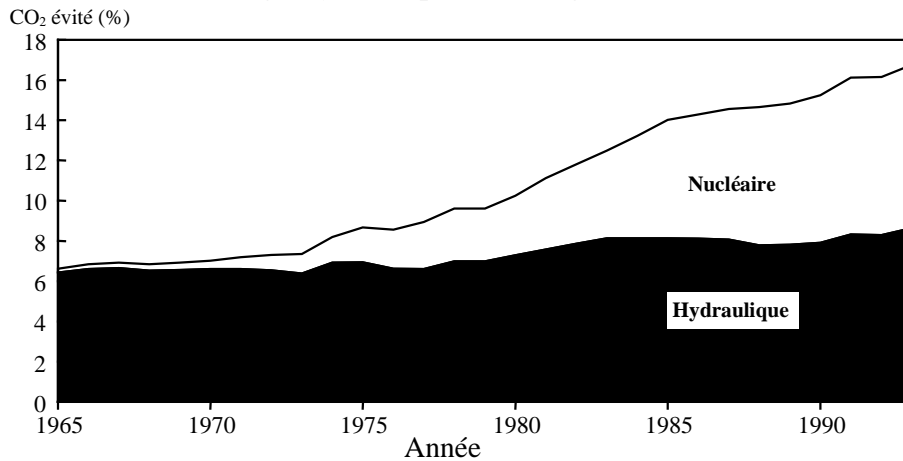


Figure 4. Production d'électricité d'EdF par différentes sources

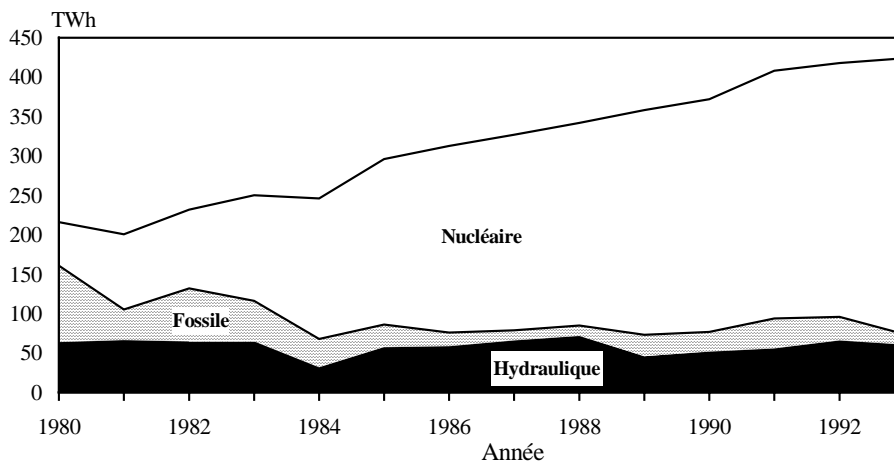
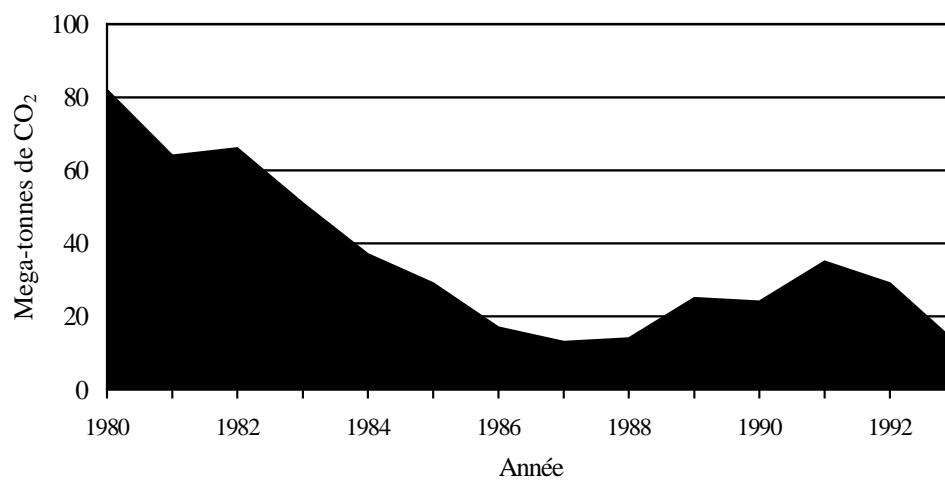


Figure 5. Émissions de CO₂ des centrales EDF



5. CONVENTION-CADRE DES NATIONS UNIES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

La Convention-cadre sur les changements climatiques [9] a été adoptée à New York le 9 mai 1992 au terme de deux ans environ de négociations et est entrée en vigueur le 21 mars 1994. Elle a été ratifiée par près de 180 pays conscients de la nécessité de stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère terrestre.

L'« objectif ultime » de la Convention est de « stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique ». Cet objectif ne précise pas à quel niveau doivent se situer les concentrations de GES mais seulement qu'il ne doit pas être dangereux. La Convention stipule également que « il conviendra d'atteindre ce niveau dans un délai suffisant pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements climatiques, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable. » Par conséquent, il s'agit essentiellement de préserver la production alimentaire – peut-être l'activité humaine la plus sensible au climat – et le développement économique. Ce texte suggère aussi qu'un changement climatique est inévitable (ce que la plupart des climatologues pensent) et qu'il faut prendre des mesures pour s'y adapter mais aussi pour l'éviter.

Dans l'article 3, la Convention invite les Parties à se laisser guider, entre autres, par les dispositions suivantes :

- Il incombe aux Parties de préserver le système climatique dans l'intérêt des générations présentes et futures, sur la base de l'équité et en fonction de leurs responsabilités communes mais différenciées et de leurs capacités respectives. Il appartient, en conséquence, aux pays développés Parties d'être à l'avant-garde de la lutte contre les changements climatiques et leurs effets néfastes.
- Il convient de tenir pleinement compte des besoins spécifiques et de la situation spéciale des pays en développement, notamment de ceux qui sont particulièrement vulnérables aux effets néfastes des

changements climatiques ainsi que des pays auxquels la Convention imposerait une charge disproportionnée ou anormale.

- Il incombe de prendre des mesures de précaution pour prévoir, prévenir ou atténuer les causes des changements climatiques et en limiter les effets néfastes. Quand il y a risque de perturbations graves ou irréversibles, l'absence de certitudes scientifiques absolues ne doit pas servir de prétexte pour différer l'adoption de telles mesures, étant entendu que ces politiques et mesures requièrent un bon rapport coût-efficacité.
- Il appartient aux Parties à la Convention de travailler de concert à un système économique international qui soit porteur et ouvert et qui mène à une croissance économique et à un développement durable de toutes les Parties, en particulier des pays en développement. Il convient d'éviter que les mesures prises pour lutter contre les changements climatiques constituent un moyen d'imposer des discriminations arbitraires ou injustifiables sur le plan du commerce international, ou des entraves déguisées à ce commerce.

Deux groupes de Parties, essentiellement des pays développés, sont énumérés aux annexes I et II de la Convention (voir annexe du présent rapport). Les Parties figurant à l'annexe 1 s'engagent spécifiquement à :

- Adopter des politiques nationales – expression qui recouvre les politiques et mesures adoptées par les organisations d'intégration économique régionale – pour limiter leurs émissions anthropiques de GES et protéger et renforcer leurs puits et réservoirs de GES. Ces Parties peuvent appliquer ces politiques et mesures en association avec d'autres Parties (application conjointe, voir chapitre 7) et aider d'autres Parties à contribuer à l'objectif de la Convention.
- Dans les six mois suivant l'entrée en vigueur de la Convention, puis à intervalles périodiques, ces Parties soumettront des informations détaillées sur leurs politiques et mesures de même que sur les projections qui en résultent quant aux émissions par leurs sources et à l'absorption par leurs puits de GES (non réglementés par le Protocole de Montréal de 1987 relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone).

Les Parties figurant à l'annexe II fournissent des ressources financières nouvelles et additionnelles pour couvrir la totalité des coûts convenus encourus par les pays en développement Parties du fait de l'exécution de leurs obligations découlant de la Convention (essentiellement l'établissement, par des méthodes agréées, des inventaires nationaux d'émissions anthropiques de GES par sources et des quantités absorbées par les puits).

6. LE PROTOCOLE DE KYOTO

Le Protocole de Kyoto à la CCNUCC a été adopté par consensus à la troisième session de la Conférence des Parties (COP3) en décembre 1997 et a été ouvert à la signature le 16 mars 1997 pour une durée d'un an [9]. Ce protocole entrera en vigueur 90 jours après sa ratification par au moins 55 Parties à la CCNUCC dont des pays développés et les pays en transition vers une économie de marché représentant au minimum 55 % des émissions totales de dioxyde de carbone en 1990 de l'ensemble des pays de l'annexe I. À la fin 2000 et en 2001, des désaccords politiques quant à la manière d'appliquer le Protocole ont ralenti le rythme des ratifications, ce qui n'empêche pas les gouvernements de respecter en attendant leurs engagements au titre de la Convention.

Ce Protocole contient des objectifs d'émission juridiquement contraignants pour les Parties visées à l'annexe I qui collectivement doivent réduire leurs émissions de six gaz à effet de serre⁵ d'au moins 5,2 % avant la fin de la période 2008-2012 (la période d'engagement), les émissions étant moyennées sur cette période de cinq ans. Ces six gaz sont regroupés dans un « panier », et les réductions des émissions opérées pour chaque gaz sont traduites en « équivalents CO₂ » qui sont additionnés pour donner un seul chiffre. Le Protocole n'établit pas d'objectifs de réduction d'émissions pour les pays hors annexe I.

Les réductions des émissions des trois gaz les plus importants, à savoir le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O) seront mesurées par rapport à l'année de référence qui est 1990 (avec des exceptions pour les économies en transition – EET). En revanche, la diminution des émissions des trois gaz industriels à longue durée de vie, les hydrofluorocarbones (HFC), les hydrocarbures perfluorés (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆), peut être mesurée soit par rapport à 1990, soit par

5. Dioxyde de carbone (CO₂), méthane (CH₄), oxyde nitreux (N₂O), hydrofluorocarbones (HFC), hydrocarbures perfluorés (PFC), hexafluorure de soufre (SF₆).

rapport à 1995. Un groupe important de gaz industriels, à savoir les chlorofluorocarbones (CFC), font l'objet du Protocole de Montréal.

Le détail des réductions à opérer par les différents pays de l'annexe I pour atteindre l'objectif global est le suivant : 8 % pour la Suisse, la plupart des États d'Europe centrale et orientale et l'Union européenne (les États membres de l'Union européenne atteindront leur objectif global en se répartissant l'effort) ; 7 % pour les États-Unis ; 6 % pour le Canada, la Hongrie, le Japon et la Pologne. La Russie, la Nouvelle-Zélande et l'Ukraine doivent stabiliser leurs émissions aux niveaux de 1990, tandis que la Norvège peut augmenter les siennes de 1 %, l'Australie de 8 % et l'Islande de 10 % au maximum [9].

7. APPLICATION CONJOINTE ET MÉCANISME POUR UN DÉVELOPPEMENT PROPRE

Les articles 6, 12 et 17 du Protocole de Kyoto définissent trois mécanismes de flexibilité auxquels peuvent recourir les Parties de l'annexe I, en plus des mesures prises au niveau national, pour atteindre plus facilement leurs objectifs de réduction des émissions [10]. Ces trois mécanismes sont : l'application conjointe (article 6), le mécanisme pour un développement propre (article 12) et les échanges de droits d'émissions (Article 17). Nous aborderons les deux premiers mécanismes dans ce chapitre, tandis que le troisième sera évoqué dans le chapitre suivant avec la valeur du carbone.

7.1 Application conjointe

L'article 6 du Protocole stipule : « Afin de remplir ses engagements au titre de l'article 3, toute Partie visée à l'annexe I peut céder à toute autre Partie ayant le même statut, ou acquérir auprès d'elle, des unités de réduction des émissions découlant de projets visant à réduire les émissions anthropiques par les sources ou à renforcer les absorptions anthropiques par les puits de gaz à effet de serre dans tout secteur de l'économie pour autant que :

- Tout projet de ce type ait l'agrément des Parties concernées ;
- Tout projet de ce type permette une réduction des émissions par les sources, ou un renforcement des absorptions par les puits, s'ajoutant à ceux qui pourraient être obtenus autrement ;
- La Partie concernée (souhaitant acquérir des unités de réduction des émissions) ne puisse acquérir aucune unité de réduction des émissions si elle ne se conforme pas aux obligations qui lui incombent en vertu des articles 5 et 7 ;
- L'acquisition d'unités de réduction des émissions vienne en complément des mesures prises au niveau national dans le but de remplir les engagements prévus à l'article 3.

On notera que l'article 6 n'autorise ce type de transaction qu'entre Parties de l'annexe I.

L'application conjointe (AC)⁶ a été conçue comme un mécanisme destiné à mobiliser de nouveaux financements pour la réduction des émissions, en favorisant, par exemple, la mise au point de technologies avancées et leur transfert d'une Partie visée à l'Annex I à une autre. Dans la pratique, cette AC devrait normalement prendre la forme d'un partenariat entre investisseurs de pays fortement industrialisés et leurs homologues dans des pays en transition vers une économie de marché. L'investisseur fournira vraisemblablement l'essentiel de la technologie avancée et des ressources financières et son partenaire (le pays hôte), une partie du financement (par exemple, pour l'équipement, les matériaux et la main-d'œuvre d'origine locale), le site où la technologie sera mise en œuvre, la majeure partie des ressources humaines ainsi que l'organisation qui sera chargée de lancer et d'exploiter le projet.

La plupart des implications de l'AC pour l'énergie nucléaire sont identiques à celles du MDP, comme l'indique la section 7.2.1 ci-dessous, à ceci près que l'AC porte sur des projets menés conjointement par des pays visés à l'annexe I, tandis que le MDP concerne des projets réalisés dans des pays hors annexe I avec l'assistance financière et des transferts technologiques des pays de l'annexe I.

7.2 Mécanisme pour un développement propre

Le mécanisme pour un développement propre (MDP) est défini à l'article 12 du Protocole où il est dit : « L'objet du mécanisme pour un développement « propre » est d'aider les Parties ne figurant pas à l'annexe I à parvenir à un développement durable ainsi qu'à contribuer à l'objectif ultime de la Convention, et d'aider les parties visées à l'annexe I à remplir leurs engagements chiffrés de limitation et de réduction de leurs émissions prévus à l'article 3 ». Le MDP doit donc bénéficier tant aux Parties visées à l'annexe I qu'aux autres dans la mesure où :

- les Parties ne figurant pas à l'annexe I tireront parti d'activités exécutées dans le cadre de projets, qui se traduisent par des réductions d'émissions certifiées (REC) ;

6. Bien qu'elle ne figure pas à l'article 6, l'expression « application conjointe » est aujourd'hui couramment employée pour désigner les mesures décrites dans cet article.

- les Parties visées à l'annexe I peuvent utiliser les REC obtenues grâce à ces activités pour remplir une partie de leurs engagements chiffrés de limitation et de réduction des émissions.

L'analyse de l'article 12 révèle que pour bénéficier des dispositions du MDP, un projet ne devra pas seulement réduire les émissions mais aussi :

- produire des REC qui viennent s'ajouter à celles qui se produiraient de toute manière en son absence (c'est le critère de l'« additionnalité environnementale ») ;
- permettre aux Parties hors annexe I de bénéficier de transferts de technologies, de capitaux et de savoir-faire (critères de l'« additionnalité financière et technologique »).

Les problèmes opérationnels et institutionnels que pose le MDP sont évoqués à la référence [11] et les questions liées à l'établissement des niveaux de référence utilisés pour calculer les réductions d'émissions opérées par le projet de MDP font l'objet du document [12].

7.2.1 Implications du MDP pour l'énergie nucléaire

La participation éventuelle de l'énergie nucléaire au MDP a fait l'objet d'âpres discussions, en particulier lors de la sixième session de la Conférence des Parties à la CCNUCC (COP6). Il est évident que le fait d'utiliser l'énergie nucléaire, comme les énergies renouvelables d'ailleurs, dans des projets de MDP destinés à remplacer des installations à combustibles fossiles, permettrait de réduire les émissions de CO₂. Par conséquent, si la réduction des émissions de CO₂ était le seul objectif du MDP, il serait logique de n'écarter aucune technologie susceptible d'y contribuer, sachant que, dans chaque situation, ce sera l'option la plus rentable qui sera finalement choisie.

Pourtant, à la COP6, lors de l'examen de l'article 12, les Parties sont convenues « de reconnaître que les Parties visées à l'annexe I doivent s'abstenir d'utiliser les unités de réduction certifiée des émissions générées par des installations nucléaires pour remplir leurs engagements au titre du paragraphe 1 de l'article 3 ».

Par contre, les Parties sont également convenues « d'affirmer qu'il appartient à la Partie hôte, dont c'est la prérogative, de confirmer si une activité de projet exécutée au titre du mécanisme pour un développement propre contribue à l'instauration d'un développement durable ». Par conséquent, la

Partie hôte aurait la possibilité de déclarer qu'un projet électronucléaire contribue au développement durable. Néanmoins, il est peu vraisemblable qu'un pays de l'annexe I participe à la mise en œuvre d'un projet nucléaire au titre du MDP, s'il n'a pas la possibilité d'utiliser les REC ainsi obtenues pour remplir ses engagements.

Le Protocole de Kyoto, y compris les mécanismes de flexibilité, est le fruit d'un processus à caractère éminemment politique exigeant de multiples arbitrages et compromis pour rapprocher les intérêts contradictoires des Parties et interlocuteurs en présence. De ce fait, il est souvent difficile d'identifier les objectifs et principes fondamentaux des mécanismes prévus ; le MDP ne fait pas exception.

La controverse sur la possibilité ou non d'intégrer l'énergie nucléaire au MDP semble en fait découler de différentes conceptions du développement durable et des types de systèmes énergétiques correspondants. Pour certains, l'énergie nucléaire ne possède aucune propriété qui permettrait de l'exclure définitivement de stratégies énergétiques durables, et il faut conserver la possibilité d'y recourir, éventuellement plus largement, à moyen et à long terme [13]. Pour d'autres, au contraire, certaines particularités de l'énergie nucléaire, liées notamment à la sûreté, au stockage des déchets radioactifs et à la prolifération des armes nucléaires, interdisent de considérer son exploitation comme durable.

On peut percevoir, semble-t-il un troisième point de vue, à savoir que les projets à grande échelle, quels qu'ils soient, ne sont pas durables, et que le MDP doit être réservé à des projets destinés à favoriser les énergies renouvelables et à améliorer l'efficacité énergétique. Selon ce principe, la plupart des projets nucléaires, le plus souvent de très grande échelle devraient être exclus (bien que l'on mette au point actuellement des centrales de plus petite taille), mais aussi les grands projets hydrauliques et les technologies du « charbon propre » avec piégeage et séquestration du CO₂. Un autre facteur, pertinent en particulier pour les petits pays en développement, est que les grands projets qui ne peuvent être envisagés que par de grands pays épuiserait rapidement les investissements disponibles au titre du MDP.

Quelques exemples de déclarations récentes pour et contre l'énergie nucléaire dans une perspective de lutte contre le changement climatique et de développement durable sont donnés dans l'encadré ci-dessous.

Fiche d'information des Amis de la Terre, Ecosse, 1998

L'énergie nucléaire n'est pas une solution au problème du changement climatique : La fin d'un mythe. L'industrie nucléaire table sur le changement climatique pour remettre en selle l'énergie nucléaire. Pourtant, il suffit de considérer les données économiques pour s'apercevoir qu'elle présente peu d'intérêt par rapport aux centrales thermiques classiques. En outre, avec ses coûts élevés, ses délais de construction, les risques environnementaux et les problèmes que pose la gestion des déchets radioactifs, il est clair que l'énergie nucléaire ne constitue pas une solution viable aux changements climatiques. Promouvoir l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables est un moyen plus rapide, plus réaliste et plus durable de réduire les émissions de CO₂.

The National Environmental Trust, Washington, D.C, 1999

L'énergie nucléaire n'est pas une solution rentable au réchauffement de la planète. Coûts excessifs, sûreté insuffisante et manque de compétitivité, il est clair que l'énergie nucléaire n'est pas la bonne solution au réchauffement de la planète. Les administrations fédérale et locales feraient mieux de privilégier la recherche de l'efficacité énergétique et la mise au point de sources d'énergie à la fois propres, sûres et renouvelables, comme les énergies éolienne, solaire, géothermique ou la biomasse.

J. Trittin, Ministre fédéral de l'environnement, de la protection de la nature et de la sûreté nucléaire, 2002

Nous voulons lancer la politique énergétique de demain. Nous voulons mettre en place une politique cohérente. Des sources renouvelables, une efficacité énergétique accrue, des économies d'énergie et la sortie du nucléaire sont autant d'éléments d'une politique à la fois responsable et durable.

Loyola de Palacio, Vice-présidente de la Commission européenne chargée des relations avec le Parlement européen, commissaire européenne en charge des transports et de l'énergie, 2002.

Dans l'état actuel des choses, abandonner l'énergie nucléaire signifie renoncer à la possibilité de lutter contre le changement climatique. Paradoxalement, la contribution de l'énergie nucléaire à la stabilisation des émissions de CO₂ est souvent sous-estimée. L'abandon de l'énergie nucléaire nuirait gravement à la capacité de l'Europe de relever les grands défis, à savoir la poursuite de la croissance économique, qui pourrait être compromise par une trop forte dépendance vis-à-vis des importations, ainsi que le respect des engagements de Kyoto. S'agissant de ces engagements, il nous faut étudier quelle serait la meilleure contribution de l'énergie nucléaire à la mise en œuvre des mécanismes de flexibilité.

Dick Cheney, Vice-président des Etats-Unis, 2001

Si l'on veut sérieusement éliminer les gaz à effet de serre, l'une des solutions consiste à reconsidérer le dossier de l'énergie nucléaire et décider de l'utiliser pour produire de l'électricité sans effets néfastes.

The UK Royal Society et The Royal Academy of Engineering, 1999

Les problèmes que risque de rencontrer l'humanité au cours du siècle prochain sont trop graves pour qu'on ne les prenne pas au sérieux. Il faut résolument mettre au point les énergies renouvelables et développer l'énergie nucléaire. C'est à cette seule condition que l'on peut laisser aux générations futures le choix des solutions, dont certaines pourraient bien se révéler indispensables pour éviter une catastrophe.

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, la COP6 a affirmé qu'il appartient au pays hôte de déterminer si un projet contribue à son développement durable. Ainsi aucun projet de MDP ne doit être imposé à un pays hôte. Par contre, l'exclusion de certaines technologies de ce mécanisme a été vue par certaines Parties ne figurant pas à l'annexe I comme une violation de leur droit souverain à décider de la filière technologique qu'elles souhaitent suivre et elle a pour corollaire d'imposer d'autres technologies. À l'inverse, on peut penser que les Parties qui investissent dans le MDP, voire les instances en charge du MDP, sont libres de décider de la durabilité ou non des technologies, en particulier lorsque l'une d'elles peut avoir des répercussions par delà les frontières, situation envisageable en cas d'accident nucléaire, par exemple. Les défenseurs de cette thèse font valoir que l'exclusion de l'énergie nucléaire du MDP si elle interdit aux pays hors annexe I de bénéficier de subventions au titre du MDP pour la mise en œuvre de projets électronucléaires ne les empêche pas de recourir à l'énergie nucléaire.

Il convient de remarquer que, si les pays de l'annexe I ne sont pas autorisés à bénéficier des réductions de GES associées à la construction de tranches nucléaires dans des pays hors annexe I, il restent libres d'exploiter l'énergie nucléaire chez eux pour respecter leurs engagements de Kyoto.

Dans un rapport [14], l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) conclut que, d'après plusieurs études de cas nationales, les centrales nucléaires permettraient à long terme d'obtenir des REC par rapport aux centrales thermiques classiques qui seraient sinon construites dans ces pays, et donc qu'elles répondent aux critères d'additionnalité environnementale du MDP. Ces études de cas montrent aussi que les projets nucléaires respectent le critère de l'additionnalité financière et technologique dans la mesure où la construction de ces installations exigerait des ressources financières supplémentaires comparée à la construction de centrales thermiques classiques, et que les projets nucléaires supposent les transferts de technologies à destination du pays hôte.

7.2.2 Le MDP et l'énergie nucléaire après 2008-2012

Aujourd'hui, le MDP ne concerne que la période d'engagement du Protocole de Kyoto (2008-2012) étant donné qu'il n'a pas été fixé d'objectif d'émission au-delà de cette période. Même si les projets nucléaires devaient bénéficier des dispositions du MDP, il est peu probable qu'ils puissent être menés à bien et produire des REC d'ici 2012, étant donné les délais nécessaires pour les planifier et les construire. Par conséquent, l'énergie nucléaire n'a de chance de pouvoir contribuer de manière significative à la réduction des émissions de GES dans le cadre du MDP qu'après la période d'engagement du

Protocole de Kyoto. C'est également à cette échéance que la réflexion sur la place de l'énergie nucléaire dans une perspective de développement durable prendra toute son importance.

Bien que l'exclusion de l'énergie nucléaire du MDP pour la période d'engagement actuelle soit largement symbolique (puisque sa contribution aurait été de toute manière marginale), elle revêt de l'importance dans la mesure elle risque de perdurer lorsque seront fixés les périodes d'engagement et objectifs d'émission ultérieurs. Par ailleurs, il y a lieu de se demander si des projets (qu'ils soient nucléaires ou autres) démarrés sous le régime du MDP actuel, mais qui ne produiraient pas de REC avant la fin de la période d'engagement courante, pourraient bénéficier des REC au cours des périodes d'engagement suivantes.

Par conséquent, les discussions sur l'énergie nucléaire qui ont conduit à l'exclure du mécanisme actuel du MDP pourraient avoir des répercussions après 2008-2012. Il importe donc que des organisations telles que l'AEN continuent de diffuser des informations objectives et fiables sur le rôle potentiel de l'énergie nucléaire dans des stratégies visant à atténuer ou stabiliser les émissions de GES du secteur énergétique. Au chapitre 9, certains aspects de la situation après 2008-2012, qui ont été abordés dans un rapport publié par l'AEN en 1998 [15], sont abordés plus en détail.

8. ÉCHANGES DE DROITS D'ÉMISSION ET VALEUR DU CARBONE

8.1 Échanges de droits d'émission

L'article 17 du Protocole de Kyoto permet aux Parties figurant à l'annexe I de participer à des échanges de droits d'émission aux fins de remplir leurs engagements, à condition que ces échanges viennent en complément de mesures prises au niveau national.

Le concept des échanges de droits d'émission est examiné dans son ensemble dans une publication récente de l'Agence internationale de l'énergie [16]. Les acheteurs potentiels seraient des pays où réduire les émissions coûte cher. Les vendeurs, de leur côté, seraient des pays où cette réduction reviendrait moins cher ou qui, en réalité, émettent moins de GES que les objectifs fixés à Kyoto (par exemple les économies en transition). Dans la note de synthèse de cette publication, on rappelle que les défenseurs des échanges de droits d'émission y voient un moyen pour les pouvoirs publics et les entreprises de réduire leurs émissions là où cela coûte le moins cher tandis que les adversaires prétendent que ces échanges sont un outil comptable qui permet de remplacer de véritables réductions des émissions par des transactions sur papier. On trouvera à la référence [17] une analyse des modalités de suivi, de notification et de respect des dispositions du Protocole de Kyoto, échanges de droits d'émission y compris.

D'après les études analytiques et simulations réalisées à ce jour (voir par exemple la référence 16) les échanges de droits d'émission ne constitueraient pas un mécanisme de flexibilité susceptible d'avoir des répercussions importantes sur l'énergie nucléaire et ne seront donc pas approfondis dans le présent rapport. Néanmoins, dans la mesure où l'on parviendra à mettre en place un système d'échanges de droits d'émission qui aura pour effet d'attribuer une valeur marchande aux émissions de carbone évitées, la compétitivité de l'énergie nucléaire par rapport aux sources qui émettent du carbone y gagnerait. C'est pourquoi la valeur du carbone est abordée à la section qui suit.

8.2 Valeur du carbone

Le rapport de l'AIE mentionné ci-dessus [16] contient une analyse de l'intérêt des échanges internationaux de droits d'émission pour le respect au moindre coût des engagements du Protocole de Kyoto. Cette analyse a été effectuée à l'aide d'un modèle fondé sur les relations économétriques entre les activités économiques, les prix et la consommation d'énergie, compte tenu d'une optimisation des choix technologiques de production d'électricité. Ce modèle ne tient compte que des émissions de CO₂, auxquelles il applique les objectifs de réduction fixés dans le Protocole de Kyoto (en pourcentages).

Les résultats de cette analyse, décrite en détail dans le rapport, donnent un prix d'équilibre du marché de 32 USD par tonne de CO₂ (118 USD/tC), en monnaie de 2001 (voir réf. 16, p. 43). Ce résultat concorde globalement avec ceux d'autres modèles présentés sur le tableau 2 du rapport de l'AIE.

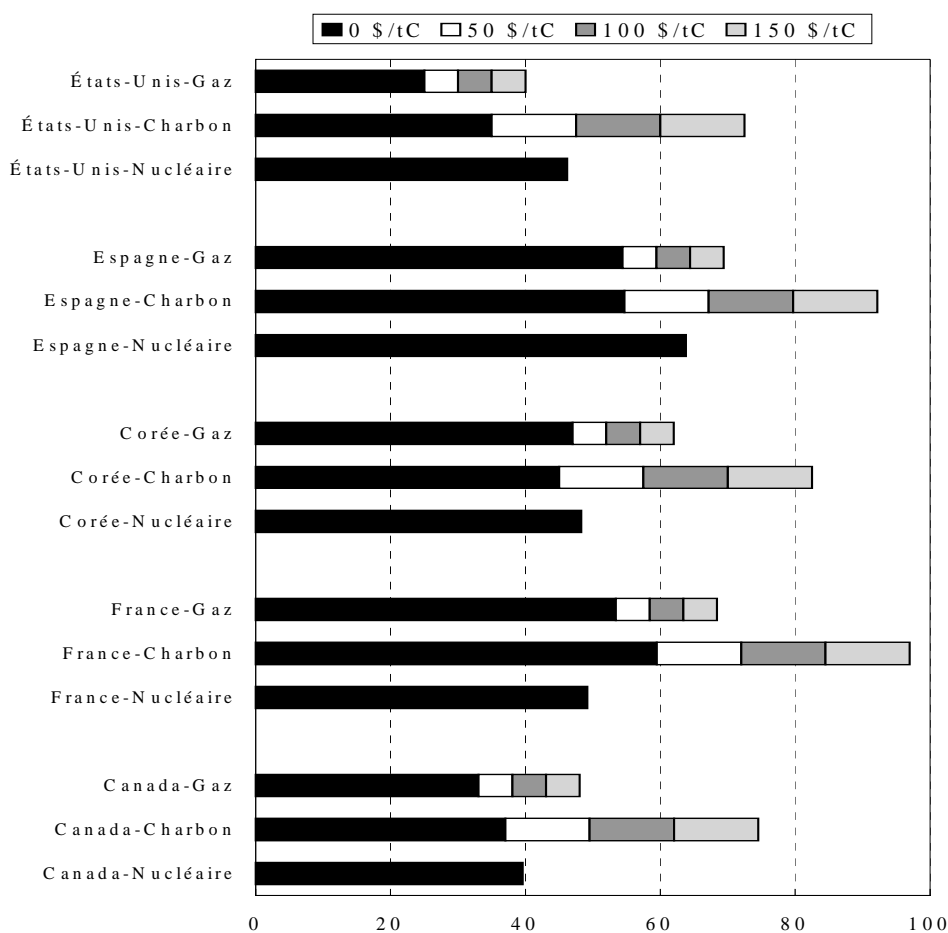
Un système national d'échange de droits d'émissions de GES, le premier de son genre au monde, vient d'être lancé au Royaume-Uni [18]. Des entreprises s'engageant à respecter des plafonds impératifs de réduction d'émissions sur une durée de cinq ans, en échange d'une part des incitations financières offertes, ont participé à des enchères organisées les 11 et 12 mars 2002. Trente-quatre adjudicataires, appelés les participants directs, ont accès à ce dispositif et sont libres d'organiser des échanges depuis le 2 avril 2002 (pour atteindre leurs objectifs; ces organismes peuvent soit réduire leurs propres émissions, soit acheter les excédents alloués à d'autres organismes participants). Ces participants totalisent des objectifs de réduction contraignants s'élevant à 4 millions de tonnes d'équivalent CO₂ d'ici décembre 2007 (soit plus de 5 % de la réduction prévue des émissions annuelles du Royaume-Uni d'ici 2010). Les pouvoirs publics britanniques paieront 53,37 GBP (soit environ 77 USD) par tonne d'équivalent CO₂ évitée (282 USD/tC_{eq}).

Si le prix d'échange peut être considéré comme la « valeur du carbone » et interprété comme une taxe sur les émissions des centrales thermiques classiques, les centrales nucléaires deviendront plus compétitives. On peut calculer approximativement⁷ qu'une valeur du carbone de 1 US/tC majore le coût de la production électrique dans les centrales au gaz de 0.01 centime

7. Cette estimation repose sur les hypothèses suivantes : gaz naturel avec une teneur en carbone de 15 kgC/GJ brûlé dans une centrale à cycle combiné ayant un rendement thermique de 55 % ; charbon à teneur en carbone de 27 kgC/GJ brûlé dans une centrale ayant un rendement thermique de 40 %.

d'USD/kWh et celui de la production dans les centrales au charbon de 0.025 centime d'USD/kWh [5,19]. Les prévisions des coûts de production de l'électricité dans des centrales thermiques classiques et nucléaires ont fait l'objet d'une étude de l'AEN et de l'AIE qui a permis procéder à des comparaisons de coût dans différents pays [20]. Si l'on ajoute le coût des émissions de carbone obtenu de cette manière aux résultats présentés dans l'étude de l'AEN/AIE (en appliquant un taux d'actualisation de 10 %), on obtient, dans un échantillon de pays, les résultats présentés sur la figure 6.

Figure 6. Effet d'une taxe sur le carbone sur le coût actualisé de la production d'électricité dans différents pays (taux d'actualisation 10 %)



9. APRÈS 2008-2012

Comme nous l'avons vu dans les sections précédentes, les engagements pris à Kyoto par les pays de l'annexe I en matière de réduction des émissions de GES ne s'appliquent que sur la période d'engagement du Protocole (2008-2012). Par ailleurs, les objectifs d'émissions fixés dans le Protocole aboutissent à une baisse globale relativement modeste de 5,2 % des émissions de ces Parties par rapport aux niveaux de 1990. Or, sur cette même période, les émissions semblent condamnées à grimper rapidement dans les autres pays du fait qu'ils sont en plein développement et qu'il leur faut accroître leur production d'énergie pour satisfaire les besoins de populations de plus en plus nombreuses. Avec les progrès accomplis sur la voie de la mise en œuvre du Protocole de Kyoto (par exemple la décision récente de l'Union européenne de ratifier le Protocole), on peut s'attendre à ce que les engagements de réduction pour les périodes à venir et la participation de toutes les nations (y compris les pays ne figurant pas à l'annexe I) seront abordés lors des négociations internationales futures.

Les études actuelles sur les répercussions des changements climatiques démontrent que des fluctuations, mêmes très limitées, de la température moyenne de la planète peuvent avoir des impacts significatifs sur des écosystèmes rares et déjà menacés, tels que les récifs coralliens et les glaciers, ainsi que sur les populations de certaines régions mais aussi qu'elles peuvent entraîner une aggravation et une recrudescence des phénomènes climatiques extrêmes.

S'agissant des effets économiques du changement climatique, les études montrent que les dommages provoqués par une hausse relativement faible de la température moyenne mondiale ne seront pas uniformément répartis. Dans certaines régions, les plus vulnérables notamment, on observera des effets négatifs, alors qu'ailleurs, des conditions climatiques plus favorables peuvent avoir des incidences positives. Cependant, si la température augmente davantage, toutes les régions devraient ressentir des effets négatifs. Par conséquent, avant de définir une politique pour faire face au changement climatique, il faudra s'accorder sur l'importance et le rythme du changement de température qui peut être jugé acceptable au regard de l'objectif ultime de la CCNUCC, à savoir empêcher « toute perturbation anthropique dangereuse du

système climatique ». Même si les décideurs parviennent à s'entendre sur une valeur limite du changement de la température moyenne mondiale à ne pas dépasser, il reste aujourd'hui d'importantes incertitudes scientifiques quant à la concentration atmosphérique de GES qui provoque un changement de température donné ainsi qu'au niveau et au rythme des émissions qui permettraient d'éviter de dépasser une concentration atmosphérique donnée. C'est pourquoi il sera difficile de fixer des objectifs d'émissions à long terme.

Plusieurs études d'impact fixent, à titre d'hypothèse, à 550 ppm (c'est-à-dire à peu près deux fois les niveaux préindustriels) la concentration atmosphérique de CO₂ stabilisée en 2100, qui devrait provoquer une hausse moyenne de la température mondiale de 1 à 3°C. Si le processus de négociation sur le changement climatique doit déboucher sur un accord de stabilisation à cette concentration, les émissions mondiales devront culminer vers 2025 pour retomber à des niveaux inférieurs aux chiffres actuels d'ici 2040 à 2070 [3]. Pour atteindre ce résultat, il faudra fixer des objectifs de réduction d'émissions beaucoup plus sévères que ceux convenus pour la période d'engagement du Protocole de Kyoto sachant en outre que tous les pays devront participer.

Dans une étude récemment publiée [21], un groupe d'experts international a étudié différents scénarios de l'offre et de la demande d'énergie jusqu'en 2100. Ce groupe comprenait trois équipes d'analystes (au Japon, en Russie et aux États-Unis) travaillant sur différents modèles soumis ensuite à des comparaisons et à des tests de cohérence de façon à garantir la robustesse des résultats.

Le cadre et les résultats du rapport se prêtent parfaitement à une analyse de la place de l'énergie nucléaire dans la période post-Kyoto. Cette étude avait en effet pour objectif premier d'analyser le rôle potentiel de l'énergie nucléaire dans des politiques énergétiques durables à long terme (jusqu'en 2100) visant à atténuer les émissions et à stabiliser les concentrations atmosphériques de GES, en particulier de CO₂.

Les deux scénarios de la demande d'énergie mondiale analysés dans cette étude décrivent des futurs contrastés. Dans le premier, à savoir un scénario de statu quo, on part du principe que la croissance future de la demande d'énergie ne sera pas influencée par les mesures adoptées par les pouvoirs publics spécifiquement dans le but de protéger l'environnement (par exemple, taxes sur le carbone ou objectifs de réduction des émissions contraignants). En revanche, dans le deuxième scénario, appelé « scénario écologique », on part du point de vue contraire, à savoir la mise en place de mesures spécifiques de protection de

l'environnement⁸ pour atténuer les risques de changement climatique. Nous décrirons ci-dessous les principales caractéristiques et conséquences du scénario écologique, en nous attardant sur le rapport entre le développement de l'énergie nucléaire et les émissions de GES.

Dans chacun des scénarios de la demande d'énergie, l'étude analysait deux situations opposées pour l'énergie nucléaire. La première, appelée « option de base » (OB), suppose que la production électronucléaire (les applications non électriques de l'énergie nucléaire ne sont pas prises en compte) augmente en fonction de la compétitivité économique de cette énergie par rapport aux autres moyens de production de l'électricité. La deuxième option, appelée « sortie du nucléaire » (SN), prévoit que l'énergie nucléaire sera pratiquement éliminée des parcs de production électrique vers le milieu du siècle, par décision nationale et quelle que soit sa compétitivité économique. Pour les besoins de l'étude, cet abandon progressif a été simulé en imposant une forte hausse des coûts en capital des centrales nucléaires.

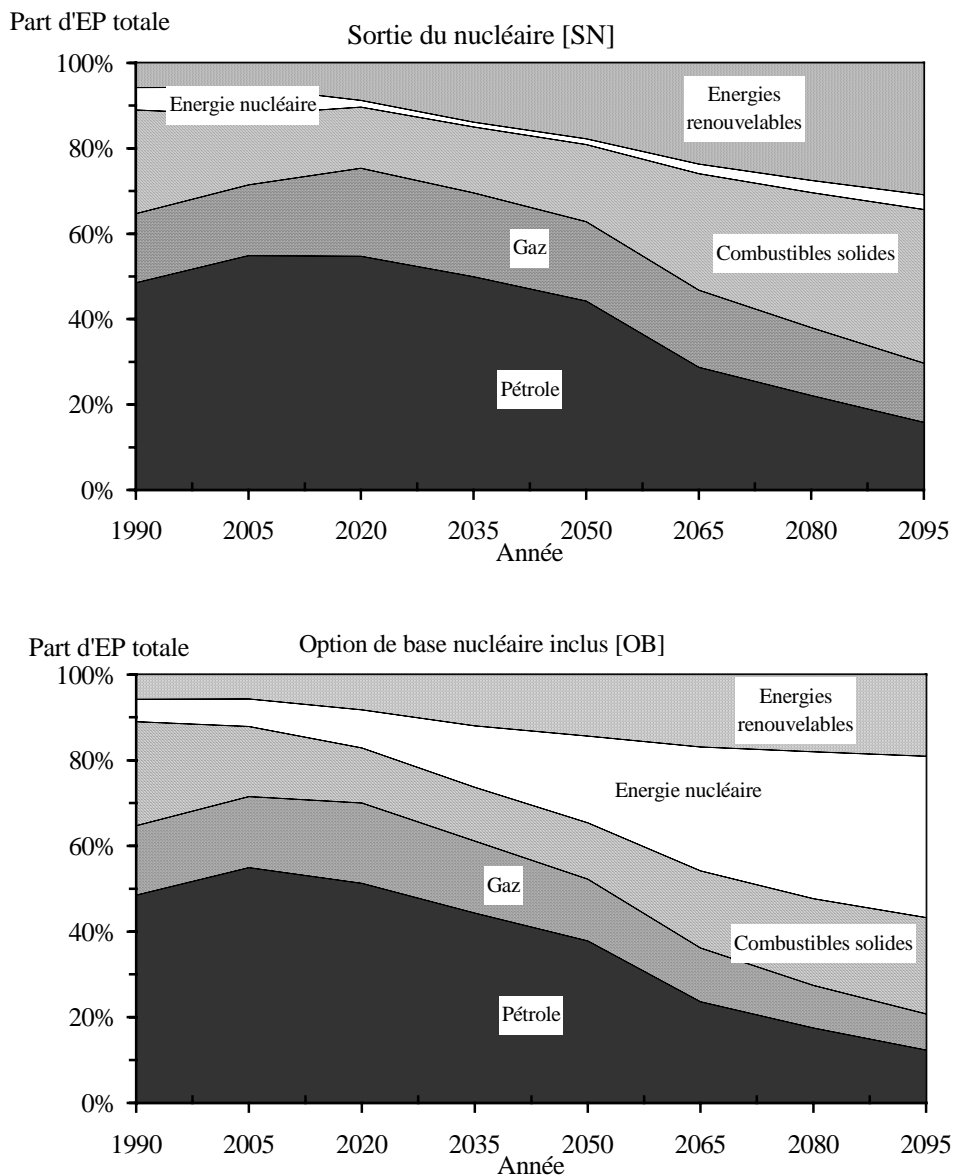
Ces scénarios de la demande d'énergie, comme les options pour le nucléaire, ne constituent en rien des prévisions. Ce sont des outils analytiques permettant d'étudier les effets que ces évolutions contrastées de la demande d'énergie et de l'offre d'énergie nucléaire pourraient avoir sur les émissions de CO₂ du secteur énergétique et sur d'autres indicateurs, tels que les coûts de la fourniture d'énergie.

Les différents scénarios nucléaires étaient essentiellement fonction des coûts en capital et de l'évolution des coûts de l'uranium à mesure que les ressources les moins chères s'épuisent. Dans le cas des parcs thermiques classiques, les paramètres déterminants étaient les coûts du combustible, définis par des relations entre le coût et l'épuisement, et pour les scénarios écologiques, le prélèvement de taxes sur le carbone. Lorsque ces deux variables, pour l'essentiel exogènes et indépendantes, varient, les coûts de l'énergie, les émissions de CO₂ et les parcs de production se modifient selon les algorithmes contenus dans les modèles macroéconomiques et énergétiques utilisés. Une hausse du coût de l'énergie nucléaire réduit sa part de marché et provoque une augmentation de la consommation de combustibles fossiles et des émissions de CO₂, une légère progression des prix de l'énergie ainsi qu'une faible diminution du PIB. De même, l'imposition d'une taxe sur le carbone renchérit les combustibles fossiles, accroît les parts du nucléaire et des sources renouvelables

8. Pour représenter les mesures destinées à atténuer les émissions de gaz à effet de serre, on a appliqué une taxe sur le carbone (augmentant de façon linéaire de 30 USD/tC tous les 15 ans à compter de 2005).

dans le parc énergétique (parts dépendant dans une certaine mesure du coût de l'énergie nucléaire). Il en résulte de moindres émissions de CO₂, un relèvement des prix de l'énergie et une baisse du PIB (ces deux derniers effets sont essentiellement régis par la hausse des prix des combustibles fossiles due à la taxe sur le carbone).

Figure 7. **Contributions des différentes sources d'énergie à la production d'énergie primaire totale dans le scénario écologique**

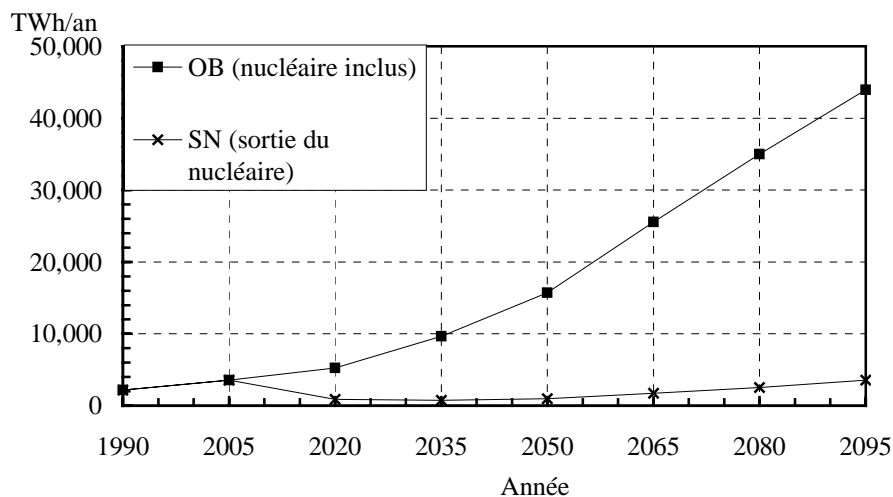


Le progrès technologique a été pris en compte en partant du principe que les performances (rendement de conversion, facteurs de charge, coûts) de toutes les technologies de production (nucléaire, thermique classique et renouvelables) s'amélioreraient progressivement. Toutefois, quelle que soit la technologie, il n'a pas été prévu de véritable percée technologique, parce que la modélisation des percées technologiques comporte d'importantes incertitudes et ne peut de ce fait améliorer la robustesse des résultats et conclusions.

On trouvera représentés sur la figure 7 les effets des interactions entre ces variables sur la contribution en pourcentage des différentes sources à la production d'énergie primaire totale dans le scénario écologique (SE) pour les deux options nucléaires, à savoir l'option de base (OB) et la sortie du nucléaire (SN).

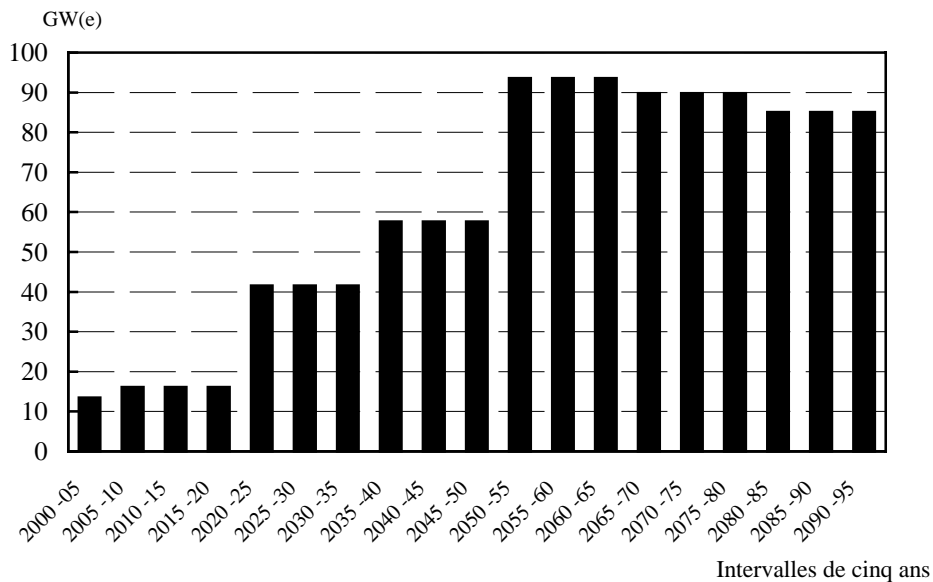
La figure 8 révèle que la production électronucléaire passe à près de 44 000 TWh en 2100 dans le scénario de base (avec nucléaire), soit 18 fois le niveau actuel (2 449 TWh en 2000). L'étude montre qu'il existe suffisamment de ressources en uranium pour soutenir cette croissance nucléaire, mais que les surrégénérateurs devront être introduits vers le milieu du siècle. Dans le scénario de sortie du nucléaire, les coûts d'investissement dans les centrales nucléaires ont été fortement majorés pour éliminer le nucléaire. Comme on peut le voir, cette tactique n'a pas parfaitement réussi, car, si la production électronucléaire est bel et bien tombée à un niveau assez faible jusqu'en 2050, elle retrouve un niveau proche de celui d'aujourd'hui vers la fin du siècle.

Figure 8. **Production électronucléaire mondiale dans le scénario écologique (TWh/an)**



L'augmentation nette annuelle de la puissance nucléaire installée a été calculée (pour l'option de base seulement) en fonction d'un facteur de charge de 80 %. Comme le montre la figure 9, au cours de la deuxième moitié du siècle, ces valeurs devraient se situer dans une fourchette allant de 80 à un peu plus de 90 GWe/an. D'après l'expérience passée, où l'on a vu certaines années la puissance progresser de 40 GWe, ces niveaux sont jugés réalisables, mais il faudra que les capacités de construction de centrales nucléaires soient plus importantes qu'elles ne le sont aujourd'hui.

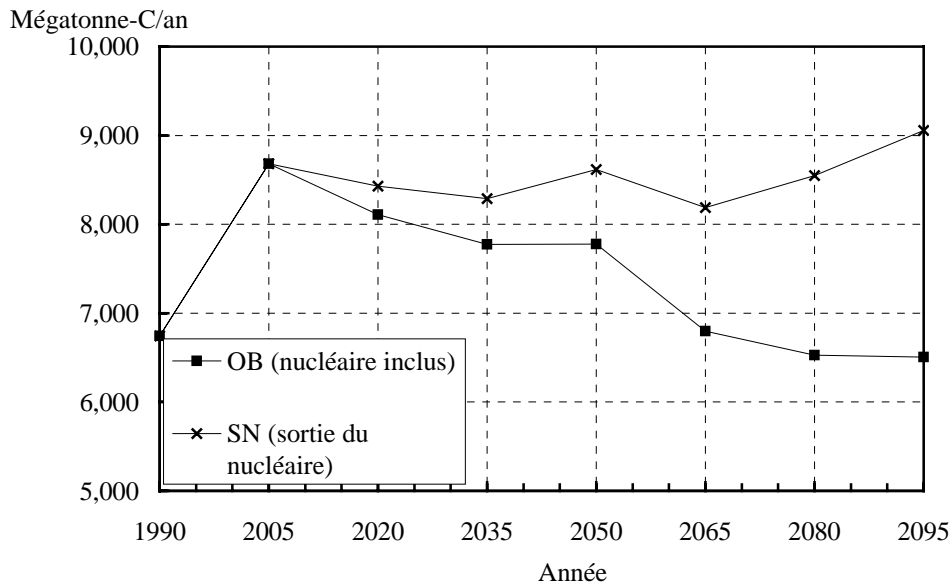
Figure 9. **Augmentation annuelle de la puissance installée nette dans l'option nucléaire de base et le scénario écologique**



Comme on peut le voir sur la figure 10, dans l'option de base, le taux d'émission de CO₂ baisse, à la fin du siècle, d'environ 25 % par rapport au niveau actuel (2002). Cependant, les émissions ayant continué de croître au cours des dix dernières années, le taux d'émission à la fin du siècle n'est que légèrement inférieur (d'environ 4 %) aux niveaux de 1990. Dans le scénario de sortie du nucléaire, en revanche, les émissions de CO₂ à la fin du siècle, dépasse de 13 % les niveaux de 2002 et de 35 % ceux des années 90.

Il apparaît donc que l'énergie nucléaire peut jouer un rôle majeur dans des stratégies d'approvisionnement énergétique destinées à atténuer ou à stabiliser les émissions de carbone dans l'atmosphère terrestre.

Figure 10. Émissions mondiales de dioxyde de carbone (millions de tonnes de C/an) dans le scénario écologique



Il n'est pas inutile de mentionner que, dans le scénario de statu quo, les taux d'émission de CO₂ à la fin du siècle seraient de 90 % supérieurs aux niveaux actuels si l'option nucléaire est conservée, et de 115 % supérieurs, en cas de sortie du nucléaire, démontrant ainsi que les hypothèses adoptées dans le scénario écologique, et notamment la taxe sur le carbone, permettent effectivement d'atténuer les taux d'émission.

Naturellement, toute extrapolation de la demande d'énergie et des stratégies d'approvisionnement à une échéance de 100 ans comporte d'importantes incertitudes. Il faut donc considérer ces résultats avec une grande prudence. L'étude démontre néanmoins que des systèmes de fission nucléaire améliorés, s'appuyant sur l'expérience acquise avec les technologies actuelles, peuvent jouer un rôle significatif dans des stratégies énergétiques visant à réduire les émissions et à stabiliser les concentrations atmosphériques de gaz à effet de serre.

10. MODES DE PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ ÉMETTANT PEU DE CARBONE

Plusieurs études ont analysé les facteurs d'émission de GES sur toute la filière énergétique (incluant en particulier la consommation d'énergie lors de l'extraction, du traitement et du transport des combustibles ainsi que pendant la construction et le démantèlement des centrales), et cela pour différents modes de production de l'électricité. On trouvera sur le tableau 2 un exemple de résultats, exprimés en grammes d'équivalent carbone (dont CO₂, CH₄, N₂O, etc.) par kilowattheure (gC_{eq}/kWh). Les variations entre les estimations s'expliquent par des différences entre méthodes d'évaluation, rendements de conversion, modes d'extraction, de préparation et de transport des combustibles à la centrale, etc. Dans le cas du nucléaire et des énergies renouvelables, les centrales n'émettent pas de GES, mais les autres étapes de la filière en émettent un peu. En revanche, ce sont les centrales qui, dans les filières thermiques classiques, émettent l'essentiel des GES, contre 10 à 20 % des émissions seulement pour les autres étapes. Nous avons résumé sur le tableau III les principaux facteurs qui influent sur les taux d'émission des différentes sources d'énergie.

S'agissant de la pénétration des énergies renouvelables sur le marché électrique, l'AIE [23] note que les sources d'énergie renouvelables, hors hydraulique, assuraient 2 % de la production d'électricité en 1997 et que ce chiffre devrait passer à 4 % (scénario de référence) ou 10 % (autre scénario) d'ici 2020. Le développement des systèmes renouvelables est limité par les coûts de ces systèmes qui sont en général plus élevés que ceux des sources conventionnelles, bien que certains d'entre eux aient considérablement diminué ces dernières années. L'AIE conclut que, globalement, la production d'électricité avec des énergies renouvelables devrait rester une solution relativement onéreuse quoique parfois rentable sur certains créneaux. En outre, le World Energy Outlook 2001 [24] estime que :

- La plupart des énergies renouvelables ne sont pas concurrentielles, si l'on compare leurs coûts sur les marchés actuels avec ceux des énergies classiques.

- Les coûts des technologies renouvelables ont d'ores et déjà diminué, mais de nouvelles baisses seront nécessaires pour que ces énergies puissent entrer en concurrence avec les énergies thermiques classiques les moins chères. On ignore à quel rythme ces baisses interviendront.
- À supposer que les prix des combustibles fossiles évoluent dans des proportions raisonnables et en l'absence de réorientation majeure des politiques publiques, rares sont les énergies renouvelables qui pourront concurrencer les combustibles fossiles. Les énergies renouvelables peuvent être rentables dans des applications particulières. Des technologies telles que l'éolienne sont quasiment concurrentielles ; pour d'autres, il faudra attendre de fortes baisses de coûts. Quoi qu'il en soit, les énergies renouvelables devront rivaliser avec de nombreuses formes d'énergies non renouvelables dont les coûts devraient diminuer aussi.
- Les coûts sont fortement dépendants du site, et les meilleurs sites sont utilisés en premier. Sur des sites marginaux, les coûts sont en général beaucoup plus élevés.

De son côté, le Conseil mondial de l'énergie [6] remarque que les coûts élevés des systèmes énergétiques renouvelables (techniques modernes de combustion de biomasse, énergies solaire et éolienne) font obstacle à leur développement à grande échelle, notant toutefois que si ces coûts ont diminué récemment, ils ne pourront devenir globalement concurrentiels avant bien des années. On peut lire ensuite dans ce rapport : « L'énergie nucléaire revêt une importance fondamentale pour la plupart des membres du CME. Elle réunit à la fois les avantages d'utiliser un combustible abondant et bien diversifié (et même potentiellement illimité si les surrégénérateurs sont utilisés), d'être quasiment nationale, de ne pas émettre de gaz à effet de serre, d'être soit compétitive, soit au pire légèrement plus chère que ses concurrents. En fait, si la menace de changement climatique s'avérait, le nucléaire est la seule technologie existante qui pourrait remplacer le charbon pour produire de l'électricité en base. »

Tableau 2. Émissions totales de GES des différentes filières de production d'électricité [22]

Énergie/Techologie	Émission des centrales	Autres étapes de la filière	Total
LIGNITE			
Technologie des années 90 (borne supérieure)	359	7	366
Technologie des années 90 (borne inférieure)	247	14	261
Technologie de 2005-2020	217	11	228
CHARBON			
Technologie des années 90 (borne supérieure)	278	79	357
Technologie des années 90 (borne inférieure)	216	48	264
Technologie de 2005-2020	181	25	206
PÉTROLE			
Technologie des années 90 (borne supérieure)	215	31	246
Technologie des années 90 (borne inférieure)	195	24	219
Technologie de 2005-2020	121	28	149
GAZ NATUREL			
Technologie des années 90 (borne supérieure)	157	31	188
Technologie des années 90 (borne inférieure)	99	21	120
Technologie de 2005-2020	90	16	105
SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE			
Technologie des années 90 (borne supérieure)	0	76.4	76.4
Technologie des années 90 (borne inférieure)	0	27.3	27.3
Technologie de 2005-2020	0	8.2	8.2
HYDRAULIQUE			
Centrales de lac (Brésil, théorique)	0	64.6	64.6
Centrales de lac (Allemagne, borne supérieure)	0	6.3	6.3
Centrales de lac (Canada)	0	4.4	4.4
Centrales au fil de l'eau (Suisse)	0	1.1	1.1
BIOMASSE			
Borne supérieure	0	16.6	16.6
Borne inférieure	0	8.4	8.4
ÉOLIENNE			
Puissance installée 25 % (Japon)	0	13.1	13.1
Puissance installée <10 %, terrestre (Suisse)	0	9.8	9.8
Puissance installée 10 %, terrestre (Belgique)	0	7.6	7.6
Puissance installée 35 %, sites côtiers (Belgique)	0	2.5	2.5
Puissance installée 30 %, sites côtiers (RU)	0	2.5	2.5
NUCLÉAIRE			
Borne supérieure	0	5.7	5.7
Borne inférieure	0	2.5	2.5

Tableau 3. Facteurs influant sur les taux d'émission de GES de différentes sources d'énergie [22]

<p>Centrales thermiques classiques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caractéristiques du combustible, telles que teneur en carbone et pouvoir calorifique. • Type et emplacement de la mine. • Méthodes d'extraction (influencent sur les conditions de transport et les rejets de méthane). • Pertes de transport par gazoduc pour le gaz naturel. • Rendement de conversion. • Énergies utilisées pour la production d'électricité nécessaire à l'approvisionnement en combustible, la construction des centrales et leur démantèlement. <p>Hydraulique</p> <ul style="list-style-type: none"> • Type de centrales (au fil de l'eau ou de lac). • Situation de la centrale (climat tropical contre climat septentrional). • Consommation d'énergie pour la construction du barrage. • Émissions pendant la construction de la centrale (béton et acier) ; ces émissions prédominent dans le cas des centrales au fil de l'eau et centrales de lac de montagne. Dans le cas des centrales de lac dont le rapport surface/volume est important (notamment dans les zones septentrionales comme le Canada et la Finlande) et dans les régions tropicales humides (Brésil, par exemple), le taux d'émission de GES est également fonction de la composition de la biomasse immergée et de l'oxydation des sédiments de surface (à l'origine d'importantes émissions de CH₄). Les émissions de CO₂ sont au moins dix fois supérieures à celles de CH₄ dans les centrales de lac des zones septentrionales. <p>Énergie éolienne</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'énergie pour la fabrication des composants et la construction de l'installation (tour et fondations). • Répartition des énergies nécessaires à la production de l'électricité utilisée pour la fabrication et la construction ; varie fortement en fonction du pays et du site (par exemple de la situation de l'installation : à l'intérieur des terres ou sur le littoral). • La production annuelle ou le facteur de charge (qui dépend des conditions de vent moyennes sur le site) qui détermine la productivité effective de l'installation. Le paramètre essentiel pour les estimations de la productivité de l'installation est la vitesse moyenne du vent (une augmentation de 50 % de la vitesse moyenne du vent double à peu près le rendement annuel). 	<p>Solaire photovoltaïque</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quantité et qualité du silicium utilisé pour la fabrication des cellules. • Type de technologie (matériau amorphe ou cristallin). • Énergies nécessaires à la production d'électricité utilisée pour la fabrication. • Type d'installation (toit, façade, structure autonome). • Production annuelle et durée de vie supposée de l'installation qui sont des paramètres importants lorsque l'on calcule les émissions par kWh (valable également pour l'énergie éolienne). L'énergie solaire et l'énergie éolienne produisent relativement peu d'émissions par kW. Pourtant, rapportées au kWh, les émissions sont plus importantes en raison du faible facteur de charge de ces installations (il s'agit de technologies intermittentes). <p>Biomasse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Propriétés de la matière première (teneur en humidité et pouvoir calorifique). • Consommation d'énergie pour la production de la matière première (culture, récolte et transport). • Technologie utilisée dans l'installation. <p>Le CO₂ libéré lors de la combustion de la biomasse est compensé par son absorption pendant la croissance de cette biomasse.</p> <p>Énergie nucléaire (réacteur à eau ordinaire)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consommation d'énergie pour l'extraction, la conversion, et l'enrichissement du combustible, la construction et le démantèlement des installations. • L'enrichissement du combustible par diffusion gazeuse, un procédé énergivore, peut multiplier par 10 les émissions de GES de la filière nucléaire par rapport à l'ultracentrifugation. Le procédé par laser consommerait encore moins d'énergie et, par conséquent, libérerait moins de GES que l'ultracentrifugation. • Énergies nécessaires à la production d'électricité utilisée pour l'étape d'enrichissement : valeur qui dépend de la nature du parc électrique et varie donc avec le pays (la France par exemple produit 76 % de son électricité dans des centrales nucléaires et émet peu de GES pour l'enrichissement). • Le retraitement et le recyclage du combustible usé peuvent réduire de 10-15 % les émissions de GES de toute la filière nucléaire, par rapport à un cycle ouvert.
--	--

Annexe

CLASSIFICATION DES PAYS DANS LA CCNUCC

Les pays Parties à la CCNUCC se répartissent en trois catégories :

- Les Parties visées à l'annexe I⁹ sont des pays industrialisés qui s'engagent à montrer la voie en matière de réduction des gaz à effet de serre parce qu'ils portent la responsabilité des émissions passées. Ces parties s'engagent, aux termes de la CCNUCC, à ramener en 2000 leurs émissions à leurs niveaux de 1990 [voir 9]. Les Parties de l'annexe I se répartissent comme suit :
 - les Parties de l'annexe I qui étaient membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) en 1992, y compris les pays européens et l'Union européenne en tant que telle, le Canada, les États-Unis, le Japon, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, et la Turquie (bien que la Turquie n'ait jamais ratifié la Convention) ;
 - les pays industrialisés en transition vers une économie de marché (EET), comprenant les pays de l'ex Union soviétique et d'Europe centrale et orientale.
- Les Parties ne figurant pas à l'annexe I, pour la plupart des pays en développement, ont des obligations moins lourdes étant donné qu'ils sont économiquement moins avancés et qu'ils ont, à ce jour, émis moins de GES (bien que les émissions totales de ce groupe augmentent aujourd'hui plus vite que celles des Parties visées à l'annexe I).

9. Pays énumérés aux Annexes I et II de la CCNUCC.

Parties visées à l'annexe I de la CCNUCC

Allemagne	Australie
Autriche	Bélarus (a)
Belgique	Bulgarie (a)
Canada	Communauté économique européenne
Danemark	Espagne
Estonie (a)	Etats-Unis d'Amérique
Fédération de Russie (a)	Finlande
France	Grèce
Hongrie (a)	Irlande
Islande	Italie
Japon	Lettonie (a)
Lituanie (a)	Luxembourg
Norvège	Nouvelle-Zélande
Pays-Bas	Pologne (a)
Portugal	Roumanie (a)
Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	Suède
Suisse	Tchécoslovaquie (a)
Turquie	Ukraine (a)

(a) Pays en transition vers une économie de marché.

Parties visées à l'annexe II de la CCNUCC

Allemagne	Australie
Autriche	Belgique
Canada	Communauté économique européenne
Danemark	Espagne
Etats-Unis d'Amérique	Finlande
France	Grèce
Irlande	Islande
Italie	Japon
Luxembourg	Norvège
Nouvelle-Zélande	Pays-Bas
Portugal	Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord
Suède	Suisse
Turquie	

RÉFÉRENCES

- [1] Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), *Changements climatiques : Fiche d'information*, New York, octobre 2001.
- [2] IPCC Third Assessment Report, *Climate Change 2001 : the Synthesis Report*, Cambridge University Press, 2001. [voir aussi: *Climate Change 2001 : The Scientific Basis ; Climate Change 2001 : Impacts, Adaptation and Vulnerability ; Climate Change 2001 : Mitigation*].
- [3] Watson, Robert T., Président du GIEC, *Présentation à la Sixième conférence des Parties à la CCNUCC*, 19 juillet 2001. (<http://www.ipcc.ch/press/COP6.5>).
- [4] *Summary for Policy Makers: A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, approved by IPCC member governments in Shanghai in January 2001.
- [5] Agence internationale de l'énergie, *Nuclear Power : Sustainability, Climate Change and Competition*, AIE, Paris, 1998.
- [6] Conseil mondial de l'énergie, *L'énergie pour le monde de demain : le temps de l'action!*, Déclaration du millénaire du CME, CME, Londres, 2000.
- [7] Agence pour l'énergie nucléaire, *Données sur l'énergie nucléaire*, OCDE, 2001.
- [8] Agence internationale de l'énergie atomique, *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2020*, Reference Data Series No. 1, Vienne, juillet 2001.
- [9] On trouvera les textes de la CCNUCC et du Protocole de Kyoto à l'adresse <http://www.unfccc.int>.
- [10] Issues in the Negotiating Process – Kyoto Protocol Mechanisms: “Joint Implementation”, *The Clean Development Mechanism and Emissions Trading*, 25 juillet 2001, www.unfccc.de/issues/mechanisms.
- [11] OCDE, Direction de l'environnement et Agence internationale de l'énergie, *Designing the Clean Development Mechanism: Operational and Institutional Issues*, Communication 2000 Forum on Climate Change, COM/ENV/EPOC/IEA/SLT(2000)2, 25 may 2000.

- [12] OCDE, Direction de l'environnement et Agence internationale de l'énergie, *Options for Project Emission Baselines*, OECD/IEA Information Paper COM/ENV/EPOC/IEA/SLT(2000)8, 1 juin 2001.
- [13] Agence pour l'énergie nucléaire, *L'énergie nucléaire dans une perspective de développement durable*, OCDE, 2001.
- [14] Agence internationale de l'énergie atomique, *Nuclear Power for Greenhouse Gas Mitigation under the Kyoto Protocol: The Clean Development Mechanism (CDM)*, AIEA, Vienne, novembre 2000.
- [15] Agence pour l'énergie nucléaire, *L'énergie nucléaire et le changement climatique*, OCDE, 1998.
- [16] Agence internationale de l'énergie, *International Emission Trading: From Concept to Reality*, AIE, 2001.
- [17] Direction de l'environnement et Agence internationale de l'énergie de l'OCDE, Mécanismes de Kyoto, Modalités de suivi et respects des dispositions, de Kyoto à La Haye, COM/ENV/EPOC/IEA/SLT(2001)9, 2001.
- [18] Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), *Auction Success for UK Emissions Trading Scheme*, News Release, <http://www.defra.gov.uk/news/2002/020313c.htm>, Londres, 13 mars 2002.
- [19] Agence internationale de l'énergie, *Nuclear Power in the OECD*, AIE, Paris, 2001.
- [20] Agence pour l'énergie nucléaire et Agence internationale de l'énergie, *Prévisions des coûts de production de l'électricité – Mise à jour 1998*, OCDE, Paris, 1998.
- [21] Centre de géopolitique de l'énergie et des matières premières, *Scenarios of Nuclear Power Growth in the 21st Century*, ISBN 2-9518078-0-5, Paris, 2002.
- [22] Spadaro, J.V., Langlois, L. et Hamilton, B., « Émissions de gaz à effet de serre provenant des chaînes de production d'électricité – Évaluer la différence », Bulletin de l'AIEA, 42/2/2000, Vienne, 2000.
- [23] Agence internationale de l'énergie, *World Energy Outlook 2000*, AIE, Paris, 2000.
- [24] Agence internationale de l'énergie, *World Energy Outlook: Assessing Today's Supplies to Fuel Tomorrow's Growth – 2001 Insights*, AIE, Paris, 2001.

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE